



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Ανάλυση και μέτρηση παρεμβολών στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση
από κινητές υπηρεσίες WCDMA, TD-SCDMA, GSM-EDGE**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΡΑΔΑΜΑΝΘΥΣ Κ. ΔΕΡΕΔΑΚΗΣ

Επιβλέπων : Χρήστος Ν. Καυάλης
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Ανάλυση και μέτρηση παρεμβολών στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση
από κινητές υπηρεσίες WCDMA, TD-SCDMA, GSM-EDGE**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΡΑΔΑΜΑΝΘΥΣ Κ. ΔΕΡΕΔΑΚΗΣ

Επιβλέπων : Χρήστος Ν. Καψάλης

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την^η Ιουλίου 2010.

.....
X.Καψάλης
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Π.Κωττής
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Φ. Κωνσταντίνου
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2010

.....
ΡΑΔΑΜΑΝΘΥΣ Κ. ΔΕΡΕΔΑΚΗΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ραδάμανθους Δερεδάκης, 2010

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, κ. Χ. Καψάλη για την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Επίσης ευχαριστώ τους υποψήφιους διδάκτορες Τ.Βελιβασάκη και Λ.Πραγιάτη, καθώς και τον συνάδελφο Γ.Μαμαρέλη, για την πολύτιμη βοήθεια, καθοδήγηση και υπομονή τους σε όλη την πορεία ανάπτυξης και συγγραφής της διπλωματικής αυτής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υποστήριξη που μου προσέφερε, γεγονός το οποίο συνέβαλλε στην ολοκλήρωση των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μελετάται ο βαθμός στον οποίο επηρεάζεται η ποιότητα του επίγειου ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος, υπό την παρουσία παρεμβολών από τρία διαφορετικά συστήματα κινητών υπηρεσιών. Η μελέτη η οποία ακολουθεί βασίζεται σε μετρήσεις που λάβαμε κατά τη διάρκεια πειράματος το οποίο διεξήχθη στο εργαστήριο Ασύρματου Επικοινωνίας και Μεγάλων Αποστάσεων του Ε.Μ.Π.

Στα πρώτα έξι κεφάλαια παρουσιάζεται το θεωρητικό μέρος του πειράματος. Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στα συστήματα κινητών επικοινωνιών, δίνοντας έμφαση στα κυριότερα χαρακτηριστικά τα οποία θα μας απασχολήσουν στην παρούσα εργασία. Στα επόμενα τρία κεφάλαια, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων κινητής επικοινωνίας, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία παρεμβολών στον ψηφιακό τηλεοπτικό δέκτη. Στο πέμπτο και στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται η λειτουργία της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης, καθώς και τα οφέλη τα οποία προκύπτουν από τη χρήση της, τόσο στην Ευρώπη, όσο και στην Ελλάδα.

Στο τελευταίο κεφάλαιο αναλύεται το πειραματικό μέρος της εργασίας. Περιγράφεται η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε και η διαδικασία διεξαγωγής του πειράματος. Η μελέτη κλείνει με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων του πειράματος, και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Λέξεις Κλειδιά: κυψελωτά συστήματα, τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης, GSM-EDGE, IMT-2000, διασπορά φάσματος, WCDMA, TD-SCDMA, επίγεια ψηφιακή τηλεόραση, φάσμα συχνοτήτων, ψηφιακό μέρισμα, ψηφιακή μετάβαση, παρεμβολές, θόρυβος φασματική πυκνότητα ισχύος.

ABSTRACT

Subject matter of this study is the degree in which the quality of a terrestrial digital television signal is influenced, under the presence of interference by three different systems of mobile services. The study which follows is based on measurements which we received, during an experiment which was carried out in the Wireless and Long Distance Communications Laboratory of NTUA (National Technical University of Athens).

In the first six chapters, the theoretical part of the experiment is presented. More specifically, in the first chapter, we give a brief introduction of the mobile communications systems, emphasizing in the main characteristics which will occupy us in the present study. In the next three chapters, we present the characteristics of protocols of mobile communications, which were used for the creation of interference in the digital television receiver. In chapters five and six, the operation of terrestrial digital television is described, as well as the profits which result from its use, not only in Europe but in Greece as well.

In the last chapter the experimental part of the study is analyzed. This includes the description of the experimental arrangement that was used, and the process of the experiment. The study concludes with the presentation of the measurements, and the discussion of the results.

Key Words: Cellular systems, multiple access schemes, GSM-EDGE, IMT-2000, spread spectrum, WCDMA, TD-SCDMA, DVB-T, radio spectrum, digital dividend, digital switchover, interference, noise, power spectral density.

Στην Άρτεμη και στο Νίκο.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	3
1.1 Δομικά στοιχεία Κυψελωτών Συστημάτων	3
1.2 Γενικές αρχές διάδοσης ραδιοκυμάτων.....	5
1.3 Τεχνικές Αμφιδρόμησης.....	6
1.3.1 Δίαυλοι Επικοινωνίας	6
1.3.2 FDD.....	7
1.3.3 TDD.....	8
1.4 Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης	9
1.4.1 SDMA	11
1.4.2 FDMA	11
1.4.3 TDMA	12
1.4.4 CDMA.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	17
ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GSM-EDGE.....	17
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	17
2.1 Εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών στα συστήματα 2,5G.....	17
2.1.1 Συστήματα πρώτης γενιάς (1G).....	17
2.1.2 Συστήματα δεύτερης γενιάς (2G)	18
2.1.3 Συστήματα δεύτερης+ γενιάς (2.5G)	19
2.2 Το σύστημα GSM	19
2.3 Το σύστημα GPRS	24
2.4 Το σύστημα GSM-EDGE.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	30
ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ WCDMA.....	30

3.1 Το πρότυπο IMT-2000	30
3.2 Τεχνικές Διασποράς Φάσματος	33
3.3 Δέκτης RAKE	38
3.4 Έλεγχος ισχύος στο WCDMA.....	39
3.5 Είδη Μεταπομπής στο WCDMA.....	41
3.6 Σύνοψη των κύριων Χαρακτηριστικών του WCDMA	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	48
ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ TD-SCDMA.....	48
4.1 Εξέλιξη του προτύπου TD-SCDMA.....	48
4.2 Πρόσβαση στο διάλυο.....	50
4.3 Πολλαπλή ανίχνευση.....	53
4.4 Συγχρονισμός των κινητών σταθμών.....	55
4.5 Ευφυείς κεραίες	57
4.6 Δυναμική κατανομή διαύλων	58
4.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνικής TD-SCDMA.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	63
ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ DVB-T.....	63
5.1 Μετάβαση στην ψηφιακή τηλεόραση	63
5.2 Εισαγωγή στο πρότυπο DVB-T.....	64
5.3 Διαμόρφωση COFDM.....	68
5.4 Ιεραρχική Διαμόρφωση	74
5.5 Μετάδοση στο DVB-T	78
5.6 Δίκτυα SFN.....	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	86
ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΕΡΙΣΜΑ	86
6.1 Εισαγωγή στην 470-862MHz ζώνη συχνοτήτων.....	86
6.2 Η ψηφιακή μετάβαση	88
6.2.1 Διεθνείς αποφάσεις για την χρήση της ζώνης 470-862MHz	88
6.2.2 Η ψηφιακή μετάβαση και η τρέχουσα κατάσταση στην Ευρώπη.....	89
6.3 Το ψηφιακό μέρος και οι πιθανές χρήσεις του	90
6.3.1 Επίγεια Ψηφιακή Τηλεόραση.....	91

6.3.2	Ασύρματες υπηρεσίες ευρυεκπομπής	93
6.3.3	Τεχνικοί κανονισμοί για την χρήση των συχνοτήτων 790-862MHz.....	95
6.4	Αξιοποίηση του ψηφιακού μερίσματος στην Ευρώπη.....	98
6.5	Παρεμβολές/Τεχνικά προβλήματα στη χρήση των 790-862MHz.....	99
6.6	Η τρέχουσα κατάσταση στην Ελλάδα.....	102
6.5.1	Η ψηφιακή μετάβαση.....	102
6.5.2	Προβλήματα παρεμβολών από γειτονικές χώρες.....	106
6.5.3	Το ψηφιακό μέρισμα.....	107
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7		109
ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....		109
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....		109
7.1	Όργανα και συνδεσμολογία του πειράματος.....	109
7.2	Διάταξη του πειράματος.....	116
7.3	Μετρηθείσες τιμές.....	119
7.4	Διαδικασία Μετρήσεων.....	123
7.5	Αποτελέσματα Μετρήσεων.....	124
7.5.1	Διαγράμματα πρωτοκόλλου GSM-EDGE.....	125
7.5.2	Διαγράμματα πρωτοκόλλου TD-SCDMA	129
7.5.3	Διαγράμματα πρωτοκόλλου WCDMA.....	133
7.6	Παρατηρήσεις επί των διαγραμμάτων.....	137
7.7	Συμπεράσματα.....	141
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		143

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ-ΠΙΝΑΚΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Σχήματα

Σχήμα 1.1: Δομικά στοιχεία συστήματος κινητών επικοινωνιών.....	3
Σχήμα 1.2: Λειτουργία FDD.....	7
Σχήμα 1.3: Λειτουργία TDD.....	8
Σχήμα 1.4: Λειτουργία SDMA.	11
Σχήμα 1.5: Λειτουργία FDMA.	12
Σχήμα 1.6: Λειτουργία TDMA.	13
Σχήμα 1.7: Δομή TDMA πλαισίου.	13
Σχήμα 1.8: Λειτουργία CDMA.....	14

Πίνακες

Πίνακας 1.1: Χρησιμοποιούμενες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης, από διάφορα συστήματα κινητών επικοινωνιών παγκοσμίως. [3]	10
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Σχήματα

Σχήμα 2.1: FDMA τεχνική στο σύστημα GSM.....	21
Σχήμα 2.2: TDMA τεχνική στο σύστημα GSM.....	22
Σχήμα 2.3: Αρχιτεκτονική δικτύου GSM. [5]	24
Σχήμα 2.4: Αρχιτεκτονική δικτύου GPRS.....	27

Πίνακες

Πίνακας 2.1: Ρυθμοί μετάδοσης στο GPRS.	26
Πίνακας 2.2: Ρυθμοί μετάδοσης στο GSM-EDGE.	28
Πίνακας 2.3: Διαφορές μεταξύ GPRS και GSM-EDGE.....	29

Πίνακας 2.4: Φασματική απόδοση GPRS και GSM-EDGE.	29
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Σχήματα

Σχήμα 3.1: Αναμενόμενη εφαρμογή συστημάτων τρίτης γενιάς. [6]	31
Σχήμα 3.2: Συστήματα τα οποία ανήκουν στο πρότυπο IMT-2000.	33
Σχήμα 3.3: Διασπορά φάσματος.	34
Σχήμα 3.4: Συμπύεση φάσματος.....	35
Σχήμα 3.5: Σωστή ανάκτηση του αρχικού σήματος στον δέκτη.	36
Σχήμα 3.6: Μη ανάκτηση του αρχικού σήματος στον δέκτη.	36
Σχήμα 3.7: Αντοχή στις παρεμβολές στενής ζώνης.	38
Σχήμα 3.8: Ηπιότερη μεταπομπή.	42
Σχήμα 3.9: Ήπια μεταπομπή.....	43

Πίνακες

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά συστήματος WCDMA.	47
Πίνακας 3.2: Διαφορές μεταξύ συστημάτων WCDMA και GSM.....	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Σχήματα

Σχήμα 4.1: Κατανομή φάσματος για το σύστημα TD-SCDMA στην Κίνα. [7]	48
Σχήμα 4.2: Δομή πλαισίου TD-SCDMA.....	50
Σχήμα 4.3: Χρονοσχισμή TD-SCDMA.....	51
Σχήμα 4.4: Κατανομή χρονοσχισμών για ασύμμετρη υπηρεσία.	51
Σχήμα 4.5: Κατανομή χρονοσχισμών για συμμετρική υπηρεσία.	52
Σχήμα 4.6: Η τεχνική CDMA στο σύστημα TD-SCDMA.	53
Σχήμα 4.7: Λήψη σήματος για CDMA σύστημα.....	54
Σχήμα 4.8: Λήψη σήματος με χρήση πολλαπλής ανίχνευσης.	55

Σχήμα 4.9: Λειτουργία ευφυής κεραίας.	57
Σχήμα 4.10: Δυναμική απόδοση διαύλων	59

Πίνακες

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά συστήματος TD-SCDMA.	49
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Σχήματα

Σχήμα 5.1: Χρονική εξέλιξη του προτύπου DVB.....	65
Σχήμα 5.2: OFDM διαμόρφωση με τέσσερα υποκανάλια.	69
Σχήμα 5.3: Φάσμα ισχύος OFDM σήματος για διάστημα φύλαξης $T_s/4$ σε 8K λειτουργία.	70
Σχήμα 5.4: Δομή OFDM πλαισίου.....	73
Σχήμα 5.5: Ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων.....	74
Σχήμα 5 .6: Συμπεριφορά του συστήματος για HP/LP ροή.	75
Σχήμα 5.7: DVB-T κωδικοποιητής, με υποστήριξη ιεραρχικής διαμόρφωσης.....	76
Σχήμα 5.8: Επανένωση των ροών HP και LP.....	76
Σχήμα 5 .9: Σηματοστερισμός ιεραρχικής διαμόρφωσης 16QAM-QPSK.....	77
Σχήμα 5 .10: Μπλοκ διάγραμμα DVB-T κωδικοποιητή.	79
Σχήμα 5.11: Πλαίσιο μετά την διασπορά ενέργειας.	80
Σχήμα 5.12: Πλαίσιο μετά την κωδικοποίηση Reed-Solomon.....	81
Σχήμα 5.13: Πλαίσιο μετά την εξωτερική διεμπλοκή.....	81
Σχήμα 5.14: Κατανομή συχνοτήτων σε SFN/MFN δίκτυα.....	83

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Σχήματα

Σχήμα 6.1: Κατανομή του ραδιοφάσματος. [18]	87
Σχήμα 6.2: Κατανομή καναλιών στις συχνότητες 470-862MHz. [18]	87
Σχήμα 6.3: Η ψηφιακή μετάβαση στην Ευρώπη. [20]	90

Σχήμα 6.4: FDD τεχνική στις συχνότητες 790-862MHz. [14].....	95
Σχήμα 6.5: TDD τεχνική στις συχνότητες 790-862MHz. [14].....	95

Πίνακες

Πίνακας 6.1: Όρια EIRP εκτός φασματικού τμήματος για σταθμό βάσης. [14].....	96
Πίνακας 6.2: Όρια EIRP εκτός φασματικού τμήματος για σταθμό βάσης σε συχνότητες κάτω από τα 790MHz. [14].....	97
Πίνακας 6.3: Σχέδια για την αξιοποίηση του ψηφιακού μερίσματος στην Ευρώπη. [20]	99
Πίνακας 6.4: Υποστηριζόμενοι τρόποι λειτουργίας DTT στην Ελλάδα.....	103
Πίνακας 6.5: Κατανομή συχνοτήτων στα SFN δίκτυα. [16].....	106

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Σχήματα

Σχήμα 7.1: Ο ψηφιακός δέκτης Promax Explorer II+.....	110
Σχήμα 7.2: Ενδεικτική απεικόνιση μετρούμενων τιμών στον ψηφιακό δέκτη.	110
Σχήμα 7.3: Η κεραία λήψης Meliconi AD-Elegance.	111
Σχήμα 7.4: Η κεραία λήψης Electro-Metrics Tunable Dipole Antenna EM-6927. ...	112
Σχήμα 7.5: Η κεραία εκπομπής παρεμβολών Electro-Metrics EM-6917C-1.....	113
Σχήμα 7.6: Η γεννήτρια Agilent MXG Vector Signal Generator N5182A.....	113
Σχήμα 7.7: Ο αναλυτής φάσματος E4403B-BAS ESA-L Basic Spectrum Analyzer	114
Σχήμα 7.8: Η συνδεσμολογία του πειράματος.....	115
Εικόνα 7.9: Το δίπολο και η κεραία λήψης στο χώρο του πειράματος (1).	116
Σχήμα 7.10: Το δίπολο και η κεραία λήψης στο χώρο του πειράματος (2).	117
Εικόνα 7.11: Η γεννήτρια, ο αναλυτής φάσματος και ο ψηφιακός δέκτης στο χώρο του πειράματος.....	117
Εικόνα 7.12: Ο H/Y στον χώρο του πειράματος.	118
Εικόνα 7.13: Η κεραία εκπομπής στον χώρο του πειράματος.....	119

Σχήμα 7.14: Απόκλιση σημείων σηματοστερισμού.....	121
Σχήμα 7.15: Μέτρηση τιμής MER στον ψηφιακό δέκτη.	122
Σχήμα 7.16: Μέτρηση τιμών CBER, VBER στον ψηφιακό δέκτη.....	122
Σχήμα 7.17: Διάγραμμα λαμβανόμενης ισχύος GSM-EDGE.	125
Σχήμα 7.18: Διάγραμμα C/N GSM-EDGE.	125
Σχήμα 7.19: Διάγραμμα Noise Margin GSM-EDGE.....	126
Σχήμα 7.20: Διάγραμμα MER GSM-EDGE.....	126
Σχήμα 7.21: Διάγραμμα CBER GSM-EDGE.....	127
Σχήμα 7.22: Διάγραμμα VBER GSM-EDGE.....	127
Σχήμα 7.23: Διάγραμμα ισχύος πεδίου GSM-EDGE.....	128
Σχήμα 7.24: Διάγραμμα ισχύος γεννήτριας στην οποία επιτυγχάνεται η σωστή λήψη του σήματος GSM-EDGE.	128
Σχήμα 7.25: Διάγραμμα λαμβανόμενης ισχύος TD-SCDMA.	129
Σχήμα 7.26: Διάγραμμα C/N TD-SCDMA.	129
Σχήμα 7.27: Διάγραμμα Noise Margin TD-SCDMA.	130
Σχήμα 7.28: Διάγραμμα MER TD-SCDMA.	130
Σχήμα 7.29: Διάγραμμα CBER TD-SCDMA.....	131
Σχήμα 7.30: Διάγραμμα VBER TD-SCDMA.	131
Σχήμα 7.31: Διάγραμμα ισχύος πεδίου TD-SCDMA.	132
Σχήμα 7.32: Διάγραμμα ισχύος παρεμβολής, στην οποία επιτυγχάνεται η σωστή λήψη του σήματος TD-SCDMA.	132
Σχήμα 7.33: Διάγραμμα λαμβανόμενης ισχύος WCDMA.	133
Σχήμα 7.34: Διάγραμμα C/N WCDMA.	133
Σχήμα 7.35: Διάγραμμα Noise Margin WCDMA.	134
Σχήμα 7.36: Διάγραμμα MER WCDMA.	134
Σχήμα 7.37: Διάγραμμα CBER WCDMA.....	135
Σχήμα 7.38: Διάγραμμα VBER WCDMA.	135
Σχήμα 7.39: Διάγραμμα ισχύος πεδίου WCDMA.	136

Σχήμα 7.40: Διάγραμμα ισχύος γεννήτριας, στην οποία επιτυγχάνεται η σωστή λήψη του σήματος WCDMA.	136
Σχήμα 7.41: Κατανομή φασματικής πυκνότητας ισχύος στη συχνότητα 690MHz...	140
Σχήμα 7.42: Ισχύς παρεμβολής στην οποία ο δέκτης ξεκινάει να λαμβάνει σωστά το σήμα και για τα τρία πρωτόκολλα.	140

Πίνακες

Πίνακας 7.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά ψηφιακού δέκτη.....	110
Πίνακας 7.2: Τεχνικά Χαρακτηριστικά κεραίας μέτρησης ισχύος πεδίου.....	111
Πίνακας 7.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά κεραίας παρεμβολών.	112
Πίνακας 7.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά γεννήτριας.	113
Πίνακας 7.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά cine+.	115
Πίνακας 7.6: Χαρακτηριστικά πρωτοκόλλων στη συχνότητα 695MHz.....	139

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την χρήση σύγχρονων τεχνολογιών συμπίεσης και κωδικοποίησης, είναι εφικτή η σημαντική αύξηση της μεταφερόμενης πληροφορίας σε ένα ψηφιακό σήμα, συγκριτικά με το αντίστοιχο αναλογικό. Ένας τηλεοπτικός ψηφιακός πολυπλέκτης, κωδικοποιεί, συνδυάζει και μεταδίδει 4-6 τηλεοπτικά προγράμματα σε ένα μόνο δίαυλο ο οποίος έχει εύρος ζώνης 8MHz, όσο δηλαδή καταλαμβάνει και το αναλογικό τηλεοπτικό σήμα. Με τον τρόπο αυτό παρέχονται περισσότερες τηλεοπτικές υπηρεσίες, χρησιμοποιώντας το ίδιο εύρος ζώνης το οποίο απαιτείται για την αναλογική μετάδοση. Η μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεοπτική εκπομπή, ονομάζεται ψηφιακή μετάβαση (digital switchover). Το εύρος του φάσματος το οποίο ελευθερώνεται ονομάζεται ψηφιακό μέρισμα (digital dividend) και μπορεί να αποτελείται είτε από συνεχόμενο τμήμα του φάσματος το οποίο θα είναι διαθέσιμο σε νέες κινητές υπηρεσίες ευρυεκπομπής, είτε από μεμονωμένους διαύλους οι οποίοι θα διατίθενται δυναμικά όπου και όποτε είναι ελεύθεροι. Η Ε.Ε σε συνδυασμό με τις αποφάσεις της ITU έχει αποφασίσει την εναρμόνιση του φάσματος που θα αποτελέσει το ψηφιακό μέρισμα για τα ευρωπαϊκά κράτη και το οποίο θα βρίσκεται στις συχνότητες 790-862MHz. Παρόλαυτα λόγω τεχνικών λόγων δεν είναι εφικτό να εναρμονιστούν όλα τα κράτη μέλη με αυτήν την οδηγία. Αν κάποιο ευρωπαϊκό κράτος αποφασίσει την ανάπτυξη κινητών υπηρεσιών ευρυεκπομπής σε διαφορετικές συχνότητες από αυτές τις οποίες προτείνει η ITU, είναι πολύ πιθανό να δημιουργηθούν παρεμβολές στις ψηφιακές τηλεοπτικές εκπομπές των όμορων χωρών. Το ενδεχόμενο αυτό προσομοιώνεται στη παρούσα διπλωματική εργασία, με την αξιολόγηση της ποιότητας του τηλεοπτικού ψηφιακού σήματος στη συχνότητα των 690MHz, όταν αυτό δέχεται παρεμβολές από τρία διαφορετικά πρωτόκολλα κινητών υπηρεσιών (GSM-EDGE, TD-SCDMA, WCDMA) τα οποία λειτουργούν σε γειτονικές συχνότητες με τη ψηφιακή τηλεόραση.

Η διάρθρωση της διπλωματικής σε κεφάλαια είναι:

Κεφάλαιο 1: Γίνεται εισαγωγή στα συστήματα κινητών επικοινωνιών δίνοντας έμφαση στα κυριότερα χαρακτηριστικά τα οποία θα μας απασχολήσουν όσον αφορά τα τρία χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα κινητής επικοινωνίας. Πιο συγκεκριμένα γίνεται αναφορά για τη δομή του δικτύου ενός συστήματος κινητών επικοινωνιών, για τις δύο

κυριότερες τεχνικές αμφιδρόμησης (TDD-FDD) και για τις τέσσερις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης οι οποίες χρησιμοποιούνται στις κινητές επικοινωνίες. Επίσης γίνεται αναφορά και στις αρχές διάδοσης των ραδιοκυμάτων.

Κεφάλαιο 2: Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση για την εξέλιξη των κινητών υπηρεσιών από τις υπηρεσίες πρώτης γενιάς, στη γενιά 2.5G, δίνοντας έμφαση στο πρωτόκολλο GSM-EDGE το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή του πειράματος.

Κεφάλαιο 3: Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται εισαγωγή στα συστήματα κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς (3G), και αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου WCDMA το οποίο ανήκει στο πρότυπο IMT-2000. Επίσης παρουσιάζονται οι διαφορές του WCDMA με το σύστημα δεύτερης γενιάς GSM.

Κεφάλαιο 4: Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του πρωτοκόλλου TD-SCDMA το οποίο ανήκει και αυτό στο πρότυπο IMT-2000. Γίνεται αναφορά στα κυριότερα δομικά στοιχεία τα οποία το απαρτίζουν, καθώς επίσης και τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα τα οποία έχει το συγκεκριμένο σύστημα.

Κεφάλαιο 5: Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ανάλυση των τεχνικών χαρακτηριστικών της ψηφιακής τηλεόρασης και πιο συγκεκριμένα του προτύπου DVB-T. Επίσης γίνεται αναφορά και στα SFN δίκτυα τα οποία εφαρμόζονται για τη μετάδοση του ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος.

Κεφάλαιο 6: Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται το ψηφιακό μέρισμα, καθώς και οι πιθανές χρήσεις του. Παρουσιάζεται επίσης η τρέχουσα κατάσταση τόσο Ευρώπη όσο και στην Ελλάδα.

Κεφάλαιο 7: Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται το πειραματικό μέρος της διπλωματικής εργασίας. Περιγράφεται ο εξοπλισμός ο οποίος χρησιμοποιήθηκε, η πειραματική διάταξη, και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη διεξαγωγή του πειράματος. Το κεφάλαιο αυτό κλείνει με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων και παρατηρήσεις επί αυτών.

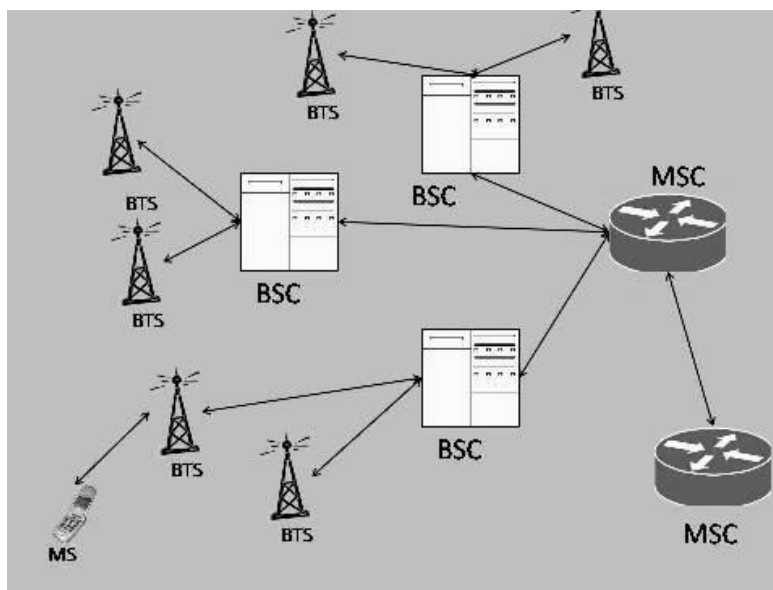
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

1.1 Δομικά στοιχεία Κυψελωτών Συστημάτων.

Τα συστήματα κινητών επικοινωνιών έχουν σαν στόχο την παροχή υπηρεσιών σε κινητά τερματικά τα οποία εμφανίζουν μεγάλη διασπορά σε αστικές, ημιαστικές και αγροτικές περιοχές. Η μεγαλύτερη απαίτηση για αυτά τα συστήματα είναι η εξυπηρέτηση των τερματικών τα οποία κινούνται με υψηλές ταχύτητες.

Τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος κινητών επικοινωνιών φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1.1: Δομικά στοιχεία συστήματος κινητών επικοινωνιών.

Ο κινητός σταθμός (Mobile Station-MS ή User Equipment-UE) επικοινωνεί με το σταθμό βάσης (Base Transceiver Station-BTS ή Base Station-BS) χρησιμοποιώντας τους διαθέσιμους ραδιοδιαύλους και την αντίστοιχη ραδιοεπαφή. Με τον όρο ραδιοεπαφή (radio-interface ή air-interface) εννοούμε το σύνολο των κανόνων που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η πρόσβαση στο ραδιοδιάλυο. Για όλα τα στοιχεία του συστήματος που επικοινωνούν μεταξύ τους υπάρχουν συγκεκριμένες διεπαφές. Με τον όρο κινητός σταθμός εννοούμε όλα τα τερματικά, είτε χειρός είτε φορητά (πχ. laptop). Οι σταθμοί βάσης είναι οι σταθεροί σταθμοί του δικτύου που

χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία με τους κινητούς σταθμούς. Ένας BTS είναι εγκατεστημένος είτε στο κέντρο είτε στα όρια μιας περιοχής κάλυψης και αποτελείται από τις κεραιές εκπομπής και λήψης, καθώς και από τους αντίστοιχους πομποδέκτες. Κάθε BTS συνδέεται με το δίκτυο κορμού (backbone network) του παροχέα μέσω ενός ελεγκτή που καλείται BSC (Base Station Controller). Πολλοί BSC συνδέονται σε ένα κέντρο μεταγωγής (Mobile Switching Centre-MSC) που διαχειρίζεται και δρομολογεί τις κλήσεις σε μια μεγάλη περιοχή εξυπηρέτησης. Συνήθως ένα από τα MSC αναλαμβάνει και την διασύνδεση του δικτύου κινητών επικοινωνιών (Public Land Mobile Network-PLMN) με το σταθερό δίκτυο επικοινωνιών (Public Subscriber Telephone Network-PSTN) και ονομάζεται GMSC (Gateway Mobile Switching Centre). Η βασική ιδέα των κυψελωτών συστημάτων είναι ο περιορισμός της εκπεμπόμενης ισχύος από τους σταθμούς βάσης ώστε να περιοριστεί η έκταση της κάλυψης σε μια μικρή γεωγραφική περιοχή που καλείται κυψέλη (cell), και η επαναχρησιμοποίηση των ραδιοδιαύλων του BTS από ένα διαφορετικό BTS το οποίο βρίσκεται σε κάποια προκαθορισμένη απόσταση. Στα κυψελωτά συστήματα κάθε κυψέλη χρησιμοποιεί μόνο ένα τμήμα του διαθέσιμου φάσματος και κυψέλες οι οποίες απέχουν αρκετά μεταξύ τους μπορούν να επαναχρησιμοποιήσουν το ίδιο τμήμα φάσματος.

Αν κατά τη μετάβαση του MS από μια κυψέλη σε μια άλλη υπάρχει κλήση σε εξέλιξη τότε το δίκτυο συνήθως φροντίζει για τη συνέχιση της κλήσης χωρίς διακοπή συνδέοντας το MS στο νέο BTS. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται μεταπομπή ή διαπομπή (handoff ή handover) και μπορεί να συμβεί ακόμα και μέσα στην ίδια κυψέλη μεταφέροντας την κλήση σε ραδιοδιάλο ο οποίος παρουσιάζει καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τον εξυπηρετούμενο διάλο.

Τα βασικά τεχνολογικά συστατικά ενός κυψελωτού συστήματος είναι η τεχνολογία της ραδιομετάδοσης και η τεχνολογία των υπολογιστών. Οι δύο βασικές λειτουργίες ενός κυψελωτού συστήματος είναι οι εξής:

- Πρέπει να εντοπίζει και να παρακολουθεί τους κινητούς σταθμούς βάσης.
- Πρέπει πάντα να προσπαθεί να συνδέσει τους κινητούς σταθμούς στους βέλτιστους διαθέσιμους σταθμούς βάσης.

Η δεύτερη λειτουργία απαιτεί την συνεχή αξιολόγηση της ποιότητας της ραδιοζεύξης με το σταθμό βάσης που εξυπηρετεί τον κινητό σταθμό αλλά και με τους εναλλακτικούς

σταθμούς βάσης. Αυτή η συνεχής παρακολούθηση εκτελείται από ένα υπολογιστικό σύστημα, το οποίο χρησιμοποιεί τη γνώση των αξιολογήσεων της ποιότητας των ραδιοζεύξεων και σε συνδυασμό με τη γνωστή τοπολογία του συστήματος και τη ροή της τηλεπικοινωνιακής κίνησης αποφασίζει για το βέλτιστο σταθμό βάσης με τον οποίο θα συνδεθεί ένας κινητός σταθμός.

Στόχος όλων των σύγχρονων ψηφιακών τεχνικών είναι η μείωση του χρόνου παρακολούθησης και ελέγχου, με ταυτόχρονη αύξηση της απόδοσης του δικτύου. Το μέγεθος των κυψελών, η δυνατότητα των ραδιοζεύξεων να ανταπεξέρχονται σε παρεμβολές, και η δυνατότητα του συστήματος να αντιδρά σε μεταβολές της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, είναι οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την φασματική απόδοση των κυψελωτών συστημάτων.

1.2 Γενικές αρχές διάδοσης ραδιοκυμάτων.

Με τον όρο διάδοση ραδιοκυμάτων εννοούμε την όδευση των ηλεκτρομαγνητικών (H/M) κυμάτων από μια κεραία πομπού σε μια κεραία δέκτη, σε περιβάλλον που συμμετέχουν τόσο το έδαφος, όσο και οι διάφορες τεχνητές ή φυσικές κατασκευές. Οι μηχανισμοί οι οποίοι διέπουν την ραδιοδιάδοση είναι πολύπλοκοι και ποικίλοι, και μπορούν γενικά να συνοψιστούν σε τρεις βασικούς: την ανάκλαση, την περίθλαση, και την διάχυση. Ανάκλαση εμφανίζεται όταν ένα διαδιδόμενο H/M κύμα προσπίπτει σε ένα εμπόδιο με διαστάσεις πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με το μήκος κύματος του. Περίθλαση εμφανίζεται όταν παρεμβάλλεται κάποιο αδιαπέραστο σώμα στην διαδρομή του ραδιοκύματος από τον πομπό προς τον δέκτη. Τέλος σκέδαση εμφανίζεται στη περίπτωση όπου στη διαδρομή του ραδιοκύματος υπάρχουν αντικείμενα με διαστάσεις ίσες ή μικρότερες από το μήκος κύματος.

Οι τρεις αυτοί μηχανισμοί είναι υπεύθυνοι για την ύπαρξη πολλαπλών αντιτύπων του εκπεμπόμενου σήματος στην κεραία του δέκτη. Τα αντίτυπα αυτά ακολουθούν διαφορετικά μονοπάτια διάδοσης, με αποτέλεσμα τα αφικνούμενα ραδιοκύματα, που το καθένα καταφθάνει από διαφορετική κατεύθυνση και με διαφορετική χρονική καθυστέρηση να αθροίζονται διανυσματικά στην κεραία του δέκτη. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται πολυδιαδρομική διάδοση (multipath propagation), και έχει σαν αποτέλεσμα την αφαιρετική ή την αθροιστική συμβολή των ραδιοκυμάτων, ανάλογα με την κατανομή των φάσεων στα επιμέρους κύματα.

Η επίδραση του ραδιοδιαύλου στο εκπεμπόμενο σήμα είναι πολλαπλή, και γίνεται αισθητή κυρίως με τις απώλειες διάδοσης (path loss), το φαινόμενο των διαλείψεων μικρής/μεγάλης κλίμακας (small/large scale fading) καθώς επίσης και με το φαινόμενο της σκίασης.

Οι απώλειες διάδοσης ή εξασθένηση, καθορίζουν το μέγεθος της μείωσης της μέσης ισχύος του λαμβανόμενου σήματος στο δέκτη, λόγω της απόστασης του τελευταίου από τον πομπό. Η εξάρτηση αυτή μεταξύ της μείωσης της ισχύος και της απόστασης του πομπού και του δέκτη δεν ισχύει πάντα, λόγω της ανομοιομορφίας του περιβάλλοντος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται σκίαση. Οι διαλείψεις μικρής κλίμακας οφείλονται στην χρονική διασπορά του σήματος λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης και στη χρονική μεταβολή του διαύλου λόγω μετατόπισης του δέκτη, αλλά και των σκεδαστών που συμμετέχουν στην διάδοση. Οι διαλείψεις μεγάλης κλίμακας εκφράζουν την μέση εξασθένηση της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος εξαιτίας της κίνησης σε μεγάλες περιοχές.

Τέλος, οι παρεμβολές από χρήστες του ίδιου ή άλλου συστήματος που λειτουργεί στην ίδια ζώνη συχνοτήτων, αποτελούν ένα εξίσου σημαντικό πρόβλημα κατά την διάδοση στο ραδιοδιάυλο.

1.3 Τεχνικές Αμφιδρόμησης

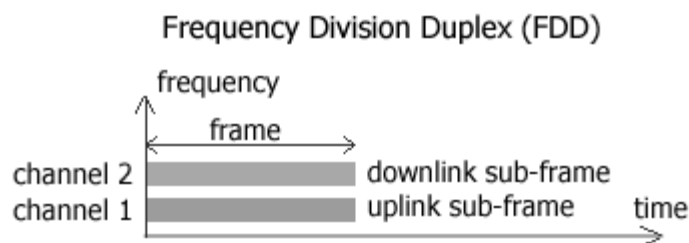
1.3.1 Δίαυλοι Επικοινωνίας

Τα ασύρματα συστήματα ραδιομετάδοσης χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την κατεύθυνση μετάδοσης της πληροφορίας. Τα simplex, τα half-duplex και τα full-duplex συστήματα. Στα simplex η επικοινωνία είναι δυνατή μόνο στην μία κατεύθυνση (π.χ. συστήματα τηλεειδοποίησης). Στα half-duplex έχουμε αμφίδρομη αλλά όχι ταυτόχρονη επικοινωνία, χρησιμοποιείται δηλαδή ένας δίαυλος και για τις δύο κατευθύνσεις, και συνεπώς ο χρήστης, μια δεδομένη χρονική στιγμή, μπορεί να εκπέμπει ή μόνο να λαμβάνει. Παράδειγμα τέτοιων συστημάτων είναι τα ραδιοσυστήματα των οργανισμών κοινής ωφέλειας (π.χ. ΕΚΑΒ, ΔΕΗ, ΟΤΕ) τα οποία καλύπτουν τις ανάγκες για ασύρματη επικοινωνία από διασκορπισμένους κινητούς σταθμούς προς το κέντρο επιχειρήσεων. Τέλος στα full-duplex συστήματα έχουμε ταυτόχρονη εκπομπή και λήψη μεταξύ των χρηστών και των σταθμών βάσης. Το

σύστημα παρέχει δύο ταυτόχρονους διαύλους για την επικοινωνία στις δύο κατευθύνσεις. Η κατεύθυνση από τον BTS προς τον MS καλείται ευθεία (forward) ή κάτω ζεύξη (downlink-DL) ενώ από τον MS προς τον BTS ονομάζεται αντίστροφη (reverse) ή άνω ζεύξη (uplink-UL). Οι δύο διαύλοι είτε χρησιμοποιούν διαφορετική συχνότητα για την ευθεία και την αντίστροφη ζεύξη οπότε προκύπτει το σύστημα Frequency Division Duplex (FDD), είτε χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα αλλά γειτονικές χρονοσχισμές (timeslot) οπότε προκύπτει το σύστημα Time Division Multiplex (TDD).

1.3.2 FDD

Στα FDD συστήματα για την υποστήριξη της πλήρους αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ του σταθμού βάσης και του χρήστη, διατίθεται μια συχνότητα για το uplink και μια διαφορετική συχνότητα για το downlink. Για την μείωση των παρεμβολών μεταξύ των δύο ταυτόχρονων εκπομπών (άνω και κάτω ζεύξης) οι δύο συχνότητες που χρησιμοποιούνται, διαχωρίζονται με ένα συγκεκριμένο διάστημα φύλαξης (guard band) στο πεδίο των συχνοτήτων. Η λειτουργία του FDD φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



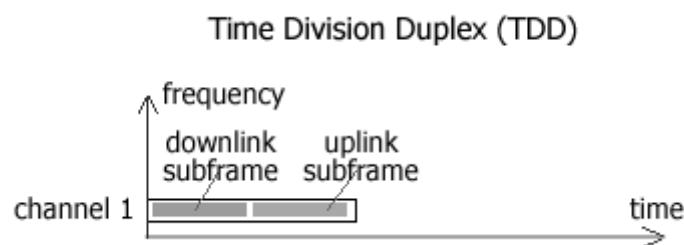
Σχήμα 1.2: Λειτουργία FDD.

Το γεγονός ότι το εύρος ζώνης που έχει αποδοθεί σε κάθε κανάλι στο FDD είναι ίσο και σταθερό, καθιστά το σύστημα ιδανικό για την εξυπηρέτηση συμμετρικών υπηρεσιών, όπως η μετάδοση φωνής όπου η ίδια ή παρόμοια πληροφορία μεταφέρεται και στις δύο κατευθύνσεις. Επίσης οι παρεμβολές μεταξύ σταθμών βάσης αλλά και μεταξύ των κινητών σταθμών, ελαχιστοποιούνται λόγω της ύπαρξης του διαστήματος φύλαξης. Εξαιτίας του γεγονότος αυτού ο σχεδιασμός του δικτύου καθίσταται ευκολότερος. Το σημαντικότερο μειονέκτημα της TDD τεχνικής είναι ότι κατανομή του εύρους φάσματος που αποδίδεται στους διαύλους είναι σταθερή. Το γεγονός αυτό ευνοεί μεν, την μετάδοση συμμετρικών υπηρεσιών, αλλά μπορεί να οδηγήσει σε σπατάλη του

εύρους ζώνης όταν οι υπηρεσίες που πρέπει να μεταδοθούν είναι ασύμμετρες. Όταν λοιπόν η μετάδοση δεδομένων και η πρόσβαση στο διαδίκτυο (ασύμμετρες υπηρεσίες) γίνονται οι κύριοι χρήστες του εύρους ζώνης, η ανάγκη για πιο ευέλικτη αξιοποίηση των καναλιών μετάδοσης γίνεται επιτακτικότερη.

1.3.3 TDD

Το σύστημα TDD δεν απαιτεί ούτε την χρήση ζεύγους καναλιών για την άνω και την κάτω ζεύξη αλλά ούτε και την ύπαρξη διαστήματος φύλαξης. Αντί αυτού χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα για την μετάδοση της πληροφορίας τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη κάνοντας τον διαχωρισμό στο πεδίο του χρόνου. Σε κάθε κανάλι συνυπάρχουν ένα υποπλαίσιο DL και ένα UL. Τα TDD συστήματα χρησιμοποιούν διαστήματα φύλαξης για την μετάβαση από το DL στο UL και αντίστροφα, τα οποία ονομάζονται TTG (Transmit/receive Transition Gap) και RTG (Receive/Transmit Transition Gap) αντίστοιχα. Σε γενικές γραμμές το TTG πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την καθυστέρηση διάδοσης με επιστροφή (round trip delay) που είναι γραμμικά ανάλογο με την ακτίνα της κυψέλης. Η λειτουργία του TDD φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1.3: Λειτουργία TDD.

Το TDD έχει την δυνατότητα της δυναμικής απόδοσης του φάσματος στο UL ή στο DL με την μεταβολή της διάρκειας του εκάστοτε υποπλαισίου, γεγονός που την καθιστά σημαντική υποψήφια για τα επόμενης γενιάς (3G) συστήματα. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της TDD τεχνικής είναι η αμοιβαιότητα (reciprocity) του διαύλου. Όταν το τερματικό εκτιμά το δίαυλο στη μια κατεύθυνση μπορεί να χρησιμοποιήσει την πληροφορία για την κατάσταση του διαύλου και στην άλλη κατεύθυνση χωρίς σφάλμα. Συνεπώς δίνεται η δυνατότητα για καλύτερη παραμετροποίηση της εκπομπής βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του συστήματος.

Επίσης το κόστος για την ανάπτυξη της τεχνικής TDD είναι μειωμένο συγκριτικά με την FDD καθώς ο ίδιος ταλαντωτής και τα ίδια φίλτρα χρησιμοποιούνται τόσο για τη άνω όσο και για την κάτω ζεύξη και δεν υπάρχει η ανάγκη για τη χρήση διπλέκτη. Το σημαντικότερο μειονέκτημα της TDD τεχνικής είναι παρεμβολές που προκύπτουν όταν οι μεταδόσεις γειτονικών σταθμών βάσης δεν είναι χρονικά συγχρονισμένες ή έχουν διαφορετικές UL και DL συμμετρίες. Οι παρεμβολές που προκύπτουν μεταξύ των σταθμών βάσης είναι πολύ πιο ισχυρές από αυτές που μπορεί να υπάρξουν μεταξύ κινητών σταθμών, και σταθμών βάσης και αυτό οφείλεται διότι μπορεί να υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ των σταθμών βάσης. Αυτού του είδους η παρεμβολή ονομάζεται ετεροσχισμική (cross slot interference).

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι χρησιμοποιούμε FDD συστήματα σε περιπτώσεις όπου θέλουμε κάλυψη μεγάλων αποστάσεων με υψηλή ισχύ εκπομπής και TDD συστήματα σε περιπτώσεις όπου έχουμε περιορισμένο εύρος ζώνης και πυκνή δομή επαναχρησιμοποίησης. Επίσης το TDD είναι μια πιο επιθυμητή τεχνική αμφιδρόμησης, καθώς επιτρέπει στον χειριστή του δικτύου να εκμεταλλευτεί στο έπακρο το διαθέσιμο εύρος ζώνης και τον τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό, καθώς καλύπτει τις ανάγκες του κάθε χρήστη ξεχωριστά.

1.4 Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης

Ένα σημαντικό ζήτημα το οποίο έχει άμεση σχέση με την χωρητικότητα των συστημάτων κινητών επικοινωνιών, δεδομένου ότι το διατιθέμενο φάσμα είναι περιορισμένο είναι η αποτελεσματική χρησιμοποίησή του. Η κατανομή του εύρους ζώνης με απόδοση αποκλειστικών διαύλων καλείται πολλαπλή πρόσβαση. Η πολλαπλή πρόσβαση παρέχει τα μέσα για την αποτελεσματική χρησιμοποίηση των ασύρματων πόρων που αντιστοιχούν σε κάθε κυψέλη και επιτρέπει την εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού κλήσεων. Μια καλή τεχνική μπορεί να βελτιώσει τη χωρητικότητα του συστήματος, να ελαττώσει το κόστος, και να κάνει τις υπηρεσίες περισσότερο ελκυστικές στους χρήστες. Μιλώντας γενικά υπάρχουν τρεις λέξεις κλειδιά στη σχεδίαση της πολλαπλής πρόσβασης των συστημάτων κινητών τηλεπικοινωνιών: *ευελιξία, ποιότητα και χωρητικότητα*. Η ευελιξία αναφέρεται στη δυνατότητα

εξυπηρέτησης ολοκληρωμένης κίνησης φωνής, δεδομένων και βίντεο και στη δυνατότητα αντιμετώπισης της περιαγωγής του τερματικού. Ποιότητα σημαίνει ικανοποίηση των απαιτήσεων υπηρεσίας όπως πχ είναι οι περιορισμοί καθυστέρησης και απώλειας πακέτων. Χωρητικότητα σημαίνει ότι ο αριθμός των χρηστών που εξυπηρετούνται θα πρέπει να μεγιστοποιηθεί για το εύρος ζώνης συχνοτήτων που διατίθεται. Οι τρεις αυτοί στόχοι είναι δύσκολο να πραγματοποιηθούν στα συστήματα κινητών επικοινωνιών λόγω του περιορισμένου εύρους ζώνης συχνοτήτων και της ύπαρξης του ασύρματου μέρους των συστημάτων αυτών. Οι κυριότερες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης τις οποίες θα αναλύσουμε περιληπτικά παρακάτω είναι οι εξής:

- Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χώρου (Space Division Multiple Access-SDMA).
- Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (Frequency Division multiple Access-FDMA).
- Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiple Access-TDMA).
- Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (Code Division Multiple Access-CDMA).

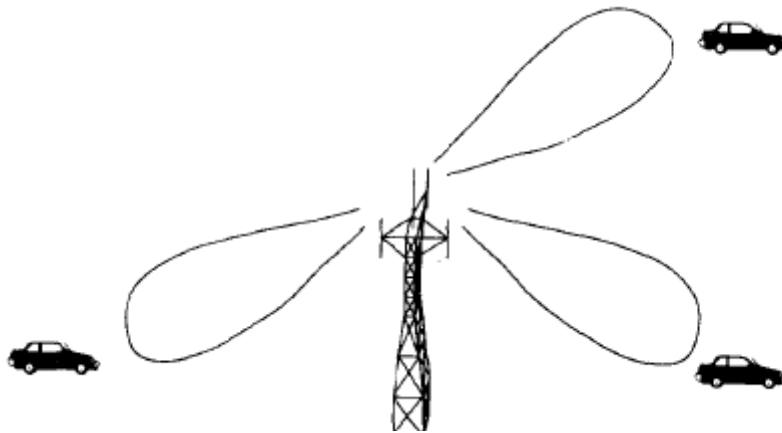
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιούνται από διάφορα συστήματα κινητών επικοινωνιών ανά τον κόσμο.

Κυβελωτό σύστημα	Τεχνική Πολλαπλής Πρόσβασης
Advanced Mobile Phone System (AMPS)	FDMA/FDD
Global System for Mobile (GSM)	TDMA/FDD
U.S Digital Cellular (USDC)	TDMA/FDD
Digital European Cordless Telephone (DECT)	TDMA/TDD
cdma 2000	CDMA/FDD
UMTS (UTRA-FDD)	WCDMA/FDD
UMTS (UTRA-TDD)	WCDMA/TDD

Πίνακας 1.1: Χρησιμοποιούμενες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης, από διάφορα συστήματα κινητών επικοινωνιών παγκοσμίως. [3]

1.4.1 SDMA

Η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χώρου ελέγχει την ακτινοβολούμενη ενέργεια από κάθε χρήστη στο χώρο. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα η SDMA εξυπηρετεί διάφορους χρήστες χρησιμοποιώντας κεραίες σημειακής δέσμης. Οι διάφορες περιοχές που καλύπτονται από τις δέσμες της κεραίας μπορεί να εξυπηρετούνται από την ίδια συχνότητα (συστήματα TDMA ή CDMA) ή από διαφορετικές συχνότητες (συστήματα FDMA). Μια απλή περίπτωση εφαρμογής της τεχνικής SDMA είναι ο διαχωρισμός των κυψελών σε τομείς.

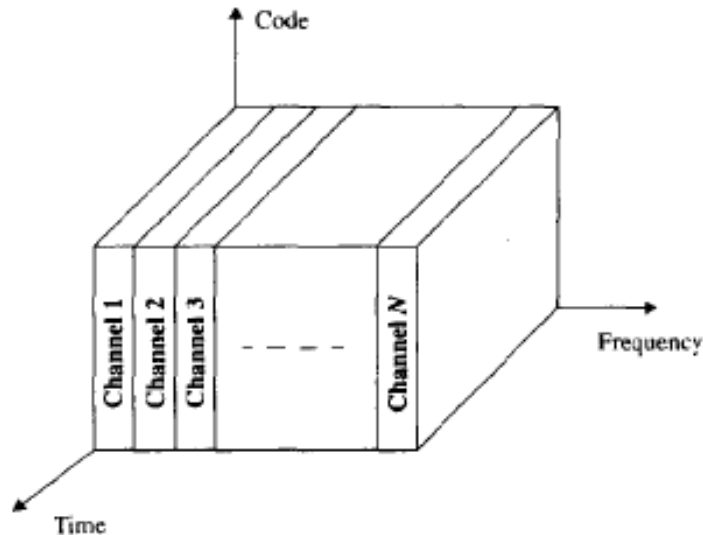


Σχήμα 1.4: Λειτουργία SDMA.

Με την SDMA όλοι οι χρήστες του συστήματος θα μπορούν να επικοινωνούν την ίδια χρονική στιγμή χρησιμοποιώντας τον ίδιο ραδιοδιάλο. Επιπρόσθετα, ένα σύστημα με τέλεια προσαρμοστικές κεραίες θα μπορεί να ανιχνεύει τις διάφορες συνιστώσες από πολλαπλές διαδρομές για κάθε τερματικό, και να τις συνδυάζει κατά βέλτιστο τρόπο, ώστε να συλλέγει όλη την διαθέσιμη ενέργεια του σήματος από κάθε τερματικό. Κάτι τέτοιο όμως είναι αρκετά δύσκολο, καθώς η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος απαιτεί τη χρήση τεράστιων κεραιών. Τέλος η τεχνική SDMA δεν χρησιμοποιείται ποτέ μόνη της, αλλά πάντα σε συνδυασμό με μία ή περισσότερες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης.

1.4.2 FDMA

Στην πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (FDMA) εκχωρείται ένα μοναδικό κανάλι σε κάθε χρήστη που θέλει να εξυπηρετηθεί όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1.5: Λειτουργία FDMA.

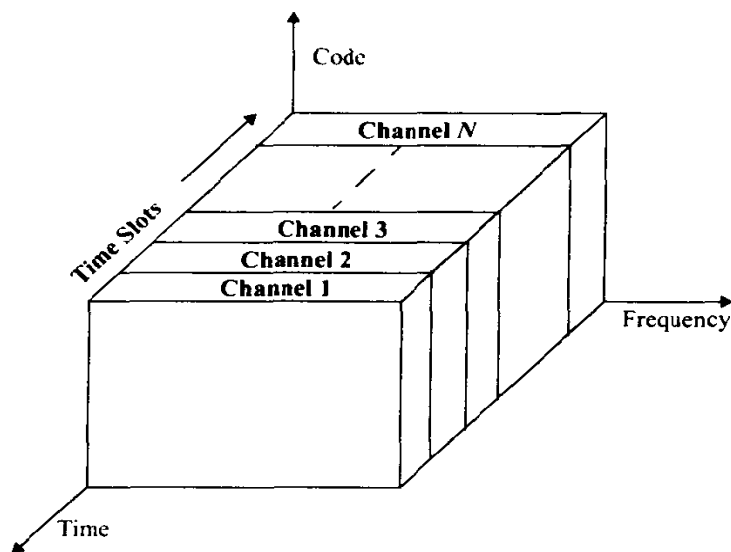
Το κανάλι εκχωρείται ύστερα από αίτηση του χρήστη. Κατά τη διάρκεια της κλήσης, δεν μπορεί άλλος χρήστης να χρησιμοποιήσει το ίδιο κανάλι. Στα FDD συστήματα εκχωρείται στους χρήστες ένα κανάλι σαν ένα ζεύγος συχνοτήτων. Μία συχνότητα χρησιμοποιείται για την άνω ζεύξη και η άλλη για την κάτω ζεύξη. Με αυτή τη σταθερή εκχώρηση, η λογική του ελέγχου είναι απλή, με αντάλλαγμα όμως τη χαμηλή απόδοση και τη χαμηλή χωρητικότητα του συστήματος.

Το FDMA αν και είναι ικανό για ψηφιακή μετάδοση και είναι σχετικά απλή σαν τεχνική δεν είναι αρκετά ευέλικτη καθώς για την προσθήκη ενός χρήστη χρειάζονται τροποποιήσεις στον εξοπλισμό του συστήματος. Για τους λόγους αυτούς χρησιμοποιήθηκε κυρίως στα (αναλογικά) κυβελωτά συστήματα πρώτης γενιάς. Πρόσφατα χρησιμοποιείται ως βοηθητική της TDMA ή της CDMA με σκοπό την περαιτέρω βελτίωση της χωρητικότητας του συστήματος, εφαρμόζοντας επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων.

1.4.3 TDMA

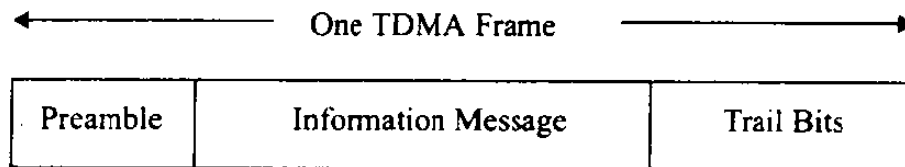
Στα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (TDMA), το διατιθέμενο φάσμα χωρίζεται σε χρονοσχιμές (time slot), και σε κάθε χρονοσχιμή επιτρέπεται μόνο σε ένα χρήστη είτε να εκπέμψει είτε να λάβει. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.6, κάθε χρήστης καταλαμβάνει μια κυκλικά

επαναλαμβανόμενη χρονοσχισμή, οπότε μια χρονοσχισμή που επαναλαμβάνεται σε κάθε πλαίσιο, μπορεί να θεωρηθεί ως διάυλος, δεδομένου ότι N χρονοσχισμές αποτελούν ένα πλαίσιο. Στον χρήστη που θέλει να επικοινωνήσει, εκχωρείται μια μοναδική χρονοσχισμή στο πλαίσιο TDMA, μέσω του διαύλου ελέγχου. Αυτή η σχισμή μπορεί να κρατηθεί από το χρήστη μέχρι το τέλος της επικοινωνίας του. Σε αντίθεση με τα συστήματα FDMA, όπου χρησιμοποιείται αναλογική μετάδοση, με χρήση FM διαμόρφωσης, στα συστήματα TDMA χρησιμοποιούνται ψηφιακά δεδομένα και ψηφιακή διαμόρφωση.



Σχήμα 1.6: Λειτουργία TDMA.

Οι μεταδιδόμενες πληροφορίες από διάφορους χρήστες πολυπλέκονται σε ένα επαναλαμβανόμενο πλαίσιο TDMA όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Κάθε πλαίσιο αποτελείται από το προοίμιο (preamble), το μήνυμα πληροφορίας (data) και τον επίλογο (trail bits).



Σχήμα 1.7: Δομή TDMA πλαισίου.

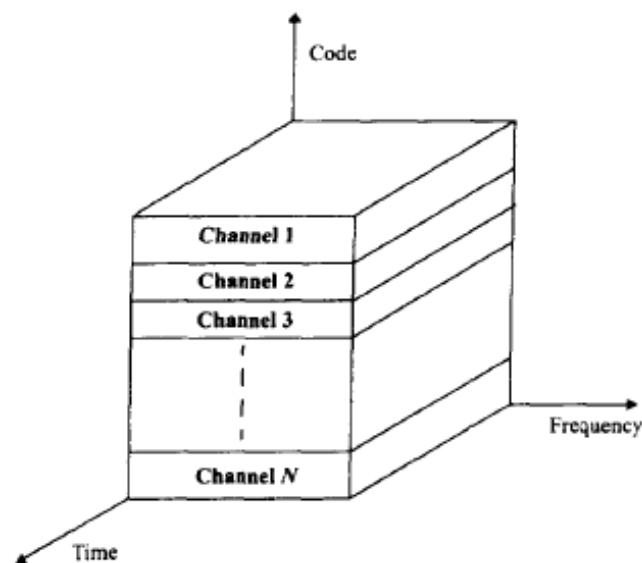
Το προοίμιο περιέχει την διεύθυνση και την πληροφορία συγχρονισμού, την οποία χρησιμοποιούν τόσο ο σταθμός βάσης όσο και το κινητό τερματικό για να αναγνωρίζονται μεταξύ τους. Χρονικές περιόδους ασφαλείας χρησιμοποιούνται μεταξύ των διαφόρων χρονοσχισμών και πλαισίων, για να επιτρέπουν τον συγχρονισμό των

δεκτών. Το TDMA έχει το πλεονέκτημα ότι είναι δυνατό να διατεθούν διαφορετικοί αριθμοί χρονοσχισμών ανά πλαίσιο σε διαφόρους χρήστες. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατή η διάθεση μεταβλητού εύρους ζώνης, σε κάθε χρήστη, ξεχωριστά ανάλογα με τις απαιτήσεις του.

1.4.4 CDMA

Στην ενότητα αυτή θα αναλύσουμε περιληπτικά τα κύρια χαρακτηριστικά της τεχνικής πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα, καθώς μια πιο λεπτομερή ανάλυση θα γίνει στο τρίτο κεφάλαιο όπου και γίνεται ανάλυση της WCDMA (Wideband-CDMA).

Στα συστήματα πολλαπλής διαίρεσης κώδικα (CDMA), όλοι οι χρήστες χρησιμοποιούν το ίδιο φέρον και μπορεί να μεταδίδουν ταυτόχρονα, ενώ ο κάθε χρήστης χρησιμοποιεί όλο το διατιθέμενο φάσμα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1.8: Λειτουργία CDMA.

Το στενής ζώνης σήμα πληροφορίας κάθε χρήστη πολλαπλασιάζεται με ένα σήμα μεγάλου εύρους ζώνης, που ονομάζεται σήμα εξάπλωσης (spreading signal). Το σήμα εξάπλωσης είναι μια κωδική ακολουθία ψευδοθορύβου που έχει ρυθμό chip που είναι τάξεις μεγέθους μεγαλύτερος, από τον ρυθμό bit του σήματος πληροφορίας. Το σήμα πληροφορίας κάθε χρήστη διαμορφώνεται από μια μοναδική ακολουθία, η οποία

καλείται ακολουθία υπογραφής και έχει ανατεθεί στον υποψήφιο χρήστη. Έτσι, η διάκριση των σημάτων των χρηστών γίνεται με βάση την ακολουθία της υπογραφής.

Στην πλευρά του δέκτη, χρησιμοποιείται μια κωδική ακολουθία προσαρμογής για την επανασυμπύεση του εύρους ζώνης και την λήψη των αρχικών δεδομένων. Με αυτήν την διαδικασία εξάπλωσης και επανασυμπύεσης όλες οι άλλες ταυτόχρονες μεταδόσεις στον διάλογο θα δρουν ως πρόσθετη παρεμβολή στο επιθυμητό σήμα και μπορούν να απομακρυνθούν εντελώς, εάν οι κώδικες είναι ορθογώνιοι. Εάν υπάρχουν αρκετοί δέκτες στον σταθμό βάσης, είναι δυνατό να έχουμε πολλαπλές επιτυχείς λήψεις. Η CDMA έχει ήδη υιοθετηθεί για επικοινωνία φωνής, αλλά μπορεί ταυτόχρονα να υποστηρίξει και μετάδοση δεδομένων. Στην CDMA τεχνική δεν απαιτείται συντονισμός μεταξύ των διαφόρων χρηστών.

Οι τεχνικές FDMA και TDMA που αναλύσαμε παραπάνω έχουνε τρία βασικά μειονεκτήματα. Το πρώτο είναι ότι κατά τη διάρκεια περιόδων σιωπής σε μια τηλεφωνική συνδιάλεξη (50%-65% του χρόνου) δεν είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση του διαύλου από άλλους χρήστες, καθώς η μεταγωγή κυκλώματος πρέπει να γίνει σε εξαιρετικά μικρό χρονικό διάστημα, που δεν είναι πρακτικά εφικτό. Το δεύτερο μειονέκτημα είναι η σχετικά αραιή δομή επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων που μπορούμε να επιτύχουμε. Τέλος το τρίτο μειονέκτημα αφορά όλες τις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης και σχετίζεται με το φαινόμενο των διαλείψεων. Ειδικά για την FDMA, όπου το εύρος ζώνης των διαύλων είναι κατά κανόνα μικρότερο από τις υπόλοιπες τεχνικές, το πρόβλημα των διαλείψεων είναι εξαιρετικά σημαντικό.

Πλεονεκτήματα Τεχνικής CDMA συγκριτικά με τις τεχνικές FDMA και TDMA.

- Εκμεταλλευόμαστε τις σιωπηλές περιόδους στις τηλεφωνικές συνομιλίες.
- Δεν απαιτούνται διαστήματα φύλαξης, τα οποία είναι απώλεια στη συνολική χωρητικότητα του συστήματος.
- Επιτυγχάνει πολύ μεγαλύτερες χωρητικότητες σε επίπεδο χρηστών ανά κυψέλη.
- Δεν απαιτούνται πολύπλοκες τεχνικές απόδοσης και διαχείρισης του φάσματος.
- Έχει πολύ καλή συμπεριφορά, όσον αφορά στην ασφάλεια της μετάδοσης των δεδομένων.
- Σε φυσιολογικές συνθήκες, η προσθήκη ενός επιπλέον χρήστη έχει ελάχιστη επίδραση στην ποιότητα υπηρεσιών των υπαρχόντων χρηστών.

- Είναι δυνατή η συνύπαρξη με άλλα αναλογικά συστήματα.
- Μπορεί να παρέχει εύρος ζώνης κατά απαίτηση. (bandwidth on demand).

Όπως είδαμε στην παραπάνω ανάλυση, η CDMA είναι μια τεχνική η οποία έχει αρκετά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τις TDMA και FDMA. Για τον λόγο αυτό μια παραλλαγή της CDMA (WCDMA) επιλέχθηκε σαν η επικρατέστερη ασύρματη διεπαφή για τα συστήματα κινητών επικοινωνιών 3ης γενιάς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GSM-EDGE

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το GSM-EDGE είναι μια τεχνολογία 2.5G η οποία βασίζεται στην βελτίωση του συστήματος GPRS και πιο συγκεκριμένα είναι μια τεχνική η οποία αυξάνει τον ρυθμό μετάδοσης της ραδιοεπαφής του GSM. Στο κεφάλαιο αυτό θα δώσουμε μια περιληπτική αναφορά της εξέλιξης των συστημάτων κινητών επικοινωνιών και το πώς φτάσαμε στην γενιά 2.5G στην ενότητα 2.1. Για την κατανόηση της τεχνικής EDGE θα δώσουμε πρώτα μια σύντομη περιγραφή των συστημάτων GPS και GPRS στις ενότητες 2.2 και 2.3 αντίστοιχα. Τέλος η περιγραφή του συστήματος GSM-EDGE γίνεται στην ενότητα 2.4.

2.1 Εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών στα συστήματα 2,5G.

2.1.1 Συστήματα πρώτης γενιάς (1G)

Τα κυψελωτά συστήματα πρώτης γενιάς εμφανίστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Το πρώτο παγκοσμίως κυψελωτό σύστημα που λειτούργησε ήταν στην Ιαπωνία το 1979 από την NTT (Nippon Telephone and Telegraphy). Τα συστήματα αυτά δεν ήταν η απαρχή των κινητών επικοινωνιών, καθώς αρκετά συστήματα κινητών επικοινωνιών ήταν ήδη σε λειτουργία, αλλά δεν ήταν κυψελωτά. Η χωρητικότητα των δικτύων αυτών ήταν αρκετά μικρότερη από αυτήν των κυψελωτών, και η ικανότητα για υποστήριξη κινητικότητας ήταν επίσης μικρότερη. Τα συστήματα πρώτης γενιάς χρησιμοποιούσαν αναλογικές τεχνικές για την διαχείριση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, η οποία αποτελούνταν κυρίως από την μετάδοση φωνής. Τα NTT (Nippon Telephone and Telegraph), NMT 450 (Nordic Mobile Telephone), NMT 900, AMPS (American Mobile Phone System) , ETACS (European Total Access Communication System), JTACS (Japanese Total Access Communication αποτελούν τα κυριότερα συστήματα πρώτης γενιάς με βασικά χαρακτηριστικά, την αναλογική διαμόρφωση FM και την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης FDMA σε συνδυασμό με την χρήση

αμφιδρόμησης FDD. Παρόλο που τη σημερινή εποχή λειτουργούν αρκετά 3G συστήματα και διεξάγονται συζητήσεις για την μετάβαση σε 4G συστήματα, τα πρώτης γενιάς συστήματα σταμάτησαν την λειτουργία τους μόλις μερικά χρόνια πριν.

Ήδη όμως από τα πρώτα χρόνια λειτουργίας τους τα αναλογικά συστήματα εμφάνισαν αρκετά μειονεκτήματα όπως:

- Εξαιρετικά περιορισμένο φάσμα προς απόδοση, και συνεπώς χαμηλή χωρητικότητα συστημάτων.
- Η αντίληψη των χρηστών ότι ήταν περιορισμένης χρησιμότητας λόγω της χαμηλής ποιότητας υπηρεσιών, αλλά και του αριθμού των προσφερόμενων υπηρεσιών.
- Απουσία ασφάλειας επικοινωνιών.
- Αδυναμία να μειώσουν το κόστος των τερματικών και της υποδομής των δικτύων.
- Ασυμβατότητα μεταξύ των διάφορων αναλογικών συστημάτων.

2.1.2 Συστήματα δεύτερης γενιάς (2G)

Τα παραπάνω μειονεκτήματα σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της ψηφιακής τεχνολογίας οδήγησαν στα συστήματα δεύτερης γενιάς (2G). Η ψηφιοποίηση των συστημάτων αυτών επιτρέπει την χρήση των τεχνικών CDMA και TDMA ως εναλλακτικών λύσεων της FDMA. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των τεχνικών αυτών είναι ο καταμερισμός του λογισμικού και του υλικού του σταθμού βάσης σε πολλαπλούς χρήστες. Μερικά από τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα συστήματα δεύτερης γενιάς είναι:

- Αυξημένη ανοσία στο θόρυβο.
- Απόκρυψη για την ασφάλεια των επικοινωνιών.
- Χαμηλή κατανάλωση ισχύος.
- Ευελιξία για μικτές επικοινωνίες φωνής και δεδομένων και για την υποστήριξη νέων υπηρεσιών.
- Περιορισμένη πολυπλοκότητα του συστήματος.

Τα τέσσερα κυριότερα συστήματα δεύτερης γενιάς είναι τα εξής:

- GSM (Global System for Mobile).
- IS-95 (Interim Standard).
- IS-54
- PDC (Personal Digital Cellular).

Από αυτά το πρότυπο GSM είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα δεύτερης γενιάς με μεγάλη ανάπτυξη παγκοσμίως το οποίο θα εξετάσουμε περιληπτικά στην ενότητα 2.2.

2.1.3 Συστήματα δεύτερης+ γενιάς (2.5G)

Η γενιά 2.5 είναι μια ονομασία η οποία περιλαμβάνει όλες τις αναβαθμίσεις για τα συστήματα 2G. Αυτές οι αναβαθμίσεις σε ορισμένες περιπτώσεις μπορούν να παρέχουν παρόμοιες δυνατότητες με τα 3G συστήματα. Επίσης είναι δύσκολο από τεχνικής απόψεως να καθορίσουμε το πότε ένα σύστημα 2G εξελίσσεται σε 2.5G. Η ανάγκη για την αναβάθμιση των συστημάτων δεύτερης γενιάς και συγκεκριμένα για το GSM γεννήθηκε από την ανάγκη για υψηλότερη ταχύτητα δεδομένων. Το GSM, που κύριος στόχος του ήταν η μετάδοση της φωνής, μπορούσε να μεταφέρει δεδομένα σε μικρή ταχύτητα, της τάξεως των 9,6 Kbps. Αυτό σήμαινε πως η αποστολή/λήψη δεδομένων μεγαλύτερου μεγέθους αργούσε περισσότερο, κόστιζε παραπάνω και το μέγεθος των μεταφερόμενων δεδομένων ήταν περιορισμένο. Συνήθως ένα σύστημα 2.5G περιλαμβάνει μία από τις τρεις επόμενες τεχνικές: HSCD (High Speed Circuit-Switched Data), GPRS (General Packet Service Radio) και το EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution).

2.2 Το σύστημα GSM

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 υπήρχαν αρκετά συνυπάρχοντα αναλογικά συστήματα, τα οποία βασιζόταν σε παρόμοια πρότυπα, παρόλαυτα λειτουργούσαν σε

ελαφρώς διαφορετικές συχνότητες. Για την αποφυγή παρόμοιων καταστάσεων για τα συστήματα δεύτερης γενιάς, ιδρύθηκε το 1982 το Groupe Special Mobile, το οποίο σύντομα μετονομάστηκε σε Global System for Mobile Communications (GSM). Οι κυριότεροι στόχοι του GSM ήταν οι εξής:

- Η λειτουργία σε όλη την Ευρώπη.
- Να παρέχει υψηλής ποιότητας υπηρεσίες φωνής.
- Συμβατότητα με άλλα συστήματα όπως το ISDN (Integrated Services Digital Network).
- Υποστήριξη περιαγωγής (roaming).
- Αποδοτική χρησιμοποίηση του φάσματος.
- Χαμηλό κόστος τερματικών, σταθμών βάσης και υπηρεσιών.

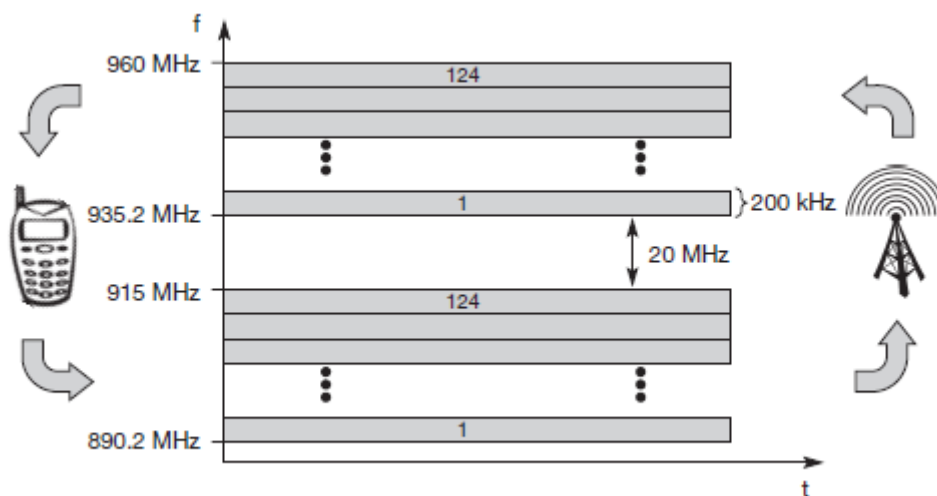
Αρχικά το GSM αναπτύχθηκε στην Ευρώπη χρησιμοποιώντας τις συχνότητες 890-915MHz για την άνω ζεύξη και τις συχνότητες 935-960 για την κάτω ζεύξη αντίστοιχα. Το σύστημα αυτό ονομάστηκε GSM 900 για να μπορέσουμε να το διαχωρίσουμε από τις επόμενες εκδοχές οι οποίες ακολούθησαν. Η εκδοχή του GSM που αναπτύχθηκε στη ζώνη συχνοτήτων στα 1800MHz (1710-1785MHz uplink, 1805-1880MHz downlink) ονομάστηκε DCS 1800 (Digital Cellular System). Μια άλλη εκδοχή του GSM η οποία χρησιμοποιείται κυρίως στις ΗΠΑ, αναπτύσσεται στα 1900MHz (1850-1910 MHz uplink, 1930-1990 MHz downlink) και ονομάστηκε PCS 1900 (Personal Communication Service) ή GSM 1900. Υπάρχουν ακόμα δύο εκδοχές του συστήματος GSM. Το GSM 400 είναι μια πρόταση για ανάπτυξη του GSM στις συχνότητες 450.4-457.6/478.8-786MHz για την άνω ζεύξη και στις συχνότητες 460.4-467.6/488.8-496MHz για την κάτω ζεύξη. Το GSM 400 χρησιμοποιήθηκε για την αντικατάσταση των αναλογικών δικτύων κυρίως σε αραιοκατοικημένες περιοχές. Τέλος στην Ευρώπη αναπτύχθηκε το railway GSM (R-GSM) στις συχνότητες 876-880 MHz για την άνω ζεύξη και 921-925 MHz για την κάτω ζεύξη. Το σύστημα αυτό παρέχει επιπλέον διαύλους και εξειδικευμένες υπηρεσίες στο προσωπικό των σιδηροδρόμων. Στην ενότητα αυτή η εκδοχή την οποία θα αναλύσουμε είναι η GSM 900, παρόλαυτα οι ίδιες αρχές ισχύουν και για τα υπόλοιπα GSM συστήματα τα οποία αναφέραμε.

Στο GSM όλη η μεταδιδόμενη πληροφορία είναι ψηφιακή, δηλαδή τα σήματα αναπαρίστανται και μεταδίδονται μέσω της ραδιοεπαφής, ως ροές δυαδικών ψηφίων (bit streams).

Το ψηφιακό σήμα διαμορφώνεται σε αναλογικές συχνότητες με εύρος φάσματος 200kHz, χρησιμοποιώντας ψηφιακή διαμόρφωση GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Το GMSK επιλέχθηκε, καθώς αποτελεί ένα πολύ καλό συμβιβασμό μεταξύ της εξοικονόμησης του φάσματος και της πολυπλοκότητας του πομπού. Επίσης περιορίζει τις ανεπιθύμητες παρεμβολές σε γειτονικά κανάλια, ώστε να μπορεί να συνυπάρχει με τα αναλογικά δίκτυα.

Το κάθε κανάλι επικοινωνίας έχει ένα μοναδικό αριθμό ο οποίος ονομάζεται ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel). Τα χαμηλότερα και υψηλότερα ζεύγη συχνοτήτων μένουν αχρησιμοποίητα, προκειμένου να αποφευχθούν παρεμβολές με γειτονικές περιοχές συχνοτήτων άλλων υπηρεσιών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το κάθε κανάλι έχει εύρος 200kHz, στο GSM 900 έχουμε 124 κανάλια εκπομπής/λήψης. Οι συνηθισμένες τιμές για την ισχύ εκπομπής για τους σταθμούς βάσης του GSM είναι περίπου 10W, για μέγιστη ακτίνα κάλυψης 30km. Το GSM εφαρμόζει την τεχνική FDD για τον διαχωρισμό των συχνοτήτων της άνω και της κάτω ζεύξης. Η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών συχνοτήτων ονομάζεται απόσταση αμφιδρόμησης (Duplex Frequency). Στα συστήματα GSM 900 η απόσταση αυτή είναι 45MHz.

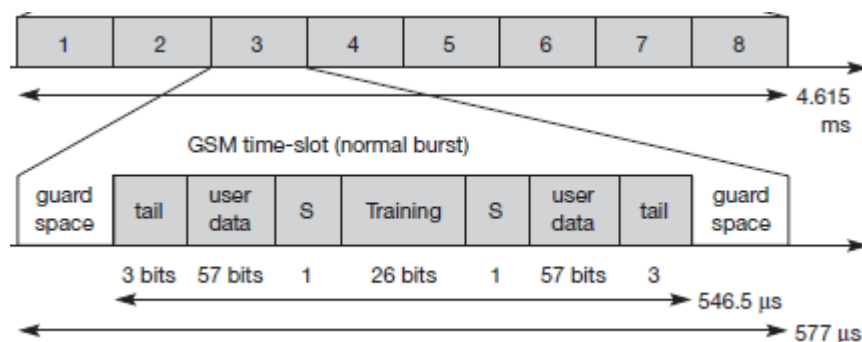
Το GSM βασίζεται στις τεχνικές FDMA και TDMA για την πολλαπλή πρόσβαση των χρηστών. Η τεχνική FDMA για το σύστημα GSM 900 φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



Σχήμα 2.1: FDMA τεχνική στο σύστημα GSM.

Όσον αφορά την FDMA το GSM χρησιμοποιεί πολλαπλές φέρουσες συχνότητες στο διαθέσιμο εύρος ζώνης. Το κανάλι με αριθμό 0 δεσμεύεται σαν ζώνη προστασίας, και λόγω τεχνικών λόγων τα κανάλια 1 και 124 δεν χρησιμοποιούνται για την μετάδοση στο GSM 900. Συνήθως δεσμεύονται 32 κανάλια για σηματοδοσία και τα υπόλοιπα 90 διατίθενται στους χρήστες. Ο κάθε σταθμός βάσης διαχειρίζεται ένα κανάλι για σηματοδοσία και 10 κανάλια για την εξυπηρέτηση των χρηστών. Σύμφωνα με την τεχνική FDMA ο σταθμός βάσης κατανέμει μια συγκεκριμένη συχνότητα για την άνω και την κάτω ζεύξη για την ανάπτυξη αμφίδρομης επικοινωνίας με τον κινητό σταθμό. Αν η άνω συχνότητα είναι $f_u=890\text{MHz}+n\cdot 0.2\text{MHz}$, η συχνότητα για την κάτω ζεύξη θα είναι $f_d= f_u+45\text{MHz}$ ή διαφορετικά $f_u=935\text{MHz}+ n\cdot 0.2\text{MHz}$ για ένα συγκεκριμένο κανάλι n.

Στην TDMA τεχνική, τα 248 συνολικά διαθέσιμα κανάλια χωρίζονται περαιτέρω στο πεδίο του χρόνου μέσω ενός GSM TDMA πλαισίου. Για την ακρίβεια το κάθε φέρον των 200kHz υποδιαιρείται σε πλαίσια τα οποία επαναλαμβάνονται περιοδικά. Η διάρκεια κάθε πλαισίου έχει διάρκεια 4.615ms. Επιπλέον το κάθε πλαίσιο διαιρείται περαιτέρω σε οχτώ χρονοσχισμές (slot), η κάθε μια από τις οποίες αντιπροσωπεύει ένα φυσικό TDMA κανάλι και έχει διάρκεια 577μs. Το κάθε TDMA κανάλι χρησιμοποιεί το φέρον για 577μs κάθε 4.615ms. Η λειτουργία της τεχνικής TDMA φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.2: TDMA τεχνική στο σύστημα GSM.

Τα δεδομένα στο GSM μεταδίδονται σε μικρά τμήματα τα οποία ονομάζονται ριπές (bursts). Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται μια ριπή η οποία χρησιμοποιείται για μετάδοση δεδομένων μέσα σε μία χρονοσχισμή. Η ριπή έχει μήκος 546.5μs και αποτελείται από 148 bits. Τα εναπομείναντα 30.5μs χρησιμοποιούνται σαν διάστημα φύλαξης (guard space) για την αποφυγή επικαλύψεων με διαφορετικές ριπές, λόγω των διαφορετικών

διαδρομών διάδοσης, καθώς επίσης και για να παρέχουν στον πομπό τον απαραίτητο χρόνο για την έναρξη και την λήξη της μετάδοσης. Ο μέγιστος αριθμός bit που είναι σε θέση να μεταφέρει μια χρονοσχισμή είναι 156.25 bits μέσα σε 577μs και το κάθε φέρον μεταφέρει αντίστοιχα $156.25 \cdot 8 = 1250 \text{bits}$ σε διάρκεια 4.615ms. Το κάθε κανάλι έχει ρυθμό μετάδοσης $\frac{1250 \text{bits}}{4.615 \text{ms}} = 33.8 \text{kbps}$, και το κάθε φέρον μεταφέρει

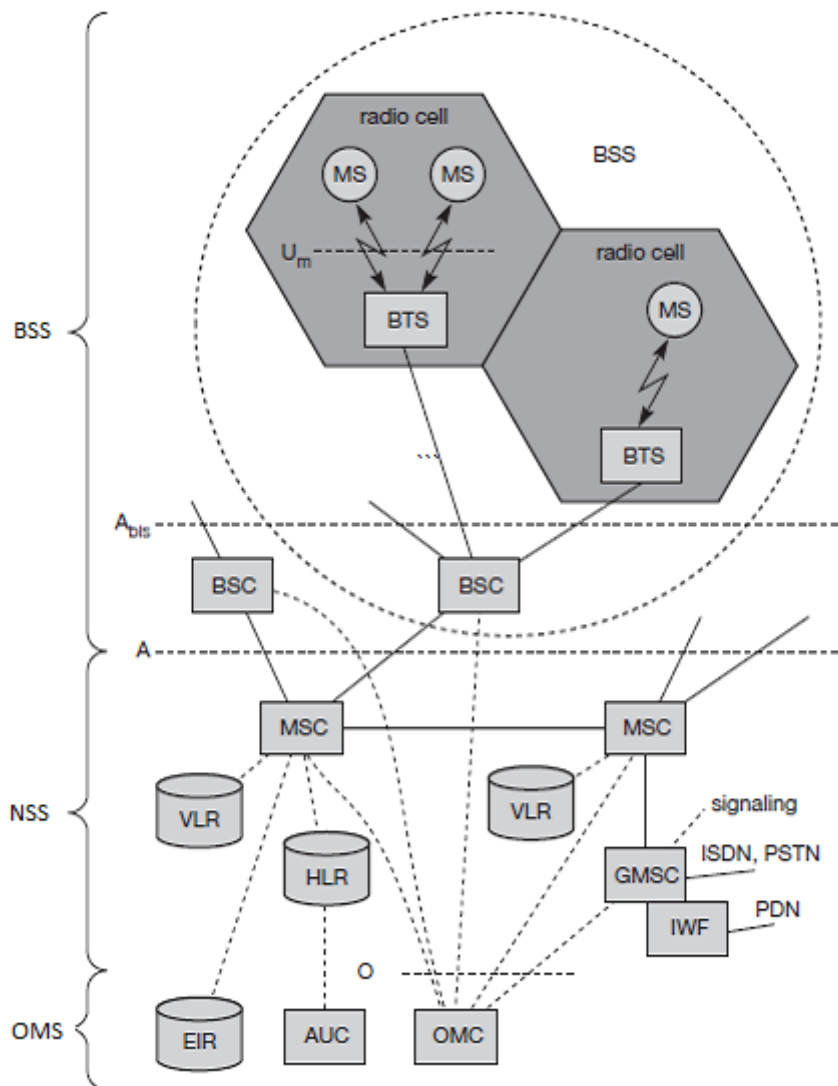
$$\frac{1250 \text{bits}}{4.615 \text{ms}} = 270 \text{kbps}.$$

Τα τρία πρώτα και τα τρία τελευταία bit μιας ριπής (tail) τίθενται πάντα στην τιμή 0 και μπορούν να χρησιμεύσουν στην βελτίωση της απόδοσης του δέκτη. Το πεδίο user data αποτελείται από 114 bits και διατίθεται για την μεταφορά των δεδομένων του χρήστη. Τα stealing flags (S) υποδεικνύουν στον δέκτη αν το πεδίο των δεδομένων περιέχει πληροφορία του χρήστη, ή πληροφορία σηματοδοσίας. Η ακολουθία εκπαίδευσης (training sequence ή midamble) αποτελείται από 26 bits, βρίσκεται στο κέντρο της ριπής, και τα bits αυτά είναι γνωστά τόσο στο σταθμό βάσης όσο και στον κινητό σταθμό. Η χρησιμότητα των bits αυτών είναι για την προσαρμογή του δέκτη στις τρέχουσες συνθήκες διάδοσης που επικρατούν στον διάυλο, καθώς επίσης για την επιλογή του ισχυρότερου σήματος σε περίπτωση που υπάρχει πολυδιαδρομική διάδοση.

Το δίκτυο του GSM αποτελείται από τέσσερα κύρια μέρη τα οποία με τη σειρά τους υποδιαιρούνται σε περαιτέρω υποσυστήματα:

1. Τον κινητό σταθμό (Mobile Station, MS).
2. Το υποσύστημα σταθμών βάσης ή υποσύστημα Πρόσβασης (Base Station Subsystem, BSS) που παρέχει ραδιοκάλυψη και διαχείριση των ραδιοπόρων.
3. Το υποσύστημα Δικτύου και Διαμεταγωγής (Network Switching System, NSS) ή Δίκτυο Κορμού (Core Network, CN), το οποίο φροντίζει για την δρομολόγηση των κλήσεων και τον εντοπισμό των συνδρομητών.
4. Το Υποσύστημα Συντήρησης και Λειτουργίας (Operation & Maintenance System, OMS) που εξασφαλίζει την διαχείριση του δικτύου.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται τα δομικά στοιχεία του συστήματος GSM:



Σχήμα 2.3: Αρχιτεκτονική δικτύου GSM. [5]

2.3 Το σύστημα GPRS

Όπως είδαμε στην υποενότητα 2.1.3 οι τρεις κυριότερες τεχνολογίες οι οποίες ανήκουν στα συστήματα 2.5G είναι οι HSCSD, GPRS, και EDGE. Το κυριότερο πρόβλημα του συστήματος GSM ήταν η παροχή χαμηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων. Το αρχικό GSM ήταν σε θέση να παρέχει ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 9.6Kbps. Ο πιο εύκολος τρόπος για την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης του GSM, ήταν η τεχνολογία HSCSD.

Με την τεχνολογία HSCSD ο κινητός σταθμός αντί για μία χρονοσχισμή μπορεί να χρησιμοποιήσει πολλαπλές χρονοσχισμές για μετάδοση δεδομένων. Η τεχνική αυτή είναι σε θέση να προσφέρει θεωρητικούς ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 64Kbps, στην πράξη όμως περιορίζεται στα 38.84Kbps. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι ότι βασίζεται στην μεταγωγή κυκλώματος. Αυτό σημαίνει ότι όταν διατεθούν κάποια κανάλια σε ένα χρήστη, ανεξάρτητα από το αν πραγματοποιείται μεταφορά δεδομένων, δεσμεύονται αποκλειστικά και μόνο για αυτόν και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κανένα άλλο χρήστη. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε μεγάλη σπατάλη των διαθέσιμων πόρων του συστήματος. Για τον λόγο αυτό, οι πάροχοι στράφηκαν σε άλλες λύσεις για την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης.

Η επόμενη λύση που προτάθηκε ήταν το GPRS. Με την τεχνολογία αυτή είναι δυνατή η αύξηση του ρυθμού μετάδοσης στα 115Kbps ή θεωρητικά στα 172Kbps. Το μεγάλο πλεονέκτημα του GPRS είναι ότι βασίζεται στην τεχνική μεταγωγής πακέτου, δηλαδή τα δεδομένα χωρίζονται σε μικρά πακέτα πριν αποσταλούν. Με αυτόν τον τρόπο το GPRS διανέμει τους διαύλους στους χρήστες μόνο όταν υπάρχει κάποια πληροφορία προς μετάδοση, οι οποίοι αποδεσμεύονται στο τέλος κάθε σύνδεσης. Χάρη στην μεταγωγή πακέτου, το GPRS επιτυγχάνει πιο αποδοτική εκμετάλλευση του φάσματος από το HSCSD.

Όπως είδαμε στην ενότητα 2.2, το κάθε TDMA πλαίσιο αποτελείται από οχτώ χρονοσχισμές. Στο GPRS υπάρχει η δυνατότητα, μία έως οχτώ χρονοσχισμές του πλαισίου αυτού να διατεθούν για το σύστημα GSM. Οι χρονοσχισμές αυτές δεν διατίθενται με ένα σταθερό και προκαθορισμένο τρόπο, αλλά κατ' απαίτηση του χρήστη (όταν αυτός έχει κάποια πληροφορία προς μετάδοση). Όλες οι χρονοσχισμές, μοιράζονται στους ενεργούς χρήστες, και γίνεται διαχωρισμός στο πλαίσιο για δεδομένα τα οποία μεταφέρονται στην άνω και στην κάτω ζεύξη αντίστοιχα. Ο διαχωρισμός των χρονοσχισμών γίνεται ανάλογα με το φορτίο του συστήματος καθώς επίσης και με τις προτιμήσεις του διαχειριστή του δικτύου. Συνήθως οι διαχειριστές του δικτύου στο GPRS δεσμεύουν τουλάχιστον μια χρονοσχισμή ανά κυψέλη για την εγγύηση ενός ελάχιστου ρυθμού μετάδοσης. Το GPRS υποστηρίζει τέσσερα σχήματα κωδικοποίησης (Coding Schemes-CS). Από τα τέσσερα σχήματα κωδικοποίησης το CS-1 έχει τον χαμηλότερο ρυθμό κωδικοποίησης (1/2) και λόγω αυτού είναι το πιο ανθεκτικό σε παρεμβολές και στην διόρθωση λαθών. Λόγω του χαμηλού ρυθμού κωδικοποίησης το CS-1 χρησιμοποιείται για όλα τα μηνύματα ελέγχου και έχει και τον μικρότερο ρυθμό μετάδοσης. Τα CS-2 και CS-3 έχουν μεγαλύτερο ρυθμό κωδικοποίησης 2/3 και 3/4

αντίστοιχα , και λόγω αυτού μεταφέρουν περισσότερα bits πληροφορίας. Τέλος το CS-4 είναι το πιο αποδοτικό σχήμα όσον αφορά την μετάδοση της πληροφορίας καθώς επίσης και το λιγότερο αποτελεσματικό στην διόρθωση λαθών καθώς δεν χρησιμοποιεί κωδικοποίηση. Το BSS επιλέγει το κατάλληλο σχήμα κωδικοποίησης ανάλογα με την τρέχουσα κατάσταση του ρυθμού μετάδοσης λαθών που επικρατεί στο δίαυλο, για την βελτιστοποίηση του ρυθμού μετάδοσης.

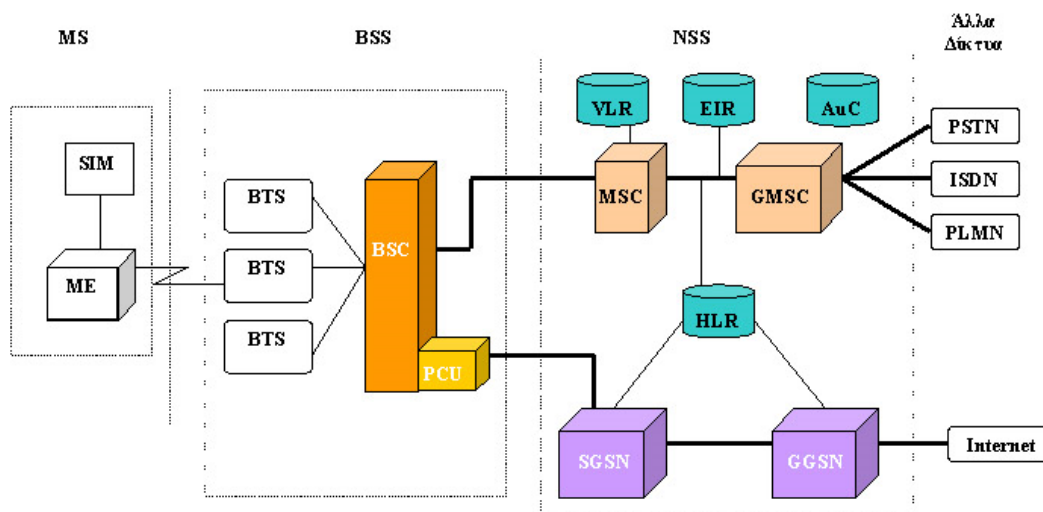
Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται οι ρυθμοί μετάδοσης τους οποίους μπορεί να επιτύχει το σύστημα GPRS ανάλογα με το σχήμα κωδικοποίησης και τον αριθμό των χρονοσχισμών που χρησιμοποιούνται.

Ρυθμός Μετάδοσης/Χρονοσχισμή (Kbps)									
Σχήμα κωδικοποίησης	Ρυθμός κωδικοποίησης	1	2	3	4	5	6	7	8
CS-1	1/2	9.05	18.2	27.15	36.2	45.25	54.3	63.35	72.4
CS-2	2/3	13.4	26.8	40.2	53.6	67	80.4	93.8	107.2
CS-3	3/4	15.6	31.2	46.8	62.4	78	93.6	109.2	124.8
CS-4	1	21.4	42.8	64.2	85.6	107	128.4	149.8	171.2

Πίνακας 2.1: Ρυθμοί μετάδοσης στο GPRS.

Η βασική ιδέα στο GPRS είναι η χρησιμοποίηση των χρονοσχισμών της ασύρματης διεπαφής του GSM που δεν χρησιμοποιούνται για φωνή, για τη μεταφορά ασύγχρονων δεδομένων με μεταγωγή πακέτου. Για να επιτύχει αυτόν τον στόχο το GPRS χρησιμοποιεί την ίδια ασύρματη διεπαφή που χρησιμοποιεί το GSM για την τηλεφωνία, με αναβαθμίσεις στο υλικό και στο λογισμικό του BSS και εισάγει νέο δίκτυο κορμού με στοιχεία δικτύου ειδικά για μετάδοση πακέτων. Τα στοιχεία αυτά είναι ο κόμβος Serving GPRS Support Node (SGSN), ο κόμβος Gateway GPRS Support Node (GGSN) και τέλος η μονάδα Packet Control Unit (PCU) η οποία ενσωματώνεται στο BSS.

Η δομή του GPRS δικτύου με τα νέα στοιχεία τα οποία προστίθενται στην υπάρχουσα αρχιτεκτονική του GSM φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.4: Αρχιτεκτονική δικτύου GPRS.

Η εφαρμογή ενός GPRS συστήματος είναι πολύ ακριβότερη από αυτήν ενός HSCSD καθώς όπως είδαμε χρειάζεται η ενσωμάτωση στο δίκτυο του GSM νέων δομικών στοιχείων, καθώς επίσης και η τροποποίηση των ήδη υπαρχόντων. Παρόλαυτα, το GPRS αποτελεί ένα απαραίτητο βήμα για την επίτευξη υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης. Ένα δίκτυο GSM χωρίς την εφαρμογή του GPRS, δεν θα παραμείνει βιώσιμο σε βάθος χρόνου, καθώς αυξάνονται οι απαιτήσεις για παροχή υπηρεσιών μετάδοσης δεδομένων. Τέλος οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι είναι σε θέση να αναβαθμίσουν τα δίκτυα τους μέσω του GPRS σε 3G, κάνοντας τις απαραίτητες τροποποιήσεις στο υφιστάμενο δίκτυο.

2.4 Το σύστημα GSM-EDGE

Η τρίτη και τελευταία τεχνολογία η οποία ανήκει στην γενιά 2.5G, και η οποία βελτιώνει σημαντικά τους ρυθμούς μετάδοσης του GSM είναι το EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution). Η τεχνολογία EDGE μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στο HSCSD όσο και στο GPRS, βελτιώνοντας την ρυθμαπόδοση (throughput) ανά χρονοσχιμή. Η βελτίωση του HSCSD ονομάζεται ECSD (Enhanced Circuit-Switched Data) και αντίστοιχα για το GPRS ονομάστηκε EGPRS (Enhanced General Packet Radio Service).

Το EDGE αποτελεί προσθήκη στο ήδη υπάρχον δίκτυο του GPRS και δεν μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα.. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος EDGE είναι ίδια με αυτά των συστημάτων GSM/GPRS. Η μόνη αλλαγή που απαιτείται σε ένα GPRS δίκτυο για την εισαγωγή του EDGE, αφορά την ραδιοεπαφή. Ο νέος τύπος διαμόρφωσης που εισάγεται και οι νέες κωδικοποιήσεις επιτρέπουν την αποδοτικότερη μετάδοση δεδομένων σε ποικίλες συνθήκες διάδοσης. Η βελτίωση που οδηγεί σε τριπλασιασμό του ρυθμού μετάδοσης, είναι η εισαγωγή της διαμόρφωσης 8PSK, σε συνδυασμό με την ήδη υπάρχουσα GMSK που χρησιμοποιείται στο GSM/GPRS. Ένα 8PSK σήμα είναι σε θέση να μεταφέρει 3bits ανά διαμορφωμένο σύμβολο μέσω της ασύρματης ραδιοεπαφής, ενώ ένα σήμα GMSK μεταφέρει μόλις 1bit ανά σύμβολο. Με την χρήση της διαμόρφωσης 8PSK επιτυγχάνεται αποτελεσματικότερη διαχείριση του διαθέσιμου φάσματος, και οι ταχύτητες μετάδοσης φτάνουν τα 384Kbps (θεωρητικά μέχρι και 473.6Kbps) ή 59.2Kbps/χρονοσχιμή. Η αύξηση αυτή στον ρυθμό μετάδοσης όμως δεν έρχεται χωρίς κόστος, καθώς τα σήματα 8PSK δεν είναι τόσο ανθεκτικά στην παρουσία θορύβου. Αυτό επηρεάζει το σχεδιασμό του δικτύου, και οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης επιτυγχάνονται σε μικρή περιοχή κάλυψης. Για την κάλυψη σε μεγάλες αποστάσεις χρησιμοποιείται η τεχνική GMSK, η οποία είναι πιο ανθεκτική στις παρεμβολές. Το EDGE χρησιμοποιεί εννέα διαφορετικά σχήματα κωδικοποίησης και διαμόρφωσης (Modulation-Coding Schemes-MCS) τα οποία φαίνονται στο παρακάτω πίνακα:

Σχήμα κωδικοποίησης.	Ρυθμός Κωδικοποίησης	Διαμόρφωση	Ρυθμός μετάδοσης/χρονοσχιμή (Kbps)
MCS-9	1	8-PSK	59.2
MCS-8	0.92	8-PSK	54.4
MCS-7	0.76	8-PSK	44.8
MCS-6	0.49	8-PSK	29.6
MCS-5	0.37	8-PSK	22.4
MCS-4	1	GMSK	17.6
MCS-3	0.8	GMSK	14.8
MCS-2	0.66	GMSK	11.2
MCS-1	0.53	GMSK	8.8

Πίνακας 2.2: Ρυθμοί μετάδοσης στο GSM-EDGE.

Οι διαφορές μεταξύ των συστημάτων EDGE και GPRS απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα:

	GPRS	EDGE
Διαμόρφωση	GMSK	8PSK/GMSK
Ρυθμός μετάδοσης συμβόλων	270Ksym/s	270Ksym/s
Ρυθμός μετάδοσης διαμορφωμένων bits	270Kbps	810Kbps
Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων/χρονοσχιμή	21.4Kbps (CS-4)	59.2Kbps (MCS-9)
Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων/πλαίσιο	172Kbps	473.6Kbps

Πίνακας 2.3: Διαφορές μεταξύ GPRS και GSM-EDGE.

Επίσης με το EDGE η φασματική απόδοση διπλασιάζεται συγκριτικά με το GPRS όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Συντελεστής Επαναχρησιμοποίησης Συχνοτήτων	GPRS	EGPRS
4/12	63 kbps/MHz/cell	140 kbps/MHz/cell
3/9	79 kbps/MHz/cell	168 kbps/MHz/cell
1/3	174 kbps/MHz/cell	326 kbps/MHz/cell

Πίνακας 2.4: Φασματική απόδοση GPRS και GSM-EDGE.

Το EDGE αποτελεί την τεχνολογία που έρχεται να γεφυρώσει με τον πιο αποδοτικό τρόπο την απόσταση που χωρίζει τις υπηρεσίες των δικτύων GSM, με τα δίκτυα 3G. Είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει εξελιγμένες υπηρεσίες σε σημεία που η κάλυψη WCDMA δεν έχει ακόμα επεκταθεί, λόγω της νέας εγκατάστασης σταθμών βάσης που απαιτεί το τελευταίο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο πλεονέκτημα ότι το EDGE μπορεί να λειτουργήσει στην ήδη υπάρχουσα δομή του δικτύου GSM, με ελάχιστες μόνο αναβαθμίσεις στις υφιστάμενες κεραιές αλλά και στα κέντρα διαχείρισης του δικτύου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ WCDMA

3.1 Το πρότυπο IMT-2000

Στην σημερινή εποχή της πληροφορίας, και με την ραγδαία εξέλιξη των υπολογιστών, και του διαδικτύου, τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών δεν θα μπορούσαν να μείνουν πίσω στις εξελίξεις των καιρών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την σταδιακή μετάβαση στα συστήματα κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς (3G) τα οποία είναι σχεδιασμένα κυρίως για εφαρμογές πολυμέσων.

Με την εφαρμογή των δικτύων αυτών η επικοινωνία μεταξύ των συνδρομητών του δικτύου εμπλουτίζεται με την μετάδοση εικόνων υψηλής ευκρίνειας, βίντεο, καθώς και η πρόσβαση σε υπηρεσίες σε ιδιωτικά η δημόσια δίκτυα γίνεται με υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης.

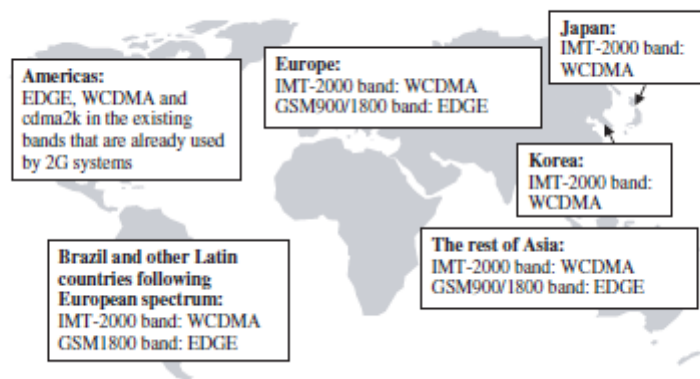
Η αρχή για την δημιουργία των συστημάτων 3ης Γενιάς ξεκίνησε το 1985 υπό την αιγίδα της Διεθνούς Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union-ITU). Το 1992 η ITU προσπάθησε να γίνει πιο σαφής σε σχέση με αυτά τα όνειρα και έτσι εξέδωσε ένα πρόγραμμα δράσης, το οποίο ονομάστηκε International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000). Ο αριθμός 2000 σήμαινε τρία πράγματα: (1) το έτος στο οποίο υποτίθεται ότι το σύστημα θα έμπαινε σε λειτουργία, (2) τη συχνότητα την οποία θα λειτουργούσε (σε MHz) (συγκεκριμένα 1885-2025MHz για uplink και 2110-2200 MHz για downlink) και (3) το εύρος ζώνης που θα έπρεπε να έχει η υπηρεσία (σε kHz). Στα πλαίσια των προδιαγραφών του IMT-2000, διάφορες τεχνικές ραδιοπρόσβασης αναπτύχθηκαν βασιζόμενες είτε στο CDMA είτε στο FDMA όπως θα δούμε παρακάτω.

Ο αρχικός στόχος για τα συστήματα τρίτης γενιάς ήταν η ανάπτυξη ενός και μόνο παγκόσμιου προτύπου. Τα τρίτης γενιάς συστήματα είναι κοντά στο να το πετύχουν αυτό καθώς το ίδιο σύστημα (WCDMA) χρησιμοποιείται στην Ευρώπη και στην Ασία (Κορέα και Ιαπωνία) χρησιμοποιώντας τις συχνότητες που οριοθέτησε η ITU κοντά στα 2GHz. Όμως στην Αμερική το φάσμα ήταν ήδη κατειλημμένο από συστήματα δεύτερης

γενιάς και δεν υπήρχε διαθέσιμο φάσμα για την ανάπτυξη του προτύπου IMT-2000. Παρόλαυτα, το WCDMA είναι δυνατόν να αναπτυχθεί στις υπάρχουσες συχνότητες στην Βόρεια Αμερική. Επιπλέον, οι συχνότητες που προβλέπει το IMT-2000 δεν είναι διαθέσιμες σε χώρες που ακολουθούν την κατανομή συχνοτήτων σύμφωνα με το πρότυπο δεύτερης γενιάς PCS (Personal Communication Systems), το οποίο λειτουργεί εν μέρει στο φάσμα που προβλέπει το IMT-2000. Τέλος μερικές χώρες της Λατινικής Αμερικής σκοπεύουν να υιοθετήσουν την κατανομή φάσματος που ακολουθείται στην Ευρώπη κοντά στα 2GHz.

Επιπλέον του WCDMA υπάρχουν και άλλες τεχνικές οι οποίες μπορούν να υποστηρίξουν υπηρεσίες τρίτης γενιάς όπως το cdma-2000 και το EDGE. Το EDGE μπορεί να υποστηρίξει ρυθμούς δεδομένων μέχρι και 384Kbps χρησιμοποιώντας ένα GSM φέρον με συχνότητα 200kHz. Τέλος το cdma-2000 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μια αναβάθμιση του ήδη υπάρχοντος συστήματος δεύτερης γενιάς IS-95 (Interim Standard-95) το οποίο λειτουργεί κυρίως στην Αμερική.

Οι συχνότητες και οι γεωγραφικές περιοχές που αναμένεται να εφαρμοστούν οι τεχνικές που περιγράψαμε, φαίνονται στο παρακάτω σχήμα: Σε κάθε περιοχή θα υπάρχουν κάποιες εξαιρέσεις καθώς ήδη αρκετές τεχνολογίες βρίσκονται σε εφαρμογή.



Σχήμα 3.1: Αναμενόμενη εφαρμογή συστημάτων τρίτης γενιάς. [6]

Το 1990 στην Ευρώπη ξεκίνησε μια αντίστοιχη προσπάθεια για να αναπτυχθεί η επόμενη γενιά των συστημάτων κινητών επικοινωνιών. Το νέο αυτό πρότυπο ονομάστηκε Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS) και η ραδιοεπαφή που χρησιμοποιεί είναι η WCDMA ή UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access).

Οι βασικοί στόχοι του IMT-2000 ήταν:

- Μεγάλη ομοιότητα στη σχεδίαση.
- Η συμβατότητα υπηρεσιών.
- Η υψηλή ποιότητα υπηρεσιών.
- Το μικρό μέγεθος των τερματικών.
- Η δυνατότητα περιαγωγής.
- Η υποστήριξη εφαρμογών πολυμέσων.
- Μετάδοση φωνής υψηλής ποιότητας.
- Δυνατότητα πρόσβασης στο διαδίκτυο (περιήγηση στον ιστό, ακόμα και σε σελίδες με ήχο και βίντεο).

Οι πέντε οργανισμοί που συμμετείχαν στην προσπάθεια της ITU για την υιοθέτηση του προτύπου IMT-2000 ήταν οι εξής:

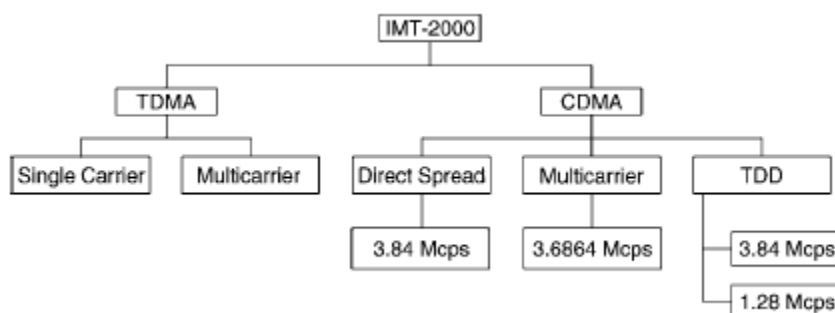
- ETSI (European Telecommunications Standard Institute) στην Ευρώπη.
- RITT (Research Institute of Telecommunications Transmission) στην Κίνα.
- ARIB (Association of Radio Industry and Business) και TTC στην Ιαπωνία.
- TTA (Telecommunication Technologies Association) στην Κορέα.
- TIA (Telecommunication Industry Association) στις ΗΠΑ.

Ο κάθε οργανισμός συνεισέφερε διάφορες προτάσεις για αξιολόγηση και υιοθέτηση. Τελικώς το Νοέμβριο του 1999 στο Ελσίνκι η ITU αποδέχτηκε τις παρακάτω πέντε προτάσεις σαν συμβατές με το πρότυπο IMT-2000:

- IMT Direct Spread (IMT-DS ή UTRA FDD ή WCDMA).
- IMT Time Code (IMT-TC ή UTRA-TDD)
- IMT Multicarrier (IMT-MC ή CDMA2000)
- IMT Single Carrier (IMT-SC ή UWC-136)
- IMT Frequency Time (IMT-FT ή DECT-Digital Enhanced Cordless Telephone)

Η αρχική επιδίωξη της ITU ήταν η δημιουργία ενός και μόνο παγκόσμιου προτύπου για τα συστήματα τρίτης γενιάς, κάτι το οποίο δεν κατέστη δυνατό τόσο για πολιτικούς όσο και για τεχνικούς λόγους. Όπως βλέπουμε από τα συστήματα τα οποία έκανε αποδεκτά η ITU, το IMT-2000 δεν μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ένα και μοναδικό πρότυπο προδιαγραφών για τα συστήματα 3G, αλλά είναι μια οικογένεια προτύπων τα οποία είναι διαφορετικά μεταξύ τους.

Τα συστήματα που ανήκουν στην οικογένεια της IMT-2000 εμφανίζονται γραφικά στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3.2: Συστήματα τα οποία ανήκουν στο πρότυπο IMT-2000.

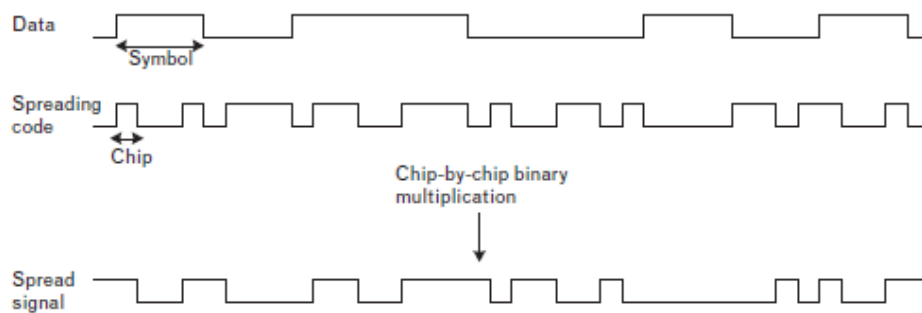
Από τα συστήματα που υιοθετήθηκαν δύο ήταν τα επικρατέστερα. Το UTRA-FDD ή Wideband-Code Division Multiple Access (WCDMA) το οποίο είναι η ραδιοεπαφή του UMTS και το cdma-2000. Τα συστήματα αυτά είναι διαφορετικά, παρόλο που στηρίζονται στην τεχνολογία διασποράς φάσματος και έχουν στόχο ευρυζωνικά συστήματα. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν δύο διεθνείς εταιρικές συμμαχίες το 3GPP και το 3GPP2, που στόχος τους είναι η εναρμόνιση των διαφορετικών προτάσεων και η δημιουργία λεπτομερών προδιαγραφών για το WCDMA και το cdma-2000 αντίστοιχα. Το WCDMA βρίσκει κύρια εφαρμογή στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία ενώ το cdma-2000 αποτέλεσε την επιλογή κυρίως για την Αμερική.

3.2 Τεχνικές Διασποράς Φάσματος

Όπως είδαμε στο πρώτο κεφάλαιο, η CDMA είναι μια τεχνική πολυπλεξίας με την οποία διαφορετικοί χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα, ταυτόχρονα, χωρίς να προκαλούν παρεμβολές μεταξύ τους. Τα συστήματα CDMA ανήκουν στην

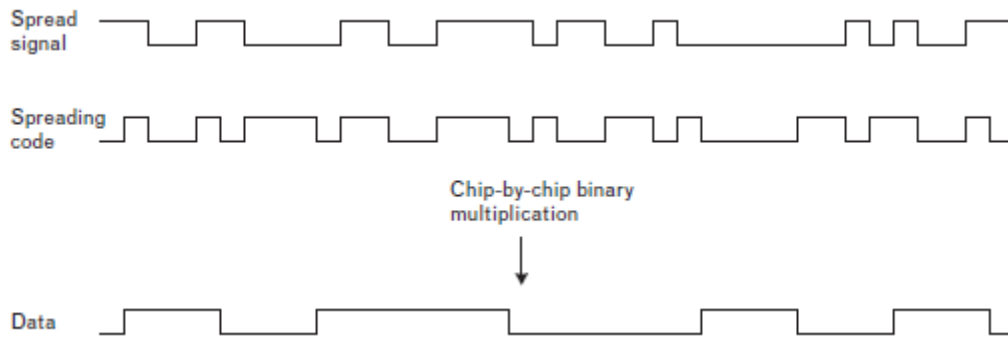
ευρύτερη κατηγορία συστημάτων διασποράς φάσματος (Spread Spectrum Systems). Οι πιο σημαντικές τεχνικές διασποράς φάσματος είναι η μεταπήδηση συχνότητας (Frequency Hopping) και η τεχνική απευθείας ακολουθίας (Direct Sequence).

Η τεχνική της διασποράς φάσματος είναι μία τεχνική στην οποία το αρχικό σήμα του χρήστη διαμορφώνεται σε ένα άλλο, το οποίο καταλαμβάνει αρκετά μεγαλύτερο εύρος ζώνης από ότι θα χρειαζόταν το αρχικό σήμα για να μεταδοθεί. Η αρχική ακολουθία δεδομένων πολλαπλασιάζεται με ένα δυαδικό κώδικα, ο οποίος ονομάζεται κώδικας διασποράς (spreading code), ο οποίος έχει αρκετά μεγαλύτερο εύρος ζώνης από το αρχικό σήμα. Τα bits του κώδικα διασποράς ονομάζονται chips για να μπορέσουμε να κάνουμε την διάκριση από τα bits της πληροφορίας τα οποία κωδικοποιούνται. Ο όρος chip περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο η διαδικασία κωδικοποίησης «τεμαχίζει» την αρχική ακολουθία σε μικρότερη μέρη, η διαφορετικά σε chips. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3.3: Διασπορά φάσματος.

Ο κάθε χρήστης έχει τον δικό του μοναδικό κώδικα διασποράς. Ο ίδιος ακριβώς κώδικας χρησιμοποιείται και στον δέκτη για την ανάκτηση του αρχικού σήματος στενής ζώνης, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.

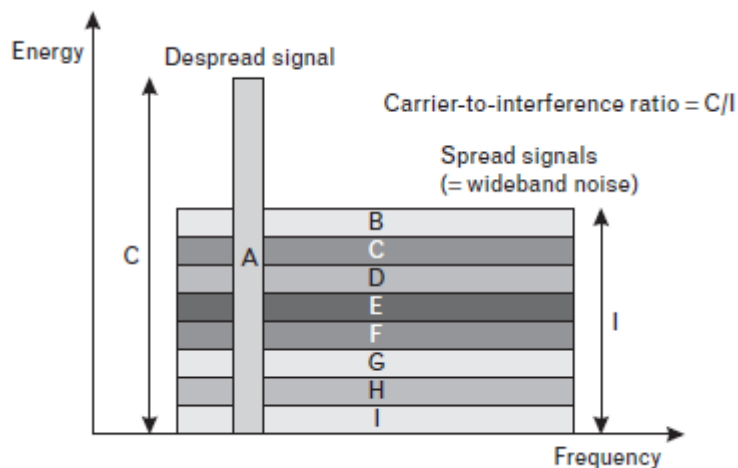


Σχήμα 3.4: Συμπίεση φάσματος.

Ο λόγος μεταξύ του εύρους ζώνης εκπομπής και του εύρους ζώνης του αρχικού σήματος ονομάζεται παράγοντας εξάπλωσης φάσματος (spreading factor - $SF = \frac{W}{R}$).

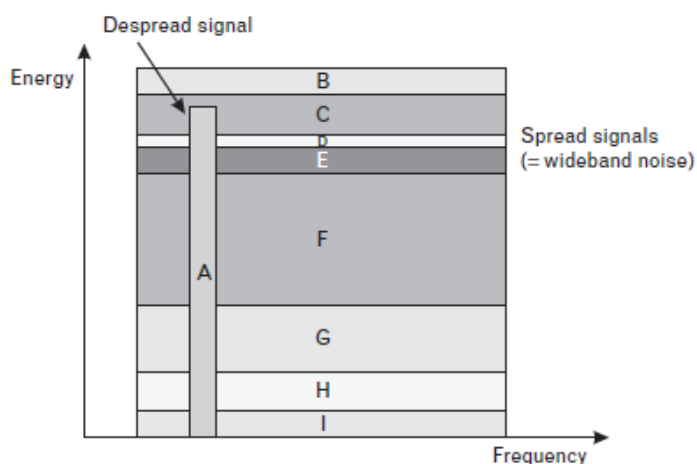
Επίσης ονομάζεται και κέρδος επεξεργασίας (processing gain). Στα συστήματα WCDMA ο παράγοντας εξάπλωσης μπορεί να λάβει τιμές από 4-512. Ο παράγοντας αυτός δείχνει πόσα chips απαιτούνται για την διασπορά ενός και μόνο bit. Για παράδειγμα όταν έχουμε $SF=1$, τότε στην πραγματικότητα δεν έχουμε διασπορά του φάσματος. Όσο πιο μικρός είναι ο παράγοντας εξάπλωσης, τόσο περισσότερα δεδομένα μπορούν να διαδοθούν μέσω της ασύρματης διεπαφής. Τέλος οι κώδικες διασποράς που χρησιμοποιούνται είναι είτε ορθογώνιοι, είτε ακολουθίες ψευδοθορύβου (pseudo-noise PN).

Οι κώδικες διασποράς έχουν μικρή αυτοσυσχέτιση μεταξύ τους. Στην περίπτωση πλήρως συγχρονισμένων ορθογώνιων κωδίκων, η αυτοσυσχέτιση είναι πρακτικά μηδενική. Αυτό υποδηλώνει ότι στην ίδια συχνότητα μπορούν να συνυπάρξουν αρκετά σήματα ευρείας ζώνης χωρίς να υπάρχει μεγάλη παρεμβολή μεταξύ τους. Η ενέργεια ενός σήματος ευρείας ζώνης εξαπλώνεται σε τόσο μεγάλο εύρος συχνοτήτων, όπου συγκριτικά με το αρχικό σήμα εμφανίζεται σαν θόρυβος. Όταν τα σήματα ευρείας ζώνης φτάνουν στον δέκτη, ένα μόνο σήμα με τον αντίστοιχο κώδικα διασποράς θα αποδιαμορφωθεί και τα υπόλοιπα θα εμφανιστούν στον δέκτη σαν θόρυβος. Οπότε το αρχικό σήμα μπορεί να ανακτηθεί στον δέκτη, αρκεί η πυκνότητα ισχύος του αποδιαμορφωμένου σήματος να είναι μεγαλύτερη από την ισχύ του θορύβου. Αυτό σημαίνει ότι ο λόγος του φέροντος προς την παρεμβολή, (Carrier to Interference Ratio-CIR) πρέπει να είναι υψηλός. Η λήψη στον δέκτη απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3.5: Σωστή ανάκτηση του αρχικού σήματος στον δέκτη.

Στο σημείο αυτό πρέπει να παρατηρήσουμε ότι η πυκνότητα ισχύος του επιθυμητού σήματος μπορεί να είναι αρκετά μικρότερη από την πυκνότητα ισχύος του σύνθετου σήματος ευρείας ζώνης το οποίο λαμβάνεται στο δέκτη. Παρόλαυτα η ανάκτηση του αρχικού σήματος είναι δυνατή αν ο παράγοντας εξάπλωσης είναι αρκετά μεγάλος. Στην περίπτωση όμως όπου υπάρχουν πάρα πολλοί χρήστες στην περιοχή κάλυψης μιας κυψέλης, οι οποίοι δημιουργούν ισχυρές παρεμβολές, τότε το σήμα δεν μπορεί να ανακτηθεί από το δέκτη όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3.6: Μη ανάκτηση του αρχικού σήματος στον δέκτη.

Επίσης πρέπει να επισημάνουμε ότι ένα φέρον ευρείας ζώνης αυτό κάθε αυτό, δεν αυξάνει την χωρητικότητα ενός συστήματος, καθώς ένα σύνολο από φέροντα στενής ζώνης είναι σε θέση να μεταφέρουν την ίδια ποσότητα πληροφορίας. Παρόλαυτα σε ένα σύστημα ευρείας ζώνης τα υπό μετάδοση σήματα είναι πολύ πιο ανθεκτικά σε

διακυβελικές παρεμβολές και έτσι είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων σε γειτονικές κυψέλες. Για το λόγο αυτό, στα ευρείας ζώνης συστήματα ο παράγοντας επαναχρησιμοποίησης μπορεί να πάρει την τιμή ένα, ενώ στα συστήματα GSM είναι το λιγότερο τέσσερα. Αυτό σημαίνει ότι η ίδια συχνότητα σε ένα σύστημα GSM, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το πολύ κάθε τέσσερις κυψέλες. Το γεγονός αυτό από μόνο του δείχνει ένα σημαντικό κέρδος χωρητικότητας έναντι των συστημάτων στενής ζώνης, παρόλο που η αύξηση της χωρητικότητας δεν είναι ακριβώς ανάλογη του παράγοντα επαναχρησιμοποίησης, καθώς εξαρτάται και από άλλους παράγοντες.

Τα σήματα ευρείας ζώνης έχουν και κάποια άλλα χαρακτηριστικά, τα οποία δικαιολογούν την απαίτηση τους για παροχή μεγάλου εύρους ζώνης, το οποίο στην εποχή μας αποτελεί ένα αρκετά δυσεύρετο και πολύτιμο πόρο.

1. Δυνατότητα υποστήριξης πολλαπλής πρόσβασης.

Επειδή οι χρήστες χρησιμοποιούν διαφορετικούς κώδικες διασποράς, οι οποίοι έχουν μικρή αυτοσυσχέτιση, μπορούν να συνυπάρξουν αρκετοί χρήστες στο ίδιο εύρος συχνοτήτων.

2. Προστασία από πολυδιαδρομικές παρεμβολές.

Η πολυδιαδρομική παρεμβολή είναι αποτέλεσμα των ανακλάσεων και περιθλάσεων οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά τη μετάδοση του σήματος. Τα διάφορα σήματα τα οποία μεταδίδονται μπορεί να παρεμβάλουν λόγω της πολυδιαδρομικής διάδοσης το ένα με το άλλο. Ένα σήμα WCDMA μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά αυτού του είδους τις παρεμβολές αρκεί οι κώδικες διασποράς που χρησιμοποιούνται να έχουν καλές ιδιότητες αυτοσυσχέτισης.

3. Μεγάλη αντοχή στις παρεμβολές.

Καθώς η φασματική πυκνότητα ισχύος του σήματος είναι αρκετά χαμηλή, και μοιάζει με την παρουσία θορύβου, είναι δύσκολο να ανιχνευθεί, ποιο είναι το επιθυμητό σήμα και να γίνει κάποια εσκεμμένη παρεμβολή σε αυτό. Για τον λόγο αυτό τα CDMA συστήματα είναι κατάλληλα για χρήση στρατιωτικών εφαρμογών.

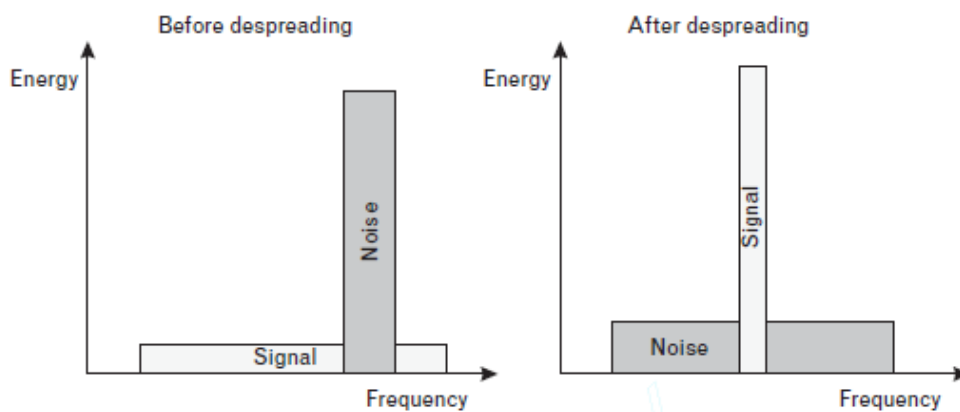
4. Προστασία από Υποκλοπές.

Ένας επίδοξος υποκλοπέας θα δυσκολευτεί αρκετά να ανακτήσει το μεταδιδόμενο σήμα, καθώς θα πρέπει να είναι σε θέση να γνωρίζει το σωστό

κώδικα διασποράς καθώς και να συγχρονιστεί με αυτόν. Κάτι τέτοιο είναι αδύνατον για κάποιον με περιορισμένους πόρους. Στην σύγχρονη εποχή όμως, τα συστήματα WCDMA πρέπει να είναι εξοπλισμένα με αλγόριθμους κωδικοποίησης για να μπορούν να προστατεύσουν το απόρρητο των επικοινωνιών από κάθε είδους απειλή.

5. Αντοχή έναντι παρεμβολών στενής ζώνης.

Ένα σήμα ευρείας ζώνης μπορεί να αντιμετωπίσει αρκετά ικανοποιητικά τις παρεμβολές στενής ζώνης. Κατά τη λειτουργία της αποδιαμόρφωσης όπου το αρχικό σήμα συμπιέζεται, ταυτόχρονα εξαπλώνεται η φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3.7: Αντοχή στις παρεμβολές στενής ζώνης.

Με την εξάπλωση της παρεμβολής σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, η αποδιαμόρφωση θα είναι επιτυχής, όταν η παρεμβολή αυτή θα είναι αρκετά μικρή συγκριτικά με το αποδιαμορφωμένο σήμα στενής ζώνης.

3.3 Δέκτης RAKE

Σε ένα κανάλι όπου υπάρχουν φαινόμενα πολλαπλής όδευσης (multipath), όταν το μεταδιδόμενο σήμα προσπίπτει σε διάφορου είδους εμπόδια δημιουργείται το φαινόμενο της ανάκλασης. Στον δέκτη λοιπόν δεν καταφθάνει το αρχικό σήμα αλλά

αρκετές συνιστώσες του αρχικού σήματος με διαφορετική χρονική καθυστέρηση το καθένα. Αυτού του είδους τα σήματα μπορούν να ληφθούν με επιτυχία, με τη χρήση ενός δέκτη RAKE.

Ο δέκτης RAKE αποτελείται από συσχετιστές (correlators), όπου ο καθένας από αυτούς λαμβάνει μια συνιστώσα του αρχικού σήματος που έχει προέλθει από πολυδιαδρομική διάδοση. Αφού ο κάθε συσχετιστής συμπιέσει την συνιστώσα του αρχικού σήματος με την χρήση του κατάλληλου κώδικα εξάπλωσης, τότε όλες οι συνιστώσες από κάθε συσχετιστή συνδυάζονται μεταξύ τους για να δώσουν το αρχικό σήμα. Από τη στιγμή που οι συνιστώσες του αρχικού σήματος εξασθενούν ανεξάρτητα η μία από την άλλη, αυτή η μέθοδος βελτιώνει τη συνολική ποιότητα και αποδοτικότητα του σήματος η οποία συλλέγεται στο δέκτη.

Ο δέκτης RAKE συλλέγει διάφορες εκδοχές του αρχικού σήματος και τις ενώνει σε ένα τελικό σήμα το οποίο αναπαριστά το σήμα εκπομπής. Αν από το δέκτη RAKE συλλεχθεί ένα και μόνο σήμα, είναι πολύ πιθανό αυτό να είναι πολύ αδύναμο για να μπορέσει να μας δώσει την αρχική μορφή του εκπεμπόμενου σήματος. Αν όμως ληφθούν πολλαπλές εκδοχές του αρχικού σήματος, οι πιθανότητες για την σωστή ανάκτηση του, αυξάνονται σημαντικά

3.4 Έλεγχος ισχύος στο WCDMA

Ο αποδοτικός έλεγχος ισχύος σε ένα δίκτυο WCDMA είναι αρκετά σημαντικός για την απόδοση του. Χρειάζεται για την μείωση των παρεμβολών στο σύστημα, και δεδομένου της δομής του WCDMA (όλα τα σήματα μεταδίδονται την ίδια χρονική στιγμή και στην ίδια συχνότητα), ένας αποτελεσματικός αλγόριθμος διαχείρισης του ελέγχου της ισχύος κρίνεται απαραίτητος. Ο έλεγχος της ισχύος χρειάζεται τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη για διαφορετικούς λόγους.

Στην άνω ζεύξη όλα τα σήματα που καταφθάνουν πρέπει να έχουν την ίδια ισχύ. Οι κινητοί σταθμοί όμως δεν μπορούν να εκπέμπουν με σταθερή ισχύ, καθώς τότε στις κυψέλες θα κυριαρχούσαν οι χρήστες οι οποίοι θα βρισκόταν πιο κοντά στο σταθμό βάσης, με αποτέλεσμα ο σταθμός βάσης να μην μπορεί να εντοπίσει τους απομακρυσμένους χρήστες. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται κοντινό-μακρινό (near-far effect), και απαιτεί για την αντιμετώπιση του, την εφαρμογή ελέγχου ισχύος. Για την

εξυπηρέτηση τους οι κινητοί σταθμοί που βρίσκονται αρκετά μακριά από το σταθμό βάσης πρέπει να αυξήσουν αισθητά την εκπεμπόμενη ισχύ τους.

Όσον αφορά την κάτω ζεύξη η κατάσταση είναι διαφορετική καθώς τα σήματα που εκπέμπονται από το σταθμό βάσης είναι σταθερά και ορθογώνια μεταξύ τους. Όπως γνωρίζουμε τα σήματα τα οποία είναι από κοινού ορθογώνια δεν προκαλούν παρεμβολές το ένα στο άλλο. Σε πραγματικά περιβάλλοντα μετάδοσης όμως δεν είναι εφικτό να επιτευχθεί απόλυτη ορθογωνιότητα, με αποτέλεσμα να υπάρχουν παρεμβολές μεταξύ των εκπεμπόμενων σημάτων. Επίσης τα σήματα που εκπέμπονται από διαφορετικούς σταθμούς βάσης, δεν είναι ορθογώνια μεταξύ τους και έτσι αυξάνεται το επίπεδο παρεμβολής. Για το λόγο αυτό χρειάζεται έλεγχος ισχύος και στην κάτω ζεύξη. Για την ακρίβεια το σήμα που εκπέμπεται από τους σταθμούς βάσης πρέπει να έχει την μικρότερη δυνατή ισχύ, η οποία να διατηρεί τις προδιαγραφές ποιότητας που έχουν τεθεί από το εκάστοτε σύστημα.

Υπάρχουν δύο τύποι ελέγχου της ισχύος που χρησιμοποιούνται στο σύστημα WCDMA:

- Έλεγχος Ισχύος Ανοικτού Βρόχου (Open Loop Power Control).
- Έλεγχος Ισχύος Κλειστού Βρόχου (Closed Loop Power Control).

Στον έλεγχο ισχύος ανοικτού βρόχου ο σταθμός βάσης μετράει την παρεμβολή που υπάρχει στο κανάλι και ρυθμίζει αναλόγως, την εκπεμπόμενη ισχύ του. Η ρύθμιση αυτή μπορεί να γίνει αρκετά γρήγορα, παρόλαυτα δεν είναι ακριβής σε συστήματα που χρησιμοποιούν την τεχνική αμφιδρόμησης FDD (WCDMA). Αυτό συμβαίνει διότι η εκτίμηση για τις παρεμβολές που υπάρχουν στο κανάλι γίνεται στο λαμβανόμενο σήμα από το σταθμό βάσης, ενώ ο κινητός σταθμός χρησιμοποιεί διαφορετική συχνότητα προς εκπομπή. Σε μία τέτοια περίπτωση, η μέθοδος αυτή δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, καθώς οι διαλείψεις που επικρατούν στην άνω και στην κάτω ζεύξη είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους. Αντίστοιχα σε WCDMA-TDD συστήματα όπου τόσο η άνω όσο και η κάτω ζεύξη χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα και οι διαλείψεις είναι συσχετισμένες μεταξύ τους, η μέθοδος αυτή δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Παρόλαυτα, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται στο WCDMA για να παράγει μια πρόχειρη αρχική εκτίμηση της ισχύος στον κινητό σταθμό, κατά την έναρξη της σύνδεσης.

Η λύση για τον έλεγχο ισχύος στο WCDMA είναι ο γρήγορος έλεγχος ισχύος κλειστού βρόχου (fast closed loop power control). Σε αυτήν την τεχνική ο σταθμός βάσης κάνει συχνές εκτιμήσεις του λαμβανόμενου CIR και το συγκρίνει με μια επιθυμητή τιμή του CIR. Αν η μετρηθείσα τιμή είναι μεγαλύτερη από το επιθυμητό CIR, ο σταθμός βάσης θα επιβάλλει στον κινητό σταθμό να μειώσει την ισχύ εκπομπής του. Σε αντίθετη περίπτωση θα του επιβάλλει να αυξήσει την ισχύ εκπομπής του. Αυτή η διαδικασία εκτελείται με συχνότητα 1500 φορές το δευτερόλεπτο (1,5kHz) για κάθε κινητό σταθμό, οπότε ο σταθμός βάσης προλαβαίνει να εκτιμήσει τις όποιες διαλείψεις δημιουργηθούν στον δίαυλο.

Η ίδια τεχνική χρησιμοποιείται και στην κάτω ζεύξη, παρόλο που σε αυτή την περίπτωση το κίνητρο για την εφαρμογή της τεχνικής είναι διαφορετικό. Και αυτό γιατί στην κάτω ζεύξη δεν εμφανίζεται το near-far φαινόμενο καθώς όπως είδαμε και παραπάνω ο σταθμός βάσης εκπέμπει με σταθερή ισχύ. Είναι όμως επιθυμητό να παρέχεται επιπλέον ισχύς, για τερματικά τα οποία βρίσκονται στα όρια της περιοχής κάλυψης, καθώς αυτά δέχονται ισχυρές παρεμβολές από τις γειτονικές κυψέλες.

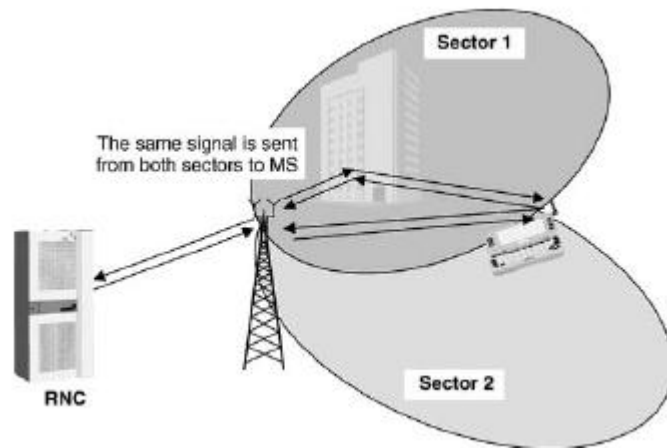
Κλείνοντας αυτή την ενότητα πρέπει να σημειώσουμε ότι, αν η διαδικασία του ελέγχου ισχύος δεν λειτουργεί ικανοποιητικά, είναι πιθανό να εμφανιστεί το φαινόμενο των κυψελών που «αναπνέουν» (breathing cells). Το φαινόμενο αυτό προκύπτει, αν λόγω αυξημένων παρεμβολών οι μακρινοί χρήστες δεν εξυπηρετούνται πια και συνεπώς η ενεργή ακτίνα της κυψέλης μειώνεται. Μαζί με την μείωση όμως της κυψέλης, σταδιακά μειώνονται και οι χρήστες και άρα και οι παρεμβολές. Συνεπώς, νέοι χρήστες, απομακρυσμένοι από το σταθμό βάσης μπορούν συνδεθούν εκ νέου στο σύστημα, γεγονός που συνεπάγεται την αύξηση της ακτίνας κάλυψης της κυψέλης.

3.5 Είδη Μεταπομπής στο WCDMA

Το WCDMA υποστηρίζει 2 τύπους μεταπομπής:

- Ήπια Μεταπομπή (Soft και Softer Handover).
- Σκληρή Μεταπομπή (Inter-Frequency ή Inter-System Handover).

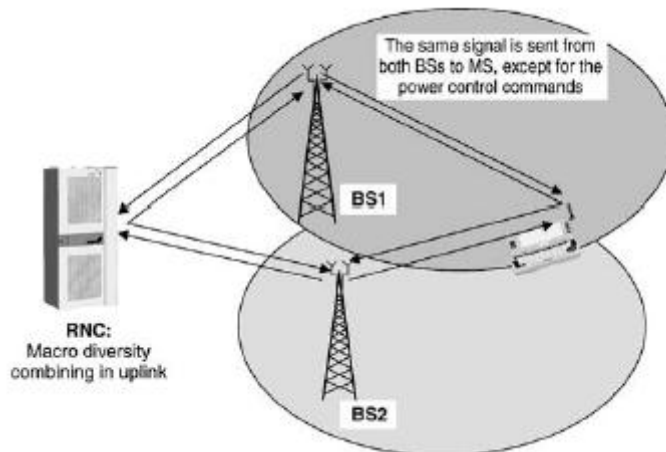
Κατά την διάρκεια της ηπιότερης διαπομπής ο κινητός σταθμός βρίσκεται σε περιοχή όπου οι τομείς μίας κυψέλης επικαλύπτονται μεταξύ τους όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3.8: Ηπιότερη μεταπομπή.

Η επικοινωνία μεταξύ του τερματικού και του σταθμού βάσης γίνεται ταυτόχρονα μέσω δύο καναλιών, ένα για κάθε τομέα ξεχωριστά. Αυτό προϋποθέτει την χρήση δύο διαφορετικών κωδικών εξάπλωσης στην κάτω ζεύξη, έτσι ώστε το τερματικό να μπορέσει να διαχωρίσει τα σήματα αυτά. Τα δύο σήματα λαμβάνονται και αποκωδικοποιούνται στο τερματικό με τη βοήθεια ενός δέκτη RAKE. Η μόνη διαφορά είναι ότι σε αυτήν την περίπτωση οι συσχετιστές στον δέκτη, πρέπει να αναπαράγουν τον αντίστοιχο κώδικα διασποράς για κάθε ένα από τα σήματα, έτσι ώστε να μπορέσει να ανακτηθεί το αρχικό σήμα. Στην άνω ζεύξη ακολουθείται παρόμοια διαδικασία, στον σταθμό βάσης αυτή τη φορά, καθώς ο BS λαμβάνει το σήμα του τερματικού σε κάθε τομέα, και κατόπιν το προωθεί σε ένα δέκτη RAKE όπου και εκεί συνδυάζονται, και λαμβάνεται το αρχικό σήμα. Κατά τη διάρκεια της ηπιότερης μεταπομπής εκτελείται έλεγχος ισχύος μόνο σε μία σύνδεση. Τέλος η ηπιότερη μεταπομπή συμβαίνει περίπου στο 5-15% των συνδέσεων.

Κατά τη διάρκεια της ήπιας διαπομπής το τερματικό βρίσκεται σε περιοχή όπου δύο κυψέλες οι οποίες εξυπηρετούνται από διαφορετικούς σταθμούς βάσης επικαλύπτονται μεταξύ τους. Το επόμενο σχήμα απεικονίζει την ήπια μεταπομπή:



Σχήμα 3.9: Ήπια μεταπομπή.

Όπως και στην ηπιότερη μεταπομπή, έτσι και σε αυτήν την περίπτωση η επικοινωνία μεταξύ του τερματικού και του σταθμού βάσης γίνεται ταυτόχρονα μέσω δύο καναλιών, μία για κάθε σταθμό βάσης ξεχωριστά. Επίσης τα δύο σήματα που λαμβάνει το τερματικό από τους σταθμούς βάσης συνδυάζονται στο τερματικό μέσω του δέκτη RAKE. Από την οπτική γωνία του τερματικού, υπάρχουν πολύ μικρές διαφορές μεταξύ ήπιας και ηπιότερης μεταπομπής. Ωστόσο στην περίπτωση της άνω ζεύξης τα πράγματα είναι αρκετά διαφορετικά. Το σήμα που λαμβάνεται από τους δύο σταθμούς βάσης προωθείται στο RNC στον οποίο και συνδυάζονται. Αυτό συμβαίνει ώστε ο ελεγκτής RNC να μπορέσει να συλλέξει πληροφορίες για την αξιοπιστία στην λήψη των πλαισίων από τους δύο σταθμούς βάσης και να επιλέξει το καλύτερο. Το πλεονέκτημα αυτό καλείται μακροσκοπική διαφορική λήψη (macro-diversity) και είναι το κέρδος που παρέχεται από την λήψη περισσότερων του ενός σημάτων. Κατά τη διάρκεια της ήπιας μεταπομπής εκτελείται έλεγχος ισχύος και στις δύο συνδέσεις, μια για κάθε σταθμό βάσης. Η ήπια μεταπομπή συμβαίνει στο 20-40% των συνδέσεων.

Τέλος για την λειτουργία της ήπιας μεταπομπής, το σύστημά πρέπει να εξοπλιστεί με τα ακόλουθα στοιχεία:

- Επιπλέον δέκτες RAKE στους σταθμούς βάσης.
- Επιπλέον κυκλώματα μεταφοράς μεταξύ των σταθμών βάσης και του RNC.
- Επιπλέον συσχετιστές στους κινητούς σταθμούς.

Επιπλέον πρέπει να παρατηρήσουμε ότι οι ήπιες και ηπιότερες μεταπομπές μπορούν να λάβουν χώρα σε συνδυασμό η μία με την άλλη.

Επιπλέον της ήπιας και ηπιότερης μεταπομπής το WCDMA παρέχει και σκληρή μεταπομπή, η οποία χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

- Σκληρή μεταπομπή σε διαφορετική συχνότητα (Inter-Frequency hard handover).
Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αλλαγή της συχνότητας του τερματικού σε μια άλλη. Βρίσκει εφαρμογή σε σταθμούς βάσης με μεγάλη χωρητικότητα και αρκετά διαθέσιμα φέροντα.
- Σκληρή μεταπομπή σε άλλο σύστημα (Inter-system hard handover).
Αυτού του είδους η μεταπομπή λαμβάνει χώρα μεταξύ του WCDMA-FDD και ενός άλλου συστήματος όπως είναι το WCDMA-TDD ή GSM.

3.6 Σύνοψη των κύριων Χαρακτηριστικών του WCDMA

Στην ενότητα αυτή παραθέτουμε τα κύρια χαρακτηριστικά του WCDMA και θα δώσουμε μια σύντομη εξήγηση για τα περισσότερα από αυτά. Στον πίνακα 2.1 συνοψίζονται οι κύριες παράμετροι όσον αφορά τη λειτουργία του συστήματος WCDMA.

- Το WCDMA είναι ένα σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί την ευρεία, απευθείας τεχνική πολλαπλής πρόσβαση διαίρεσης κώδικα. (Direct Sequence –Code Multiple Access-DS-CDMA). Αυτό επιτυγχάνεται με την διασπορά των bits σε ένα μεγαλύτερο εύρος φάσματος, πολλαπλασιάζοντας τα δεδομένα με μια τυχαία ακολουθία από bits (chips), τα οποία προέρχονται από τους αντίστοιχους κώδικες διασποράς του CDMA. Για την υποστήριξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης μέχρι και 2Mbps υποστηρίζεται η χρήση μεταβλητών κωδικών διασποράς.
- Ο ρυθμός μετάδοσης των chip της τάξεως των 3.84Mcps οδηγεί σε ένα φέρον με εύρος ζώνης στα 5MHz. Τα DS-CDMA συστήματα με εύρος ζώνης στο 1MHz αναφέρονται συχνά ως συστήματα CDMA στενής εύρους ζώνης. Το μεγάλο εύρος ζώνης του WCDMA υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων

και προσφέρει και άλλα πλεονεκτήματα απόδοσης, όπως αυξημένη διαφορικότητα πολλαπλής διαδρομής. Ο διαχειριστής του δικτύου είναι σε θέση να αναπτύξει πολλαπλά φέροντα των 5MHz για την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος. Η απόσταση μεταξύ των φερόντων μπορεί να επιλεγεί στα 200kHz μεταξύ 4,4 και 5MHz, ανάλογα με την παρεμβολή μεταξύ των φερόντων.

- Το WCDMA υποστηρίζει υψηλού μεταβλητούς ρυθμούς δεδομένων για τους χρήστες. Με άλλα λόγια υποστηρίζει την ιδέα της απόδοσης εύρους φάσματος κατ απαίτηση (Bandwidth on Demand BoD). Ο ρυθμός δεδομένων των χρηστών διατηρείται σταθερός σε κάθε πλαίσιο των 10ms. Παρόλαυτα η χωρητικότητα των δεδομένων μεταξύ των χρηστών μπορεί να αλλάζει από πλαίσιο σε πλαίσιο. Αυτή η κατανομή της χωρητικότητας ελέγχεται από το δίκτυο έτσι ώστε να εξασφαλίζει τους βέλτιστους ρυθμούς μετάδοσης για υπηρεσίες δεδομένων.
- Το WCDMA υποστηρίζει δύο βασικούς τρόπους λειτουργίας: Αμφιδρόμηση με Διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Duplex) και Αμφιδρόμηση με Διαίρεση Χρόνου (Time Division Duplex). Στην FDD λειτουργία χρησιμοποιούνται δύο ξεχωριστά φέροντα με συχνότητα 5MHz για την άνω (uplink) και την κάτω ζεύξη (downlink) αντίστοιχα. Στην TDD λειτουργία όμως, μόνο ένα φέρον των 5MHz χρησιμοποιείται τόσο για την άνω όσο και για την κάτω ζεύξη.
- Το συστήματα WCDMA μπορεί να υποστηρίξει τόσο ασύγχρονα δίκτυα όσο και σύγχρονα. Σε ένα σύγχρονο δίκτυο όλοι οι σταθμοί εκπομπής είναι χρονικά συγχρονισμένοι μεταξύ τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το σύστημα να είναι πιο αποδοτικό, αλλά αυξάνεται το κόστος υλοποίησης στους σταθμούς βάσης. Για παράδειγμα, θα μπορούσαμε να επιτύχουμε το χρονικό συσχετισμό όλων των σταθμών με την εγκατάσταση σε αυτούς GPS δεκτών. Παρόλαυτα αυτή η λύση δεν είναι εύκολα υλοποιήσιμη, καθώς οι GPS δέκτες αποδεικνύονται αναποτελεσματικοί σε κέντρα πόλεων όπου η δόμηση είναι πυκνή ή σε εσωτερικούς χώρους. Με αυτό το σκεπτικό υιοθετήθηκε τελικά η λειτουργία ασύγχρονων δικτύων που μειώνει την πολυπλοκότητα των σταθμών, και ευνοεί την ανάπτυξη μικροκυβελών και σταθμούς βάσης σε εσωτερικούς χώρους.
- Το WCDMA υποστηρίζει σύμφωνη ανίχνευση του σήματος τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη, βασιζόμενο στην αποστολή ενός σήματος πιλότου.

Παρόλο που αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται στο σύστημα IS-95 στο downlink, η σύμφωνη ανίχνευση στο uplink είναι καινούρια για τα CDMA συστήματα, γεγονός το οποίο οδηγεί στη συνολική αύξηση χωρητικότητας και κάλυψης του συστήματος στο uplink.

- Το WCDMA έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μπορεί να υποστηρίζει εξελιγμένα πρότυπα CDMA δεκτών όπως ευφυείς κεραίες καθώς και ανίχνευση πολλαπλών χρηστών. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μια επιλογή για την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου ή της περιοχής κάλυψης. Μια τέτοια πρόβλεψη δεν έχει γίνει για τα δίκτυα δεύτερης γενιάς, και σαν αποτέλεσμα είτε δεν είναι ικανά να υποστηρίξουν τέτοιου είδους δέκτες, ή ακόμα και αν μπορεί να εφαρμοστεί η συγκεκριμένη τεχνική κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, η βελτίωση στην απόδοση είναι μικρή.
- Το WCDMA είναι σχεδιασμένο ώστε να μπορεί να λειτουργήσει σε συνδυασμό με το GSM δίκτυο. Οπότε υποστηρίζονται μεταπομπές μεταξύ των δύο αυτών δικτύων με τελικό σκοπό την σταδιακή αύξηση της κάλυψης του GSM για την εισαγωγή του WCDMA.

Τα χαρακτηριστικά του WCDMA συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Εύρος Ζώνης Συχνοτήτων	5MHz
Τεχνικές Αμφιδρόμησης	FDD και TDD
Ρυθμός Μετάδοσης Chip	3.84Mcps
Διαμόρφωση Δεδομένων	QPSK (downlink) BPSK (uplink)
Μέθοδος Πολλαπλής Πρόσβασης	DS-CDMA
Κωδικοποίηση Καναλιού	Συνελκτικοί και turbo κώδικες.
Παράγοντες Εξάπλωσης	4-256 (uplink) 4-512 (downlink)
Διάρκεια Πλαισίου	10ms
Συγχρονισμός Σταθμού Βάσης	Ασύγχρονη Λειτουργία
Πολυπλεξία καναλιού	Πολλαπλές υπηρεσίες με διαφορετικές απαιτήσεις, πολυπλέκονται σε μια

	σύνδεση
Πολυρυθμική διάδοση (concept)	Μεταβλητός παράγοντας διάδοσης και πολυκωδικοποίηση.
Ανίχνευση σήματος	Σύμφωνη, με την χρήση ενός σήματος πιλότου.
Ανίχνευση πολλαπλών χρηστών, ευφρείς κεραίες	Υποστηρίζεται εκ κατασκευής αλλά είναι προαιρετικό στην υλοποίηση.

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά συστήματος WCDMA.

Κλείνοντας την ενότητα αυτή παρουσιάζουμε στον παρακάτω πίνακα τις κύριες διαφορές μεταξύ του συστήματος WCDMA, και του πιο διαδεδομένου συστήματος δεύτερης γενιάς, του GSM.

	WCDMA	GSM
Εύρος Ζώνης Φέροντος	5MHz	200kHz
Συντελεστής Επαναχρησιμοποίησης Συχνοτήτων	1	1-18
Διαφορισμός εκπομπής στην κάτω ζεύξη.	Υποστηρίζεται για την βελτίωση της χωρητικότητας της κάτω ζεύξης.	Δεν υποστηρίζεται από το πρότυπο αλλά μπορεί να εφαρμοστεί με κάποιες τροποποιήσεις.
Πακέτα δεδομένων	Δρομολογητής πακέτων βασισμένος στο φορτίο που υπάρχει στο σύστημα.	Δρομολόγηση βασισμένη σε χρονικές σχισμές με την βοήθεια GPRS.
Έλεγχος Ποιότητας	Αλγόριθμοι διαχείρισης ραδιοκυμάτων.	Σχεδιασμός δικτύου.
Συχνότητα Ελέγχου της Ισχύος	1500Hz	≤2Hz

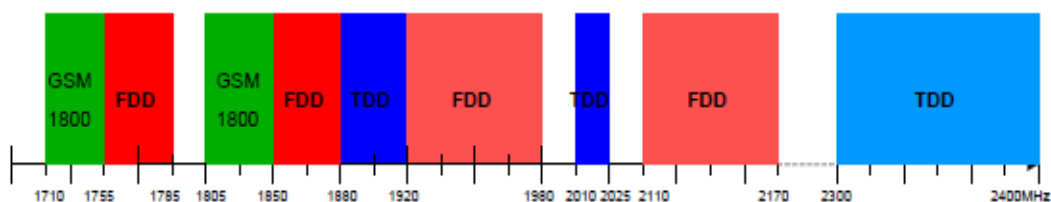
Πίνακας 3.2: Διαφορές μεταξύ συστημάτων WCDMA και GSM.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ TD-SCDMA

4.1 Εξέλιξη του προτύπου TD-SCDMA

Η ανάπτυξη του προτύπου αυτού ξεκίνησε από την CATT (China Academy of Telecommunication Technology) και την Siemens και βρίσκει ευρεία εφαρμογή κυρίως στην Κίνα. Τον Ιούνιο του 1998 η Κίνα το πρότεινε στην ITU σαν πρότυπο για τρίτης γενιάς συστήματα. Τελικά υιοθετήθηκαν μαζί με το WCDMA και το cdma2000 ως διεθνή πρότυπα τον Μάιο του 2000. Τον Μάρτιο του 2001 ο οργανισμός 3GPP το συμπεριέλαβε ως πρότυπο τρίτης γενιάς και η ανάπτυξή του συνεχίζεται μέσω του οργανισμού αυτού. Τον Οκτώβριο του 2002, η Κίνα κατένειμε το φάσμα για τις υπηρεσίες τρίτης γενιάς. Συνολικά 155 MHz διατέθηκαν για τα συστήματα TDD (TD-SCDMA) όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.1: Κατανομή φάσματος για το σύστημα TD-SCDMA στην Κίνα. [7]

Όπως είδαμε το πρότυπο IMT-2000 περιλαμβάνει τα συστήματα UTRA-TDD. Τα UTRA-TDD ή TD-CDMA συστήματα χωρίζονται περαιτέρω σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το εύρος ζώνης που χρησιμοποιείται. Η πρώτη χρησιμοποιεί εύρος ζώνης 5MHz και chip rate 3.84Mcps και στα πλαίσια του οργανισμού 3GPP είναι γνωστό και ως UTRA-TDD_{HCR} (High Chip Rate). Το δεύτερο σύστημα το οποίο ονομάστηκε TD-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiplex) με το οποίο και θα ασχοληθούμε σε αυτό το κεφάλαιο χρησιμοποιεί αντίστοιχα 1.6MHz και chip rate 1.28Mcps. Όπως φαίνεται χρησιμοποιεί μικρότερο εύρος ζώνης και chip rate, και για αυτούς τους λόγους ονομάστηκε από τον οργανισμό 3GPP, ως UTRA-TDD_{LCR} (Low Chip Rate).

Το TD-SCDMA έχει αρκετά κοινά χαρακτηριστικά με το UTRA-TDD_{HCR} κυρίως στα πρωτόκολλα που ανήκουν στα υψηλότερα επίπεδα, όμως παρουσιάζει μεγάλες διαφορές στο φυσικό στρώμα τις οποίες και θα αναλύσουμε στην παρακάτω ενότητα.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του TD-SCDMA συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

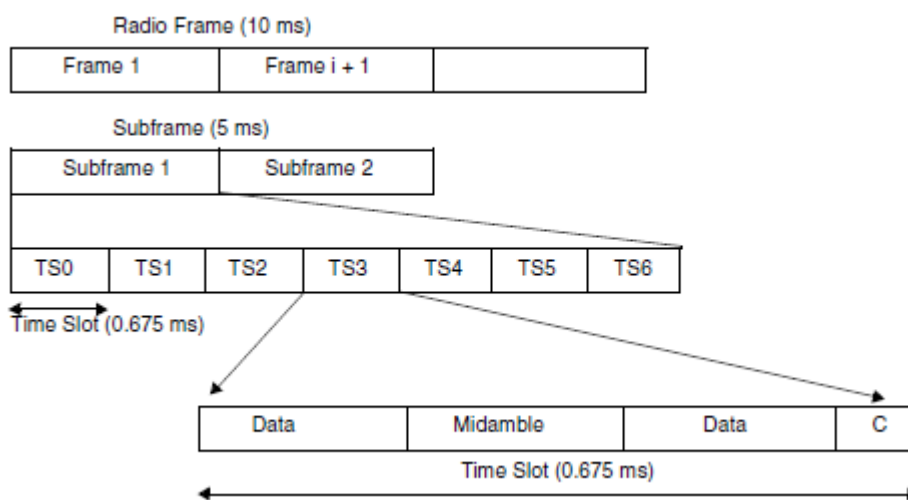
Εύρος Ζώνης	1.6Mhz
Ρυθμός Chip	1.28Mcps
Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης	FDMA/TDMA/CDMA
Τεχνική Εξάπλωσης Φάσματος	Απευθείας Ακολουθίας (Direct Spread).
Διαμόρφωση	QPSK, 8PSK
Παράγοντες Εξάπλωσης	1/2/4/8/16
Μέγιστη απόσταση ραδιοκάλυψης	40km
Δομή Πλαισίου	Υπερ-πλαίσιο (Super Frame) =720ms Ραδιο-πλαίσιο (Radio Frame)=10ms Υπο-πλαίσιο=5ms
Αριθμός Χρονοσχισμών	7
Χωρητικότητα/χρονοσχισμή	16
Αριθμός καναλιών/φέρων	48
Ρυθμός εκπομπής/χρονοσχισμή	281.6Kbps
Ρυθμός εκπομπής/φέρων	1.971Mbps

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά συστήματος TD-SCDMA.

Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που έπρεπε να αντιμετωπίσουν τα συστήματα 3G, είναι η διαχείριση τόσο συμμετρικών υπηρεσιών (μετάδοση φωνής και βίντεο), όσο και ασύμμετρων (πρόσβαση στο διαδίκτυο). Για την αντιμετώπιση αυτής της απαίτησης το πρότυπο TD-SCDMA αναπτύσσει διάφορες εξελιγμένες τεχνικές (πολλαπλή ανίχνευση, ευφυείς κεραίες, συγχρονισμό των κινητών σταθμών με το σταθμό βάσης) τις οποίες θα αναλύσουμε στις ενότητες που ακολουθούν.

4.2 Πρόσβαση στο δίαυλο

Το TD-SCDMA χρησιμοποιεί την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης TDMA σε συνδυασμό με την τεχνική αμφιδρόμησης TDD. Ο συνδυασμός αυτός βελτιώνει σημαντικά την απόδοση του δικτύου τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη. Όπως βλέπουμε από τον πίνακα 4.1 το βασικό μήκος πλαισίου στο TD-SCDMA είναι 10ms, ενώ στο UTRA-TDD_{HCR} είναι 5ms. Για την συσχέτιση των δύο αυτών συστημάτων το πλαίσιο στο TD-SCDMA ονομάστηκε υποπλαίσιο (sub-frame), και έτσι δύο υποπλαίσια του συστήματος TD-SCDMA σχηματίζουν ένα ραδιο-πλαίσιο (radio-frame) στο UTRA-TDD_{HCR}. Το κάθε υποπλαίσιο έχει επτά χρονοσχιμές, η κάθε μια από τις οποίες έχει διάρκεια 0,675ms. Ο μόνος περιορισμός που τίθεται στην κατανομή των χρονοσχιμών στο κάθε υποπλαίσιο είναι ότι η χρονοσχιμή 0 διατίθεται πάντα για την κάτω ζεύξη ενώ η χρονοσχιμή 1 διατίθεται πάντα για την άνω ζεύξη. Οι υπόλοιπες πέντε χρονοσχιμές μπορούν να διατεθούν είτε για την άνω είτε για την κάτω ζεύξη. Η δομή του πλαισίου του TD-SCDMA φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

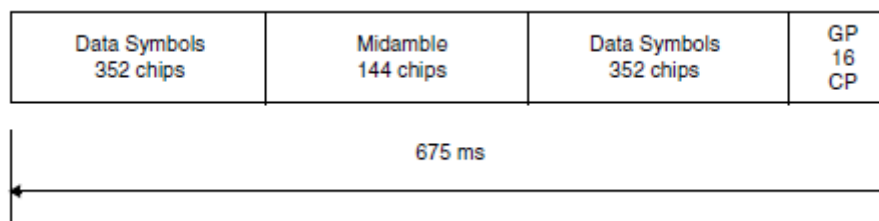


Σχήμα 4.2: Δομή πλαισίου TD-SCDMA.

Για την επίτευξη του σωστού χρονισμού μεταξύ των κινητών σταθμών, η μετάδοση των δεδομένων από το κινητό δεν γίνεται συνεχόμενα, αλλά ανά τακτά χρονικά διαστήματα, και η ίδια η πληροφορία ονομάζεται ριπή (burst). Η κάθε χρονοσχιμή στο TD-SCDMA μεταδίδεται σε ακριβώς μια ριπή (burst) και χωρίζεται σε τέσσερα μέρη.

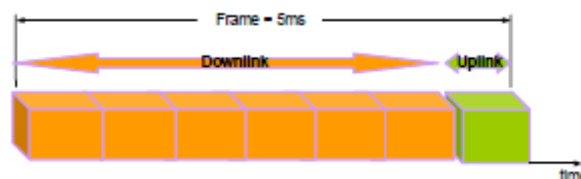
Δύο μέρη δεδομένων με διάρκεια 352 chips, μία ακολουθία εκπαίδευσης (midamble) με διάρκεια 144 chips και ένα διάστημα φύλαξης (guard period-GP) με διάρκεια 16 chips.

Το midamble χρησιμοποιείται από τον δέκτη για συγχρονισμό καθώς επίσης και για εκτίμηση της κατάστασης του διαύλου (το οποίο χρειάζεται για την πολλαπλή ανίχνευση), ώστε να ανακτηθούν σωστά τα αρχικά δεδομένα. Στη διάρκεια του διαστήματος φύλαξης, δεν γίνεται μετάδοση δεδομένων, αλλά ο χρόνος αυτός αφιερώνεται για την αντιμετώπιση της χρονικής διασποράς των σημάτων κατά τη διάρκεια της μετάδοσης, καθώς επίσης και για τον συγχρονισμό των διαφορετικών ριπών οι οποίες καταφθάνουν στον δέκτη. Η δομή της χρονοσχισμής του TD-SCDMA φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.3: Χρονοσχισμή TD-SCDMA.

Η τεχνική TDD επιτρέπει την μετάδοση δεδομένων τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη, με την χρησιμοποίηση διαφορετικών χρονοσχισμών στο ίδιο πλαίσιο. Για την εξυπηρέτηση ασύμμετρων υπηρεσιών όπως η πρόσβαση στο διαδίκτυο, όπου μεταδίδονται πολύ μεγάλα πακέτα δεδομένων από το σταθμό βάσης στο κινητό σταθμό, χρησιμοποιούνται περισσότερες χρονοσχισμές στην κάτω ζεύξη.



Σχήμα 4.4: Κατανομή χρονοσχισμών για ασύμμετρη υπηρεσία.

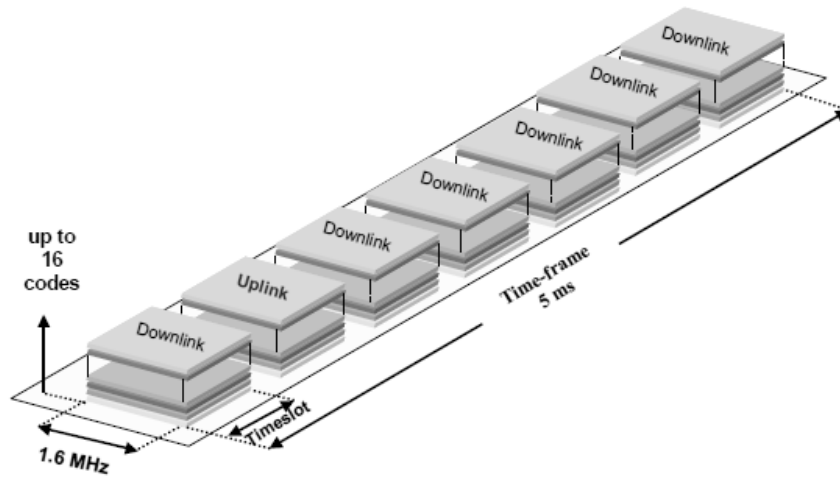
Αντίθετα στις συμμετρικές υπηρεσίες όπως η μετάδοση φωνής, όπου ή ίδια ποσότητα δεδομένων μεταδίδεται και στις δύο κατευθύνσεις, οι χρονοσχισμές στο πλαίσιο μοιράζονται εξίσου, τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.5: Κατανομή χρονοσχισμών για συμμετρική υπηρεσία.

Τέλος είναι δυνατό να χωρίσουμε με βέλτιστο τρόπο τον αριθμό των χρονοσχισμών στην άνω και στην κάτω ζεύξη ανάλογα με τον εκάστοτε όγκο των δεδομένων που απαιτείται να μεταδοθούν. Ο αριθμός των χρονοσχισμών ο οποίος μπορεί να αποδοθεί σε άνω/κάτω ζεύξη μπορεί να πάρει τιμές από 1:6 έως 6:1. Αυτή η δυνατότητα της προσαρμογής της συμμετρίας της άνω και κάτω ζεύξης ανάλογα με το μέγεθος των δεδομένων που μεταδίδονται, σε μία και μόνο συχνότητα βελτιώνει την χωρητικότητα του δικτύου και το φάσμα χρησιμοποιείται κατά βέλτιστο τρόπο. Αντιθέτως η τεχνική FDD που αναπτύσσεται στο WCDMA, χρησιμοποιεί ζεύγος συχνοτήτων για τη μετάδοση δεδομένων στην άνω και στην κάτω ζεύξη. Για την μετάδοση ασύμμετρης πληροφορίας δεσμεύεται τμήμα του φάσματος, αλλά δεν χρησιμοποιείται για την μετάδοση. Το φάσμα αυτό που δεσμεύεται δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλες υπηρεσίες και έτσι οδηγεί σε μη αποδοτική χρησιμοποίηση του φάσματος.

Συμπληρωματικά με την χρήση TDMA/TDD το TD-SCDMA χρησιμοποιεί και την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης CDMA για την περαιτέρω αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος. Το TD-SCDMA χρησιμοποιεί κάπως διαφορετικά την τεχνική CDMA συγκριτικά με άλλα CDMA συστήματα. Στα CDMA συστήματα, πολλοί χρήστες έχουν ταυτόχρονη πρόσβαση στο δίαυλο. Όπως έχουμε δει ο κάθε χρήστης διαχωρίζεται από τους υπόλοιπους χάρις στον ξεχωριστό κώδικα διασποράς που του έχει αποδοθεί. Όταν όμως κάποιος νέος χρήστης εισέρχεται στο σύστημα, δρα ως παρεμβολή για τους υπόλοιπους. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται παρεμβολή πολλαπλής πρόσβασης (Multiple Access Interference-MAI) και αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στην χωρητικότητα του συστήματος. Για την μείωση της παρεμβολής αυτής το TD-SCDMA περιορίζει τον αριθμό των κωδικών οι οποίοι μεταδίδονται σε κάθε χρονοσχιμή στους 16. Η από κοινού χρησιμοποίηση των τεχνικών TDMA/TDD και CDMA φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.6: Η τεχνική CDMA στο σύστημα TD-SCDMA.

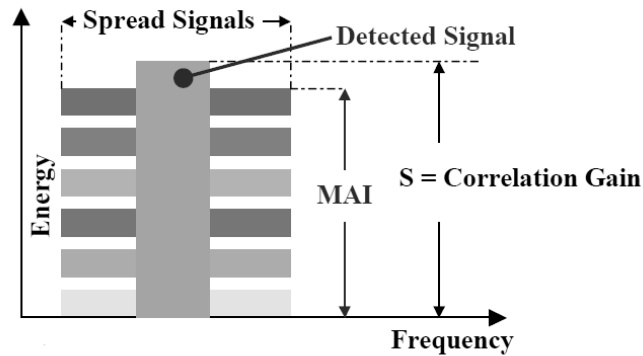
Η χρησιμοποίηση chip rate της τάξεως των 1.28Mcps οδηγεί σε ένα φέρον με εύρος ζώνης 1,6MHz. Λόγω του μικρότερου εύρους ζώνης του φέροντος ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί να αναπτύξει πολλαπλά φέροντα των 1.6MHz για την βελτίωση της χωρητικότητας του συστήματος. Για παράδειγμα σε ένα διαθέσιμο φάσμα των 5MHz, το οποίο αποδίδεται συνήθως στα TDD συστήματα, μπορούν να αναπτυχθούν τρία TD-SCDMA φέροντα (τεχνική πολλαπλής πρόσβασης FDMA). Τέλος για την υποστήριξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης (2Mbps) υποστηρίζεται τόσο η χρήση μεταβλητών κωδικών διασποράς όσο και η χρήση πολλαπλών κωδικών για μετάδοση.

4.3 Πολλαπλή ανίχνευση

Η πολλαπλή ανίχνευση (multiuser detection) μπορεί να αναπτυχθεί στα TD-SCDMA συστήματα λόγω του γεγονότος ότι σε κάθε χρονοσχιμή μεταφέρεται ένας συγκεκριμένος αριθμός κωδικών (16) , καθώς επίσης και ότι το chip rate είναι μικρότερο από αυτό των άλλων TDD/FDD συστημάτων.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το φαινόμενο MAI επηρεάζει εξ ίσου όλους τους χρήστες σε ένα CDMA σύστημα. Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες το επιθυμητό σήμα το οποίο καταφθάνει στο δέκτη είναι μόλις διακριτό από τα σήματα των υπολοίπων χρηστών τα οποία απεικονίζονται στον δέκτη σαν θόρυβος. Το επιθυμητό σήμα το οποίο μόλις διακρίνεται από τα σήματα των υπολοίπων χρηστών έχει χαμηλό λόγο

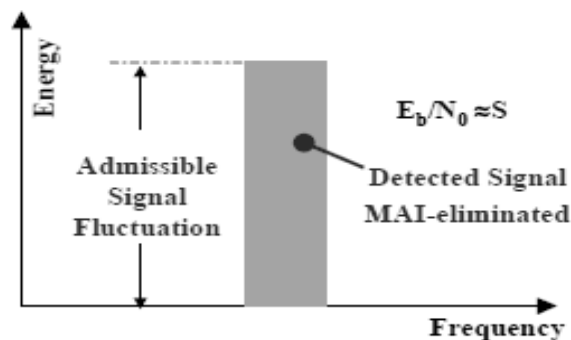
φέροντος προς παρεμβολή (Carrier to Interference Ratio-CIR) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.7: Λήψη σήματος για CDMA σύστημα.

Για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού όπως αναφέρθηκε στο τρίτο κεφάλαιο, για τη λήψη του επιθυμητού σήματος τα WCDMA συστήματα χρησιμοποιούν ένα δέκτη RAKE. Ο δέκτης RAKE δεν αποτελεί την βέλτιστη λύση για την αντιμετώπιση του φαινομένου MAI. Αυτό συμβαίνει διότι επικεντρώνεται στη λήψη μόνο του επιθυμητού σήματος χωρίς να κάνει κάποια προσπάθεια για να χαρακτηρίσει τα σήματα των υπολοίπων χρηστών τα οποία παρεμβάλουν.

Αντιθέτως με την πολλαπλή ανίχνευση τα σήματα όλων των χρηστών επεξεργάζονται παράλληλα και λόγω αυτού συμπεριλαμβάνεται και η πληροφορία που προέρχεται από τις παρεμβολές των άλλων χρηστών. Οπότε με την χρήση των κατάλληλων αλγορίθμων πολλαπλής ανίχνευσης το επιθυμητό σήμα απομονώνεται και απομακρύνεται η παρεμβολή των υπόλοιπων χρηστών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την λήψη στο δέκτη ενός «καθαρού» σήματος (υψηλός δείκτης CIR) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.8: Λήψη σήματος με χρήση πολλαπλής ανίχνευσης.

Η τεχνική της πολλαπλής ανίχνευσης είναι πολύπλοκη και απαιτεί εντατικές υπολογιστικές διεργασίες. Η πολυπλοκότητα αυξάνει εκθετικά με την αύξηση των κωδικών που χρησιμοποιούνται στο εκάστοτε σύστημα. Συνεπώς η πολλαπλή ανίχνευση δεν είναι κατάλληλη για τα υπόλοιπα CDMA συστήματα, λόγω του υψηλού αριθμού των κωδικών που χρησιμοποιούνται σε αυτά. Αντιθέτως στα συστήματα TD-SCDMA είναι εφικτή η εφαρμογή της τεχνικής αυτής, καθώς ο αριθμός των κωδικών που χρησιμοποιείται σε κάθε χρονοσχιμή περιορίζεται στους 16. Ο αριθμός αυτός των κωδικών είναι σχετικά εύκολος να επεξεργαστεί παράλληλα. Το επόμενο γεγονός το οποίο ευνοεί την ανάπτυξη της πολλαπλής ανίχνευσης στα συστήματα TD-SCDMA είναι ότι τα σήματα των χρηστών τα οποία καταφθάνουν στο σταθμό βάσης είναι συγχρονισμένα, όπως θα δούμε παρακάτω. Το αποτέλεσμα είναι η ανάπτυξη ενός πολλαπλού ανιχνευτή με περιορισμένη πολυπλοκότητα, ο οποίος μπορεί εφαρμοστεί εύκολα στις ήδη υπάρχουσες υπολογιστικές αρχιτεκτονικές.

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι η πολλαπλή ανίχνευση ελαχιστοποιεί το φαινόμενο MAI, αυξάνει την χωρητικότητα του δικτύου, και κάνει καλύτερη χρήση του διαθέσιμου φάσματος.

4.4 Συγχρονισμός των κινητών σταθμών

Η τεχνική αμφιδρόμησης TDD δημιουργεί την ανάγκη για τον ακριβή χρονικό συγχρονισμό μεταξύ του κινητού σταθμού και του σταθμού βάσης (uplink) και αυτό γιατί οι ριπές πρέπει να μεταδίδονται και λαμβάνονται στην διάρκεια προκαθορισμένων χρονοσχιμών. Ο συγχρονισμός αυτός γίνεται ακόμα πιο δύσκολος λόγω της κίνησης

των τερματικών, καθώς αυτά μπορεί να βρίσκονται σε διαφορετικές αποστάσεις από το σταθμό βάσης και τα σήματα που φτάνουν σε αυτόν να έχουν διαφορετική χρονική καθυστέρηση.

Για την αντιμετώπιση των διαφορετικών αυτών καθυστερήσεων καθώς και για την αποφυγή των συγκρούσεων μεταξύ γειτονικών χρονοσχισμών, ο σταθμός βάσης παρακολουθεί τα σήματα που καταφθάνουν σε αυτόν από τους κινητούς σταθμούς. Σε περίπτωση που διαπιστώσει ότι κάποιο σήμα καταφθάνει με μεγάλη χρονική καθυστέρηση σε σχέση με τα υπόλοιπα, τότε επιτάσσει τον εκάστοτε κινητό σταθμό να εκπέμψει το σήμα του νωρίτερα έτσι ώστε να μπορέσει να αντισταθμίσει τις αλλαγές που συμβαίνουν λόγω της καθυστέρησης της διάδοσης. Η τιμή της μετατόπισης της εκπομπής στο χρόνο ονομάζεται προήγηση χρόνου (timing advance).

Επίσης και οι σταθμοί βάσης πρέπει να είναι χρονικά συγχρονισμένοι μεταξύ τους για την μείωση των διακυβελικών παρεμβολών, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου συμβαίνει μια μεταπομπή. Αυτό απαιτεί την χρήση εξελιγμένων τεχνικών συγχρονισμού όπως η χρήση GPS.

Το αποτέλεσμα του συγχρονισμού αυτού δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα στην πολλαπλή ανίχνευση των σημάτων από το σταθμό βάσης. Η τεχνική της σύγχρονης μετάδοσης έχει αρκετά πλεονεκτήματα συγκριτικά με αυτήν της ασύγχρονης.

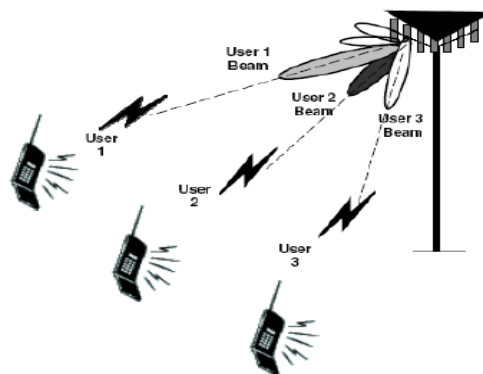
Πρώτον, ο εντοπισμός του κινητού σταθμού γίνεται πιο εύκολος καθώς επίσης και οι υπολογισμοί για τη θέση του μειώνονται σημαντικά. Επιπλέον σε ένα σύγχρονο σύστημα όταν ο κινητός σταθμός είναι αδρανής (δεν εκπέμπει ούτε λαμβάνει) είναι σε θέση να διεξάγει μετρήσεις για την ποιότητα της ζεύξης σε γειτονικούς σταθμούς βάσης. Αυτό το γεγονός μειώνει το χρόνο για ανίχνευση του βέλτιστου σταθμού βάσης κατά τη διάρκεια μιας μεταπομπής. Τέλος το TD-SCDMA χάρις στην ιδιότητα του συγχρονισμού μεταξύ των σταθμών βάσης δεν χρειάζεται να βασίζεται στην ήπια διαπομπή για την βελτίωση της κάλυψης στα όρια των κυψελών. Αντιθέτως το TD-SCDMA χρησιμοποιεί συμβατική μεταπομπή, η οποία οδηγεί σε σημαντική μείωση του κόστους της μετάδοσης συγκριτικά με τα υπόλοιπα 3G πρότυπα.

4.5 Ευφυείς κεραίες

Για την βελτίωση της ανθεκτικότητας του συστήματος εναντίον των παρεμβολών οι σταθμοί βάσης του TD-SCDMA είναι εξοπλισμένοι με ευφυείς κεραίες οι οποίες χρησιμοποιούν τεχνικές διαμόρφωσης της δέσμης της κεραίας.

Με την χρήση ομοιοκατευθυντικών κεραίων, η εκπεμπόμενη ισχύς διανέμεται σε όλη την περιοχή κάλυψης της κυψέλης. Σαν αποτέλεσμα αυτού δημιουργείται διακυψελική παρεμβολή μεταξύ κυψελών οι οποίες χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα.

Αντιθέτως οι ευφυείς κεραίες οι οποίες εκπέμπουν και λαμβάνουν απευθείας από και προς τον κινητό σταθμό, βελτιώνουν την ευαισθησία του σταθμού βάσης, αυξάνουν την ισχύ που δέχεται ο κινητός σταθμός και ελαχιστοποιούν τις ενδοκυψελικές και διακυψελικές παρεμβολές. Η λειτουργία των ευφύων κεραιών φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.9: Λειτουργία ευφυής κεραίας.

Η απευθείας μετάδοση μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού σταθμού επιτυγχάνεται με την χρήση οχτώ κεραιών σε κυκλική διάταξη με προγραμματιζόμενη ηλεκτρονική φάση. Η ανίχνευση των τερματικών γίνεται με την μέτρηση των σημάτων που καταφθάνουν στον σταθμό βάσης σε διαστήματα των 5ms, και 200 φορές το δευτερόλεπτο (200Hz).

Με αυτόν τον τρόπο βελτιώνεται ο CIR και στις δύο κατευθύνσεις κατά 8db, δηλαδή και η διακυψελική παρεμβολή μειώνεται κατά 8db. Αυτό οδηγεί σε βελτιστοποίηση του φάσματος καθώς επίσης και στην μείωση της εκπεμπόμενης ισχύος από τα κινητά τερματικά. Επιπλέον ο αριθμός των σταθμών βάσης οι οποίοι απαιτούνται σε

πυκνοκατοικημένες περιοχές μπορεί να μειωθεί. Σε αγροτικές περιοχές οι οποίες είναι αραιοκατοικημένες η ραδιοκάλυψη μπορεί να αυξηθεί με αποτέλεσμα και σε αυτήν την περίπτωση να χρειάζονται λιγότεροι σταθμοί βάσης.

Η τεχνική αμφιδρόμησης TDD που χρησιμοποιείται στο TD-SCDMA προσφέρεται για την ανάπτυξη των ευφών κεραιών και αυτό λόγω του ότι η μετάδοση στην άνω και στην κάτω ζεύξη γίνεται ταυτόχρονα μέσω ενός φέροντος. Αντίθετα στο σύστημα WCDMA είναι σχετικά δύσκολο να επιτύχουμε βέλτιστη απόδοση με την χρήση ευφών κεραιών καθώς η άνω και η κάτω ζεύξη λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες και οι γρήγορες διαλείψεις που συμβαίνουν είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους. Τέλος οι ευφείς κεραίες στην TDD τεχνική σε συνδυασμό με την πολλαπλή ανίχνευση αυξάνουν την χωρητικότητα του TD-SCDMA και οδηγούν σε βέλτιστη χρησιμοποίηση του διατιθέμενου φάσματος.

4.6 Δυναμική κατανομή διαύλων

Η περαιτέρω μείωση των διακυβελικών παρεμβολών επιτυγχάνεται με την δυναμική κατανομή διαύλων (Dynamic Channel Allocation-DCA). Το σύστημα TD-SCDMA εκμεταλλεύεται όλες τις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης. Κάνοντας σωστή χρήση αυτών των τεχνικών το TD-SCDMA χρησιμοποιεί με βέλτιστο και ευέλικτο τρόπο τους διαθέσιμους πόρους ανάλογα με το σενάριο των παρεμβολών.

Οι τέσσερις ακόλουθοι μέθοδοι DCA χρησιμοποιούνται:

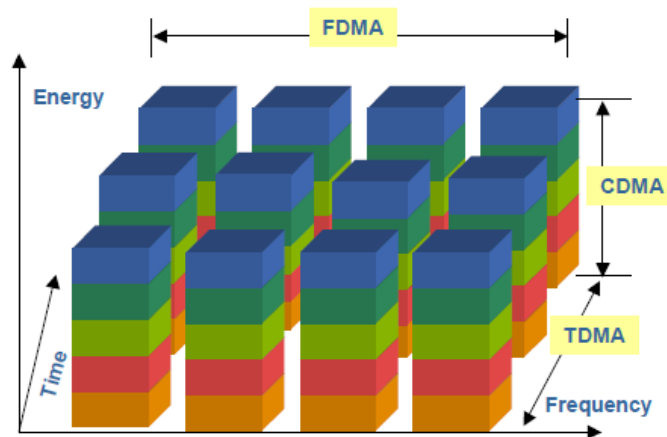
- DCA στο πεδίο του χρόνου (λειτουργία TDMA).
Το φορτίο κατανέμεται δυναμικά στις χρονοσχισμές οι οποίες επηρεάζονται λιγότερο από τις παρεμβολές.
- DCA στο πεδίο της συχνότητας (λειτουργία FDMA).
Το φορτίο κατανέμεται δυναμικά στο φέρον το οποίο επηρεάζεται λιγότερο από τις παρεμβολές (σε εύρος ζώνης 5MHz αναπτύσσονται τρία φέροντα TD-SCDMA με συχνότητα 1.6MHz).
- DCA στο πεδίο του χώρου (λειτουργία SDMA).

Οι προσαρμοζόμενες ευφυείς κεραίες επιλέγουν την ευνοϊκότερη κατεύθυνση αποσύνδεσης για κάθε χρήστη, έτσι ώστε να μπορούν κατόπιν να συνδεθούν γρηγορότερα με γειτονικά τερματικά.

- DCA στο πεδίο του κώδικα (λειτουργία CDMA).

Το φορτίο κατανέμεται δυναμικά στον κώδικα με την μικρότερη παρεμβολή (σε κάθε χρονοσχισμή συνυπάρχουν 16 κώδικες χρηστών).

Η δυναμική κατανομή διαύλων για όλους τους τύπους φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.10: Δυναμική απόδοση διαύλων

Με την δυναμική καταχώρηση των πόρων οι οποίοι δέχονται την μικρότερη παρεμβολή, το TD-SCDMA επιτυγχάνει να μειώσει την διακυβελική παρεμβολή.

4.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνικής TD-SCDMA

Από την ανάλυση η οποία προηγήθηκε στις παραπάνω ενότητες, μπορούμε να συνοψίσουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του συγκεκριμένου συστήματος.

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το TD-SCDMA είναι τα εξής:

- Αποτελεσματική εκμετάλλευση του διαθέσιμου φάσματος.
Για την παροχή υψηλών ρυθμών δεδομένων πρέπει να χρησιμοποιήσουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος ζώνης συχνοτήτων. Τα TD-SCDMA συστήματα αντιμετωπίζουν αυτήν την πρόκληση με την χρησιμοποίηση μίας μόνο συχνότητας για την επικοινωνία μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού σταθμού με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται βέλτιστη χρήση του διαθέσιμου φάσματος.
- Υποστήριξη ασύμμετρης κίνησης και υπηρεσιών.
Η πρόσβαση στο διαδίκτυο, οι εφαρμογές πολυμέσων (φωνή και βίντεο) , καθώς και η μεταφορά δεδομένων απαιτούν διαφορετική κατανομή του φάσματος στην άνω και στην κάτω ζεύξη. Το TD-SCDMA δεν απαιτεί τη σταθερή κατανομή του εύρους ζώνης. Αντιθέτως το εύρος ζώνης στην άνω και στην κάτω ζεύξη κατανέμεται ανάλογα με τις απαιτήσεις της μετάδοσης. Αυτό γίνεται εφικτό λόγω της ευέλικτης δομής του πλαισίου του TD-SCDMA, όπως είδαμε στην ενότητα 4.2. Τέλος το TD-SCDMA χρησιμοποιεί το φάσμα πιο αποδοτικά από τα συστήματα IS-95, WCDMA, GSM. Αυτό συμβαίνει καθώς με την χρήση της τεχνικής TDD, το TD-SCDMA χρειάζεται μόνο μια συχνότητα τόσο για την άνω όσο και για την κάτω ζεύξη, ενώ τα υπόλοιπα συστήματα που αναφέραμε και τα οποία βασίζονται στην τεχνική FDD χρειάζονται δύο ξεχωριστές συχνότητες.
- Εξουδετέρωση διακυψελικών και ενδοκυψελικών παρεμβολών.
Οι παρεμβολές αυτές εξαλείφονται με την χρήση ευφών κεραιών και της χρήσης της πολλαπλής ανίχνευσης. Στα συστήματα TD-SCDMA τα σήματα που καταφθάνουν στον σταθμό βάσης είναι συγχρονισμένα γεγονός το οποίο βελτιώνει τον διαχωρισμό μεταξύ των καναλιών, ο οποίος μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω με την χρήση ευφών κεραιών και της πολλαπλής ανίχνευσης.
- Μείωση του breathing-cell φαινομένου.
Ένα σημαντικό κέρδος που προκύπτει από την ελαχιστοποίηση των διακυψελικών και ενδοκυψελικών παρεμβολών είναι η αισθητή μείωση του breathing-cell φαινομένου. Στα TD-SCDMA συστήματα το φορτίο του συστήματος μπορεί να αυξηθεί χωρίς να μειωθεί η περιοχή κάλυψης, καθώς οι ενδοκυψελικές παρεμβολές αντιμετωπίζονται με τη χρήση της πολλαπλής

ανίχνευσης και οι διακυβελικές παρεμβολές αντιμετωπίζονται με τη χρήση ευφυών κεραιών και την δυναμική κατανομή των διαύλων.

- Χαμηλή κατανάλωση ισχύος.

Με την χρήση των ευφυών κεραιών, ο σταθμός βάσης μπορεί να κατευθύνει την ισχύ απευθείας στους κινητούς σταθμούς, αντί να τη κατευθύνει σε ολόκληρη την περιοχή της κυψέλης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση της διαθέσιμης ισχύος του σταθμού βάσης.

- Χαμηλό κόστος εξοπλισμού.

Όντας ένα TDD σύστημα, το TD-SCDMA χρησιμοποιεί μία συχνότητα για μετάδοση και λήψη, οπότε χρειάζεται μόνο μια βαθμίδα RF (Radio Frequency), σε αντίθεση με τα FDD συστήματα τα οποία χρειάζονται δύο σχεδόν πανομοιότυπες βαθμίδες RF για την άνω και την κάτω ζεύξη.

- Αμοιβαίος συγχρονισμός των τερματικών.

Με τον ακριβή χρονικό συγχρονισμό του κάθε τερματικού, το TD-SCDMA βελτιώνει σημαντικά τον εντοπισμό των τερματικών, μειώνει τους υπολογισμούς για την εύρεση της τοποθεσίας τους, καθώς επίσης μειώνει και τον χρόνο που απαιτείται για την διαδικασία της μεταπομπής.

Παρόλαυτα το TD-SCDMA έχει και κάποια μειονεκτήματα τα οποία είναι τα εξής:

- Απαιτείται ακριβής χρονικός συγχρονισμός.

Ο ακριβής συγχρονισμός των κινητών σταθμών με το σταθμό βάσης καθώς επίσης και ο συγχρονισμός μεταξύ των σταθμών βάσης αυξάνει το κόστος του συστήματος καθώς απαιτούνται ιδιαίτερες τεχνικές συγχρονισμού για ολόκληρο το δίκτυο.

- Περιορισμένη υποστήριξη για χρήστες οι οποίοι κινούνται με υψηλές ταχύτητες.

Τα TDD συστήματα έχουν περιορισμένες δυνατότητες στην αντιμετώπιση των γρήγορων διαλείψεων και του φαινομένου Doppler. Παρόλο που αυτοί οι περιορισμοί μπορούν να αμβλυνθούν με τη χρήση των ευφυών κεραιών και της πολλαπλής ανίχνευσης, τα TDD συστήματα δεν μπορούν να συγκριθούν σε αυτόν τον τομέα με τα WCDMA συστήματα.

- Χρήση πολύπλοκων και ακριβών τεχνολογιών.

Το σύστημα TD-SCDMA βασίζεται στην πολλαπλή ανίχνευση, στην δυναμική κατανομή διαύλων, σε ευφείς κεραίες καθώς και στον ακριβή χρονικό συγχρονισμό μεταξύ των τερματικών και των σταθμών βάσης. Οι παραπάνω τεχνολογίες ναι μεν προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα όπως αυτά αναφέρθηκαν στις παραπάνω ενότητες βελτιώνοντας σημαντικά την απόδοση του συστήματος, παρόλαυτα είναι ιδιαίτερα πολύπλοκες και δαπανηρές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ DVB-T

5.1 Μετάβαση στην ψηφιακή τηλεόραση

Τα τελευταία χρόνια η τηλεόραση αναμφίβολα είναι το κυριότερο μέσο για ενημέρωση και ψυχαγωγία παγκοσμίως. Στον δυτικό κόσμο μάλιστα, υπάρχουν περισσότερες από μία τηλεοράσεις σε κάθε σπίτι. Τα τελευταία 50 χρόνια, η τεχνολογία της τηλεόρασης αποδείχτηκε αρκετά ευέλικτη όσον αφορά την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, χωρίς να χρειαστεί η αντικατάσταση των παλιών δεκτών. Για παράδειγμα ένας τηλεοπτικός δέκτης ο οποίος έχει κατασκευαστεί 50 χρόνια πριν, μπορεί ακόμα και σήμερα να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη τηλεοπτικού σήματος στις περισσότερες χώρες. Η διατήρηση της συμβατότητας με τους υπάρχοντες δέκτες, συνοδεύτηκε με την σταδιακή αύξηση στην ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Η μετάβαση από την ασπρόμαυρη εικόνα στην έγχρωμη και από τον μονοφωνικό ήχο στον στερεοφωνικό αποτελούν παράδειγμα αυτού. Το επόμενο βήμα στην βελτίωση της ποιότητας του σήματος είναι η μετάβαση στην ψηφιακή τηλεόραση. Τα πέντε κυριότερα πρότυπα τα οποία υιοθετήθηκαν για τη ψηφιακή τηλεόραση είναι τα εξής:

- Το ATSC (American Television Systems Committee) στις ΗΠΑ.
- Το DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial) στην Ευρώπη.
- Το ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial) στην Ιαπωνία.
- Το ISDTV (International Standard for Digital Television) στην Βραζιλία.
- Το DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast) στην Κίνα.

Οι ομοιότητες μεταξύ των παραπάνω συστημάτων είναι ότι καταλαμβάνουν το ίδιο εύρος συχνοτήτων το οποίο παρέχεται σήμερα, βελτιώνουν τις οριζόντιες και κάθετες γραμμές καθώς επίσης και την αναπαράσταση των χρωμάτων, υιοθετούν τον λόγο δύο διαστάσεων (aspect ratio) 16:9, υποστηρίζουν την χρήση πολυφωνικού ήχου υψηλής ποιότητας καθώς επίσης και την μετάδοση δεδομένων.

Τα πλεονεκτήματα τα οποία παρέχει η μετάβαση στην ψηφιακή τηλεόραση είναι τα εξής:

- Σταθερή ποιότητα εικόνας, χωρίς είδωλα και «χιόνια».
- Καλύτερη ποιότητα ήχου.
- Μεγαλύτερη αντοχή σε παρεμβολές και διαλείψεις.
- Ευελιξία στη λήψη και από φορητές και κινητές συσκευές.
- Περισσότερα ραδιοτηλεοπτικά προγράμματα μπορούν να πολυπλεχτούν σε μια συχνότητα και να εκπεμφθούν ταυτόχρονα. Το χαρακτηριστικό αυτό οδηγεί σε αποδοτικότερη εκμετάλλευση του διαθέσιμου φάσματος.
- Ενσωμάτωση διαφόρων πολυμεσικών εφαρμογών και υπηρεσιών δεδομένων, όπως αμφίδρομων υπηρεσιών και διαδικτυακής πρόσβασης σε μια κοινή ψηφιακή πλατφόρμα. Η ιδιότητα αυτή παρέχεται με την προϋπόθεση ότι υπάρχει διαθέσιμο κανάλι επιστροφής (reverse path), για την αποστολή των δεδομένων πίσω στον πάροχο.

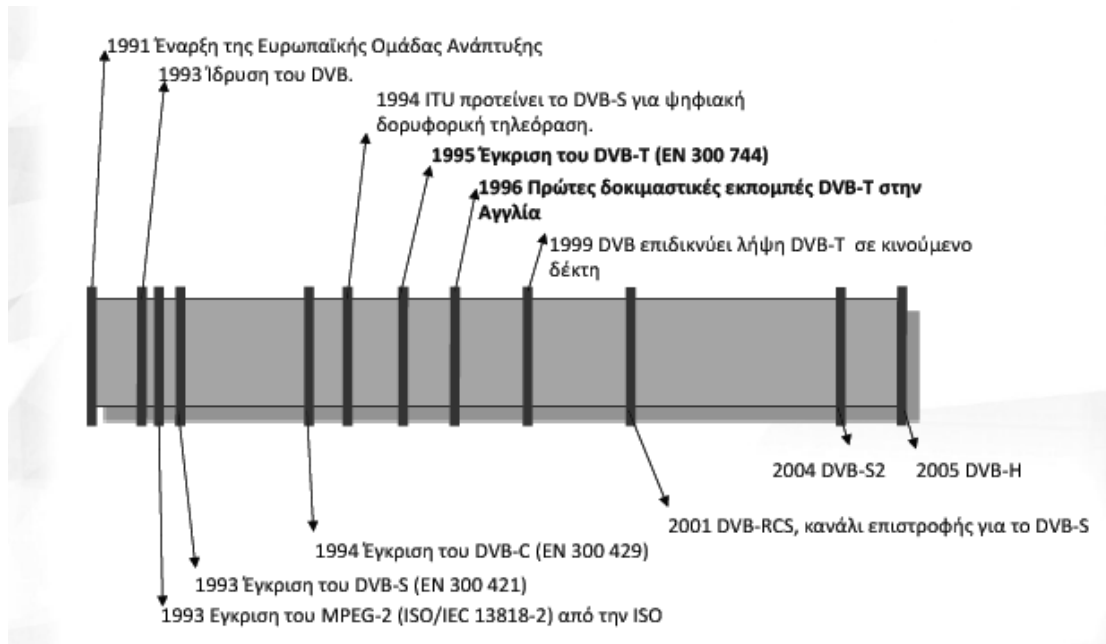
5.2 Εισαγωγή στο πρότυπο DVB-T

Η προσπάθεια για την μετάβαση στην ψηφιακή τηλεόραση στην Ευρώπη ξεκίνησε το 1993 με την ίδρυση του οργανισμού DVB, ο οποίος ήτανε μια διεθνής εταιρική συμμαχία από περισσότερους από 300 φορείς από 32 διαφορετικές χώρες.

Ο οργανισμός αυτός ανέπτυξε τρία κύρια πρότυπα όσον αφορά την μετάδοση σήματος ψηφιακής τηλεόρασης:

1. Δορυφορική εκπομπή. Σε αυτήν ανήκουν τα πρότυπα DVB-S, DVB-S2, DVB-SH, DVB-RCS.
2. Καλωδιακή εκπομπή. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα πρότυπα DVB-C και DVB-C2.
3. Επίγεια εκπομπή. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα πρότυπα DVB-T, DVB-T2, DVB-H,

Η ιστορική αναδρομή για το DVB φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.1: Χρονική εξέλιξη του προτύπου DVB.

Στην αρχή του εγχειρήματος του DVB η κύρια προτεραιότητα για την ψηφιακή τηλεόραση ήταν η μετάδοση μέσω καλωδίου και δορυφόρου. Με την ολοκλήρωση της ανάπτυξης των δύο αυτών προτύπων, ξεκίνησε η ανάπτυξη για το DVB-T η οποία υιοθετήθηκε τελικώς τον Δεκέμβριο του 1995. Η επίγεια μετάδοση είναι πιο πολύπλοκη από την μετάδοση μέσω δορυφόρου ή καλωδίου, όσον αφορά τις απαιτήσεις του χρήστη, τα χαρακτηριστικά της διάδοσης, και τις τεχνικές οι οποίες πρέπει να εφαρμοστούν. Επιπλέον, κατά την ανάπτυξη των δύο παραπάνω συστημάτων, το DVB-T υιοθέτησε αρκετές από τις τεχνολογίες οι οποίες εφαρμόστηκαν, όπως τις τεχνικές διαμόρφωσης QAM και QPSK. Το πρώτο DVB-T δίκτυο λειτούργησε το 1998 στην Μ.Βρετανία και έκτοτε έχει κυριαρχήσει στην παγκόσμια αγορά.

Μια από τις σημαντικότερες ερωτήσεις οι οποίες τέθηκαν κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του DVB ήταν αυτή που αφορούσε την εμπορική του χρήση. Γιατί ένα σύστημα το οποίο αφορά την ψυχαγωγική τηλεόραση θα επιτύχει εμπορικά, σε μια ήδη κορεσμένη αγορά στην οποία ανταγωνίζονται αρκετά τηλεοπτικά πρότυπα, μερικά από τα οποία βρίσκονται σε χρήση για αρκετά χρόνια και για αυτό το λόγο απευθύνονται σε ένα καταναλωτικό κοινό το οποίο έχει συμβατούς με αυτά δέκτες;

Οι αρχικοί στόχοι που έθεσε το DVB για να απαντήσει σε αυτήν την ερώτηση ήταν οι εξής:

1. Η μετάδοση της ψηφιακής τηλεόρασης έπρεπε να υποστηρίζει την εκπομπή υψηλής ποιότητας εικόνας (High Definition Television-HDTV), μέσω επίγειων δικτύων.
2. Το πρότυπο DVB θα έπρεπε να υποστηρίζει την εκπομπή προγραμμάτων με τυπικά ποιοτικά χαρακτηριστικά (Standard Definition Television-SDTV) χρησιμοποιώντας κανάλια στενού εύρους ζώνης για μετάδοση, ή την αύξηση των μεταδιδόμενων προγραμμάτων στα ήδη υπάρχοντα κανάλια.
3. Επίσης το DVB θα έπρεπε να εγγυηθεί την σταθερή λήψη του σήματος, σε χαμηλού κόστους, φορητούς τηλεοπτικούς δέκτες, με ενσωματωμένες κεραίες, ή μικρού μήκους κεραίες,.
4. Οι κινούμενοι τηλεοπτικοί δέκτες (σε τρένα, λεωφορεία, ή αμάξια) θα πρέπει να εξυπηρετούνται από το πρότυπο DVB λαμβάνοντας σήμα υψηλής ποιότητας. Επίσης θα έπρεπε να παρέχει σταθερή λήψη σε υψηλής ταχύτητας κινούμενα οχήματα ακόμα και όταν επικρατούν δυσμενείς συνθήκες στο κανάλι μετάδοσης.
5. Επιπλέον, το DVB, σαν μια τεχνική μετάδοσης δεδομένων, θα πρέπει να διατηρήσει τα τυπικά χαρακτηριστικά της ψηφιακής μετάδοσης, όπως η σταθερότητα στη λήψη του σήματος στα πλαίσια μιας καθορισμένης γεωγραφικής περιοχής, η πιθανότητα για την εύκολη ανάπτυξη μέσω των ήδη υπάρχοντων τηλεπικοινωνιακών υποδομών και τέλος η σταδιακή ανάμειξη στον κόσμο των υπολογιστών.

Με την εξέλιξη των εργασιών του προτύπου DVB οι παραπάνω στόχοι άλλαξαν σημαντικά.

Η ιδέα για την παροχή εικόνας HDTV, δεν εγκαταλείφθηκε, αλλά απώλεσε τον πρωταρχικό ρόλο που είχε όταν ξεκίνησε το πρόγραμμα του DVB. Η παροχή υπηρεσιών σε φορητούς δέκτες παρέμεινε σαν στόχος στην ανάπτυξη του προτύπου DVB-T, παρόλαυτα για αρκετές χώρες δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα. Τέλος η λήψη από κινητούς σταθμούς δεν αποτέλεσε αρχικά απαίτηση από τους χρήστες παρόλαυτα το DVB είναι σε θέση να παρέχει σήμα υψηλής ποιότητας σε κινητούς χρήστες οι οποίοι κινούνται με υψηλές ταχύτητες.

Με την πάροδο του χρόνου, η έννοια του “μεταφορέα δεδομένων” (data container) κυριάρχησε στην εξέλιξη του DVB. Η έννοια αυτή αποτελεί το βασικό στοιχείο για όλα τα DVB πρότυπα. Το data container είναι η μέγιστη ποσότητα δεδομένων η οποία μπορεί να μεταδοθεί ανά μονάδα χρόνου, σχεδόν χωρίς λάθη (quasi error free-QEF). Δεν έχει σημασία τι είδους υπηρεσίες μεταδίδονται, από τη στιγμή που αυτές πολυπλέκονται και εφοδιάζονται με επιπλέον δεδομένα όπως πληροφορίες συγχρονισμού, ακολουθώντας τους κανόνες μετάδοσης που ισχύουν για το εκάστοτε DVB σύστημα.

Με όσα προαναφέρθηκαν, η ερώτηση όσον αφορά την ανάπτυξη του προτύπου DVB μπορεί να απαντηθεί ως εξής:

1. Το DVB μπορεί να υποστηρίξει την μετάδοση πολλαπλών προγραμμάτων σε ένα και μόνο κανάλι ή σε ένα data container.
2. Με το DVB είναι δυνατή η μετάδοση ραδιοφωνικού προγράμματος καθώς επίσης και η μεταφορά δεδομένων τόσο για ψυχαγωγικούς όσο και για επαγγελματικούς λόγους.
3. Το DVB παρέχει μια ευελιξία όσον αφορά την ποιότητα του ήχου και της εικόνας, περιλαμβάνοντας την επιλογή για HDTV μετάδοση αρκεί ο προκύπτον ρυθμός δεδομένων να μην υπερβαίνει την χωρητικότητα του data container.
4. Για χρήση συνδρομητικών υπηρεσιών, παρέχονται αρκετά ασφαλείς μέθοδοι κωδικοποίησης οι οποίοι εξασφαλίζουν ότι η μη εξουσιοδοτημένη χρήση σε τέτοιου είδους υπηρεσίες θα είναι αρκετά δύσκολα, αν όχι ανέφικτη.
5. Το DVB υποστηρίζει την μετάδοση δεδομένων από την πλευρά του χρήστη (return transmission) γεγονός το οποίο δίνει την δυνατότητα για την εισαγωγή πλήρως διαδραστικών υπηρεσιών.
6. Το DVB-T προσφέρει την δυνατότητα για την ανάπτυξη τηλεοπτικών δεκτών σε κάθε είδους περιβάλλον. Από το συνηθισμένο οικιακό περιβάλλον, σε κινητές συσκευές, ή ακόμα και σε δέκτες οι οποίοι βρίσκονται ενσωματωμένοι στα αυτοκίνητα.
7. Τέλος, το DVB, σαν μια τεχνική μετάδοσης δεδομένων ενσωματώνει τα τυπικά χαρακτηριστικά για την αξιοποίηση της ψηφιακής μετάδοσης.

Το DVB-T αναπτύχθηκε για την εξυπηρέτηση των αναγκών αρκετών χωρών και για αυτό το λόγο είναι ένα ευέλικτο πρότυπο στο οποίο μπορούν να εφαρμοστούν αρκετές παραλλαγές (από ένα σύνολο 216 πιθανών ρυθμίσεων). Το DVB-T μπορεί να λειτουργήσει με εύρος ζώνης 6, 7 ή 8MHz με την χρήση COFDM πολυπλεξίας, με 1705 φέροντα (2K σύστημα) ή 6817 φέροντα (8K σύστημα). Οι ρυθμοί μετάδοσης κυμαίνονται μεταξύ 4.98 και 31.67Mbps. Η μετάδοση SDTV στο DVB-T επιτρέπει την ταυτόχρονη εκπομπή μέχρι και 6 προγραμμάτων στο ίδιο κανάλι. Το DVB-T χρησιμοποιεί Reed-Solomon κωδικοποίηση για την μείωση των λαθών στο εκπεμπόμενο σήμα. Επίσης υποστηρίζει ιεραρχική μετάδοση δεδομένων με τη χρήση είτε QPSK/16QAM είτε 64QAM διαμόρφωσης. Τέλος το DVB-T όπως και όλη η οικογένεια DVB για την κωδικοποίηση/συμπύεση εικόνας και ήχου υιοθετεί τα πρότυπα MPEG-2 και MPEG-4 (Motion Picture Experts Group). Τα κυριότερα από τα ανωτέρω χαρακτηριστικά του DVB-T αναλύονται στις επόμενες ενότητες.

5.3 Διαμόρφωση COFDM

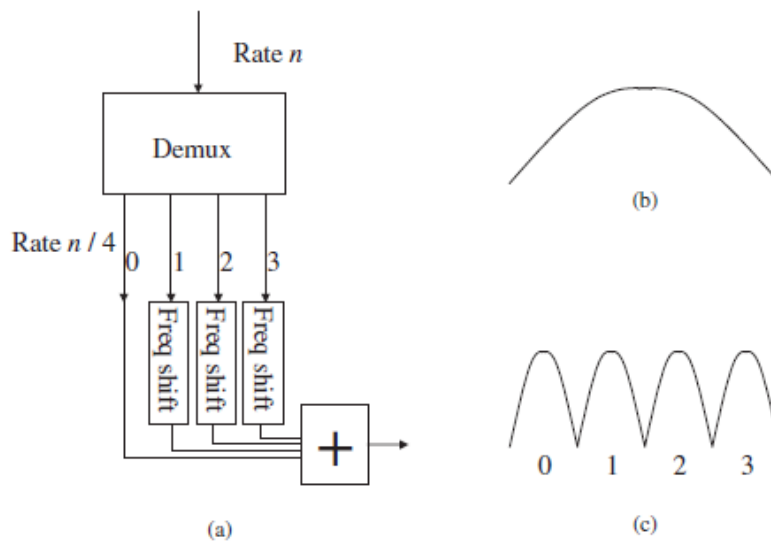
Η βασική ιδέα της ορθογωνικής πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing- OFDM) είναι η διαίρεση του προς μετάδοση ευρυζωνικού σήματος, σε μεγάλο αριθμό παράλληλων σημάτων στενής ζώνης.

Καθώς το σύστημα DVB- T χρησιμοποιεί διάφορους ρυθμούς κωδικοποίησης για την περαιτέρω προστασία του σήματος από πολυδιαδρομικές παρεμβολές, η διαμόρφωση OFDM ονομάζεται COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex).

Τα σύγχρονα ψηφιακά συστήματα κάνουν χρήση προσαρμοστικής κωδικοποίησης (Adaptive Coding-AC) για την ανίχνευση και διόρθωση λαθών (Forward Error Correction-FEC). Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη πλεοναζόντων ψηφίων (redundancy) στα ψηφία πληροφορίας. Κάθε σχήμα κωδικοποίησης χαρακτηρίζεται από τον ρυθμό κώδικα $r=k/n$ όπου k είναι τα ψηφία της πληροφορίας και n τα συνολικά ψηφία μετά την προσθήκη $n-k$ πλεοναζόντων ψηφίων. Για μικρούς ρυθμούς κωδικοποίησης (1/2, 1/3), μεταδίδονται λιγότερα ψηφία πληροφορίας αλλά το σύστημα είναι πιο ανθεκτικό/εύρωστο στην αντιμετώπιση λαθών. Αντίστοιχα, μεγάλες τιμές του r αντιστοιχούν σε λιγότερα πλεονάζοντα ψηφία και σε δυνατότητα διόρθωσης λιγότερων λανθασμένων ψηφίων. Σε γενικές γραμμές εφαρμόζεται ρυθμός κωδικοποίησης κοντά στη μονάδα, όταν επικρατούν ευνοϊκές συνθήκες στο κανάλι

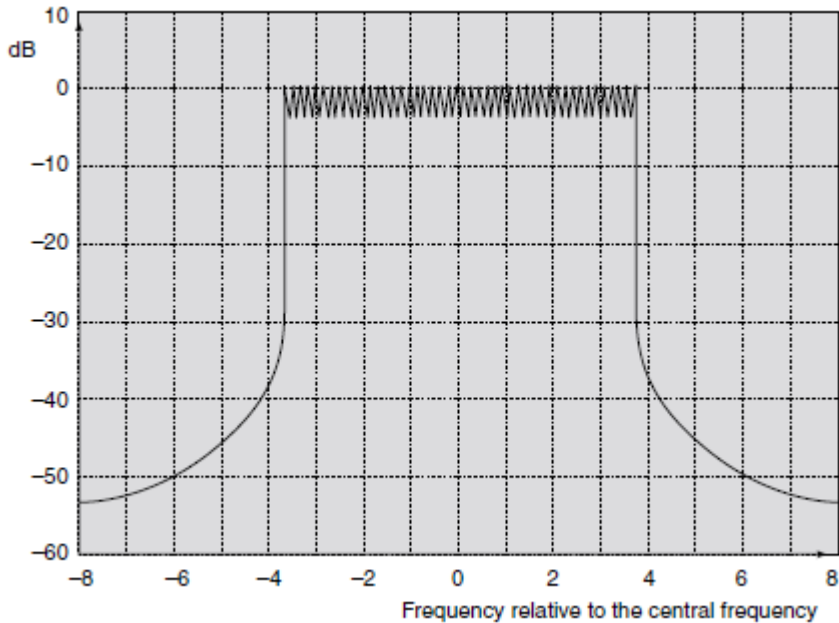
μετάδοσης και πιο ανθεκτικά σχήματα (μικρότερο r) όταν υπάρχουν δυσμενείς συνθήκες.

Μια υλοποίηση ενός συστήματος OFDM το οποίο χρησιμοποιεί τέσσερα υποκανάλια φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.2: OFDM διαμόρφωση με τέσσερα υποκανάλια.

Στο σχήμα a φαίνεται το μπλοκ διάγραμμα των τεσσάρων υποκαναλιών του OFDM διαμορφωτή, και στο σχήμα b φαίνεται η μορφή του φάσματος ισχύος ενός ευρυζωνικού σήματος. Τέλος στο σχήμα c απεικονίζεται το φάσμα ισχύος του διαμορφωμένου OFDM σήματος. Το σήμα OFDM παρέχει μια πιο ομαλή κατανομή της ισχύος στο διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων και εμφανίζει μια σημαντική μείωση της ισχύος στα άκρα του καναλιού όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3, το οποίο διευκολύνει το σχεδιασμό των φίλτρων στον πομπό .



Σχήμα 5.3: Φάσμα ισχύος OFDM σήματος για διάστημα φύλαξης $T/4$ σε 8K λειτουργία.

Οι κυριότερες απαιτήσεις που χρειάζονται για την αποτελεσματική εφαρμογή της OFDM διαμόρφωσης είναι:

- Τα υποκανάλια πρέπει να είναι συγχρονισμένα έτσι ώστε η επαναπολύπλεξη στον αποκωδικοποιητή να είναι εφικτή, για την ανακατασκευή του αρχικού σήματος.
- Οι διαμορφωμένες κυματομορφές στο κάθε υποκανάλι πρέπει να είναι ορθογώνιες μεταξύ τους για να επιτύχουμε υψηλή φασματική απόδοση.

Αν τηρούνται οι παραπάνω συνθήκες τα πλεονεκτήματα που παρέχει η διαμόρφωση OFDM είναι τα εξής:

- Υψηλή Φασματική Απόδοση.
Το σήμα διανέμεται εξ ίσου στο διαθέσιμο εύρος ζώνης του καναλιού αντιθέτως με μια ξεχωριστή ροή δεδομένων.
- Ανοσία σε διαλείψεις και παρεμβολές.
Οι διαλείψεις ή οι παρεμβολές που προκύπτουν σε ένα διαμορφωμένο σήμα δεν επηρεάζουν τα υπόλοιπα. Καθώς τα δεδομένα προστατεύονται με την τεχνική

FEC μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά οι διαλείψεις στενής ζώνης και οι παρεμβολές.

- Παρεμβολές με γειτονικά σήματα.

Η ελαχιστοποίηση του επιπέδου ισχύος των σημάτων εκτός του εύρου ζώνης του καναλιού, επιτυγχάνεται εύκολα χωρίς την χρήση πολύπλοκων φίλτρων.

Στο σύστημα DVB χρησιμοποιούνται δύο τρόποι λειτουργίας όσον αφορά την διαμόρφωση OFDM: η λειτουργία 2K και 8K. Στην λειτουργία 2K υπάρχουν 2048 φέροντα τα οποία κατανέμονται σε όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης, με σταθερό διαχωρισμό ανάμεσά τους. Παρόλ'αυτα μόνο ένα υποσύνολο των φερόντων (1705), τα οποία βρίσκονται στο μέσο του εύρους ζώνης διατίθενται για μετάδοση. Τα εναπομείναντα φέροντα χρησιμεύουν για μετάδοση τόνων πιλότων όπως θα δούμε παρακάτω. Για την 8K λειτουργία υπάρχουν αντίστοιχα 8192 φέροντα από τα οποία τα 6817 διατίθενται για μετάδοση. Και στις δύο λειτουργίες τα σήματα μεταξύ τους είναι ορθογώνια (η ετεροσυσχέτιση τους είναι μηδενική) γεγονός το οποίο οδηγεί σε υψηλή φασματική απόδοση.

Η εξίσωση του εκπεμπόμενου OFDM σήματος είναι η εξής:

$$s(t') = \text{Re} \left\{ e^{j2\pi f_c t'} \sum_{k=k_{\min}}^{k=k_{\max}} c_{m,l-1,k} e^{j2\pi k'(t'-\Delta)/T_U} \right\}$$

Όπου t' είναι ο χρόνος κατά την οποία ξεκινάει η περίοδος εκπομπής των συμβόλων, T είναι η στοιχειώδης περίοδος.

Το k δηλώνει τον αριθμό της εκάστοτε φέρουσας, το l είναι ο αριθμός του OFDM συμβόλου, το m είναι ο αριθμός του εκπεμπόμενου πλαισίου, το K είναι ο αριθμός των μεταδιδόμενων φερόντων (1705 για την 2K λειτουργία ή 6817 για την 8K λειτουργία), και T_u είναι η χρήσιμη διάρκεια του OFDM συμβόλου.

Το Δ είναι η διάρκεια του διαστήματος φύλαξης η προσθήκη του οποίου προστατεύει το σήμα από διασυμβολική παρεμβολή, η οποία προκαλείται από το φαινόμενο της πολυδιαδρομικής διάδοσης. Το διάστημα φύλαξης προηγείται του χρήσιμου μέρους και

είναι κυκλική περιοδική επέκταση του χρήσιμου μέρους γι' αυτό ονομάζεται κυκλικό πρόθεμα (cyclic prefix). Το μήκος του διαστήματος φύλαξης μπορεί να είναι 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 της χρονικής διάρκειας του χρήσιμου μέρους T_u .

Το $T_s = \Delta + T_u$ είναι η συνολική χρονική διάρκεια του OFDM συμβόλου, f_c είναι η κεντρική συχνότητα του RF σήματος, K_{\min} είναι ο δείκτης της φέρουσας με τη χαμηλότερη συχνότητα (0 και στη 2K και στην 8K λειτουργία). Αντίστοιχα το K_{\max} είναι η φέρουσα με τη μεγαλύτερη συχνότητα (1704 για την 2K και 6816 για την 8K λειτουργία αντίστοιχα).

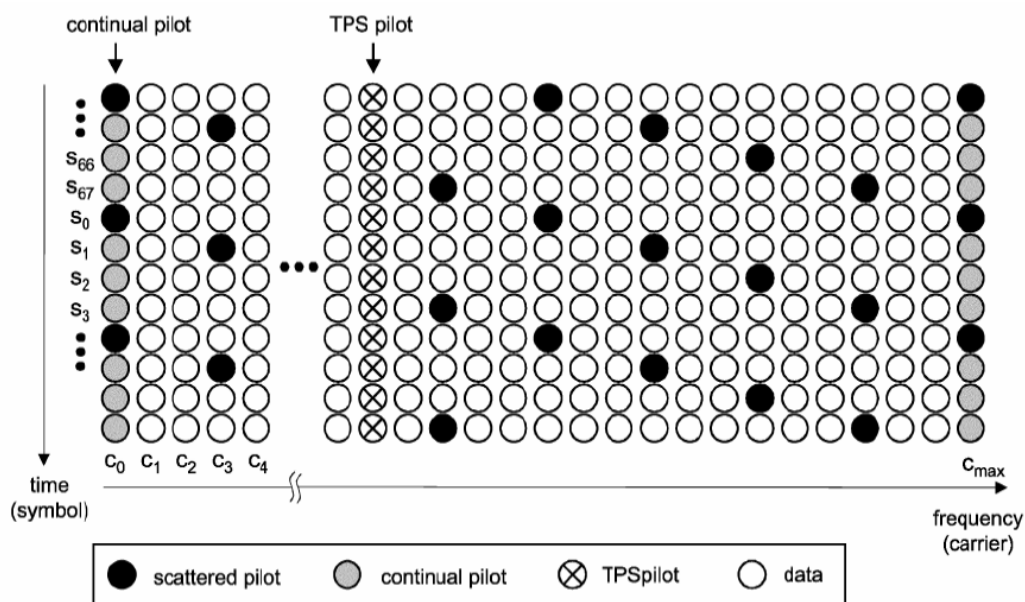
Το k' είναι ο αριθμός της φέρουσας κανονικοποιημένος ως προς την κεντρική συχνότητα και δίνεται από τον τύπο $k' = k - \left(\frac{K_{\max} - K_{\min}}{2} \right)$.

Τέλος το $c_{m,l-1,k}$ είναι το μιγαδικό σύμβολο που μεταδίδεται στο k -οστό φέρον, στο σύμβολο με αριθμό l , του πλαισίου με αριθμό m .

Το κάθε φέρον μπορεί να διαμορφωθεί είτε με QPSK, 16-QAM, είτε με 64-QAM. Το σύνολο των συμβόλων το οποίο μεταδίδεται ταυτόχρονα σε όλα τα φέροντα ονομάζεται OFDM σύμβολο. Τα σύμβολα αυτά ομαδοποιούνται και σχηματίζουν ένα OFDM πλαίσιο, το οποίο περιέχει 68 σύμβολα. Περαιτέρω, η ομαδοποίηση τεσσάρων πλαισίων οδηγούν στην δημιουργία ενός υπερ-πλασίου (super frame).

Εκτός των χρήσιμων συμβόλων που περιέχονται σε ένα πλαίσιο, το OFDM περιέχει και κάποια φέροντα τα οποία παραμένουν αδιαμόρφωτα. Αυτό συμβαίνει για να βοηθήσει τον δέκτη στη λήψη του σήματος καθώς επίσης και για να τον πληροφορήσει για τον τύπο διαμόρφωσης και τον ρυθμό κωδικοποίησης οι οποίοι εφαρμόζονται. Υπάρχουν οι συνεχής πιλότοι οι οποίοι έχουν μια σταθερή θέση, οι διεσπαρμένοι πιλότοι οι οποίοι μετατοπίζονται κατά τρεις θέσεις σε κάθε νέο σύμβολο και τέλος υπάρχουν και οι πιλότοι οι οποίοι ενημερώνουν για τις πληροφορίες της μετάδοσης (Transmission Parameter Signalling-TPS). Οι συνεχής πιλότοι μεταδίδονται έχοντας μεγαλύτερο επίπεδο ισχύος (boosted pilot) από τα υπόλοιπα φέροντα, και διαμορφώνονται από μια ψευδοτυχαία δυαδική ακολουθία. Οι πιλότοι αυτοί επιτρέπουν τον δέκτη να συγχρονιστεί καθώς επίσης και να κάνει μια εκτίμηση της κατάστασης του καναλιού, για να μπορέσει κατόπιν να διορθώσει τα όποια λάθη υπάρξουν στην μετάδοση. Οι TPS πιλότοι μεταδίδουν με πολύ χαμηλό ρυθμό όλες τις απαραίτητες παραμέτρους που αφορούν την μετάδοση, και διαμορφώνονται μέσω της αρκετά εύρωστης τεχνικής BPSK στην οποία μεταδίδεται ένα bit ανά σύμβολο. Επιτρέπουν στον δέκτη να

επιταχύνει την λήψη του σήματος καθώς επίσης και μια γρήγορη απόκριση αυτού σε τυχόν αλλαγές που θα συμβούν στον δίαυλο. Όλοι οι TPS πιλότοι μεταδίδουν ταυτόχρονα το ίδιο bit πληροφορίας. Ο μεγάλος αυτός πλεονασμός στην μεταδιδόμενη πληροφορία από τους TPS πιλότους καθιστά εφικτή την αποκωδικοποίηση της πληροφορίας που αυτοί μεταφέρουν ακόμα και όταν επικρατούν ιδιαίτερα δυσμενείς συνθήκες στον δίαυλο. Η TPS πληροφορία μεταδίδεται μια φορά σε κάθε πλαίσιο (68 σύμβολα) οπότε το μήκος της είναι 68bits. Τέλος οι διεσπαρμένοι πιλότοι έχουν και αυτοί αυξημένο επίπεδο ισχύος και βοηθάνε στον συγχρονισμό του δέκτη καθώς επίσης και στην εκτίμηση της κατάστασης του διαύλου. Η δομή του OFDM πλαισίου παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.4: Δομή OFDM πλαισίου.

Ανάλογα με τον ρυθμό μετάδοσης (8K ή 2K), τη μέθοδο ψηφιακής διαμόρφωσης, το ρυθμό κωδικοποίησης και τη διάρκεια του διαστήματος φύλαξης, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μπορεί να μεταβάλλεται από 4.98 έως 31.67Mbps. Οι πιθανές τιμές για όλους τους παραπάνω συνδυασμούς φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Modulation	Code rate	Guard interval			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
	3/4	14,93	16,59	17,56	18,10
	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,10
	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

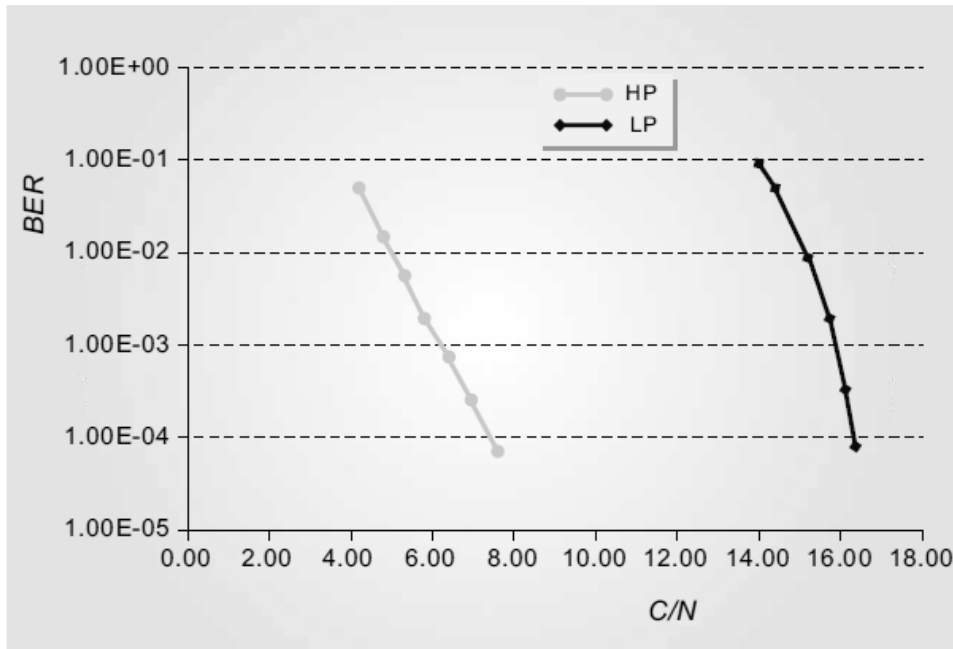
Σχήμα 5.5: Ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων.

5.4 Ιεραρχική Διαμόρφωση

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος DVB-T είναι η υποστήριξη της ιεραρχικής μετάδοσης. Η τεχνική αυτή βασίζεται στον διαμοιρασμό του σήματος το οποίο μεταδίδεται από το DVB-T σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος υποστηρίζει σχετικά χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης και χαμηλό ρυθμό κωδικοποίησης, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει λήψη του σήματος ακόμα και όταν ο CNR είναι αρκετά χαμηλός. Η επιλογή των παραπάνω παραμέτρων οδηγεί σε ένα σχήμα με μεγάλη ανθεκτικότητα στις παρεμβολές και εξασφαλίζει ότι η λήψη του σήματος θα γίνει ακόμα και όταν επικρατούν δυσμενείς συνθήκες στον δίαυλο. Το σήμα αυτό πρέπει σε κάθε περίπτωση να λαμβάνεται από τον δέκτη ώστε να παρέχεται η απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών και για αυτό τον λόγο ονομάζεται HP (High Priority). Το τίμημα της σταθερής λήψης είναι ότι η ποιότητα ήχου και εικόνας είναι απλά επαρκής (SDTV).

Παράλληλα με το HP, το δεύτερο μέρος υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, με υψηλούς ρυθμούς κωδικοποίησης και απαιτεί υψηλό CNR. Το σήμα αυτό λαμβάνεται όταν η κατάσταση που επικρατεί στο δίαυλο είναι αρκετά ευνοϊκή και μπορεί να παρέχει υψηλή ποιότητα υπηρεσιών όπως εικόνα HDTV. Επειδή η λήψη του σήματος αυτού δεν γίνεται πάντα από τον δέκτη (κακές καιρικές συνθήκες, ή όταν ο δέκτης βρίσκεται στα όρια της περιοχής κάλυψης) ονομάζεται LP (Low Priority). Και τα δύο αυτά σήματα μεταδίδονται ταυτόχρονα στο ίδιο κανάλι.

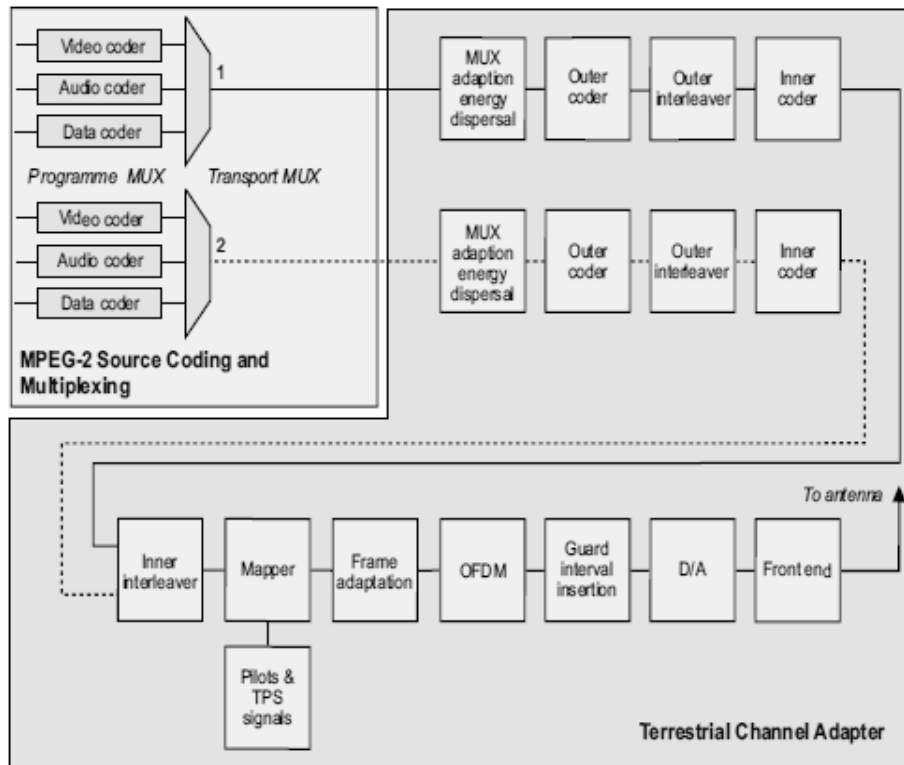
Στο παρακάτω σχήμα είναι εμφανής η διαφορά των δύο αυτών ροών όσον αφορά το CNR που απαιτείται για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου BER (Bit Error Ratio) ,όταν στην HP εφαρμόζεται QPSK διαμόρφωση και ρυθμός κωδικοποίησης 2/3, ενώ στην LP εφαρμόζεται 16-QAM και ρυθμός κωδικοποίησης 3/4.



Σχήμα 5 .6: Συμπεριφορά του συστήματος για HP/LP ροή.

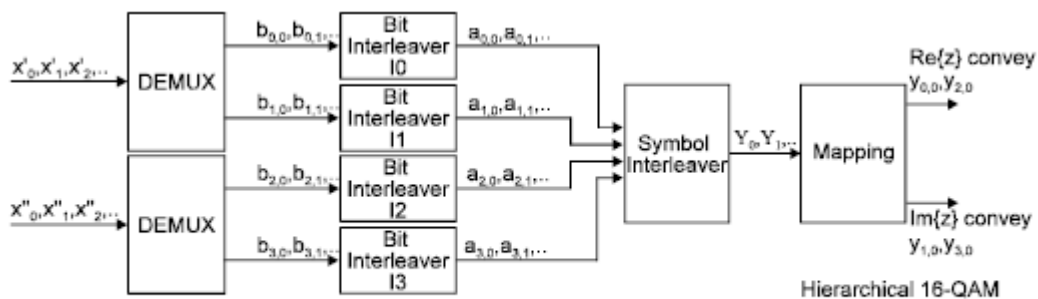
Στην ιεραρχική διαμόρφωση, διατηρώντας το ίδιο πλαίσιο μετάδοσης, μπορούμε να μεταδώσουμε δύο ροές δεδομένων την ίδια χρονική στιγμή. Η μία χρησιμοποιεί διαμόρφωση QPSK και χαμηλό ρυθμό κωδικοποίησης (συνήθως 1/2, 2/3), και η άλλη διαμορφώνεται είτε με 16-QAM είτε με 64-QAM και με υψηλότερο ρυθμό κωδικοποίησης (5/6, 7/8). Με την ιεραρχική διαμόρφωση το κάθε φέρον στο μεταδιδόμενο πλαίσιο περιέχει δύο ροές δεδομένων ταυτόχρονα, από τις οποίες η μία περιέχει την υψηλή ροή δεδομένων και πρέπει να προστατευτεί από τυχόν παρεμβολές, και η άλλη περιέχει την χαμηλή ροή δεδομένων με μικρότερη ανάγκη για προστασία.

Η δομή ενός συστήματος DVB-T στο οποίο χρησιμοποιείται ιεραρχική διαμόρφωση φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



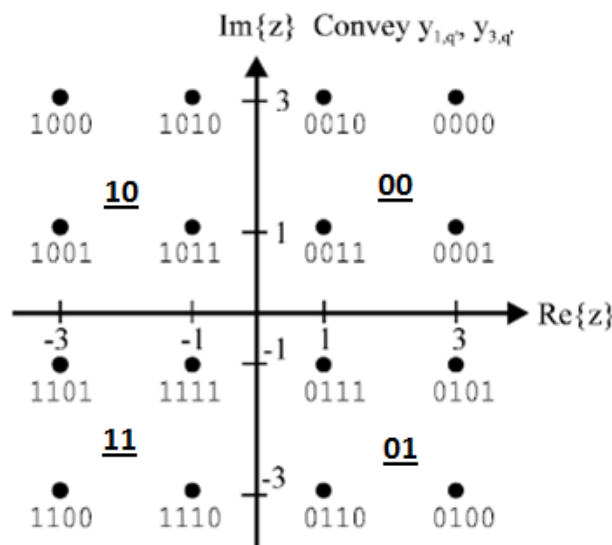
Σχήμα 5.7: DVB-T κωδικοποιητής, με υποστήριξη ιεραρχικής διαμόρφωσης.

Όπως φαίνεται από το σχήμα, οι δύο ροές δεδομένων να μεν ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές, αλλά οι βαθμίδες επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται είναι ίδιες. Η μόνη διαφορά εστιάζεται στον εσωτερικό κωδικοποιητή όπου επιλέγονται διαφορετικοί ρυθμοί κωδικοποίησης για τις δύο ροές. Τα δύο σήματα ενώνονται στον εσωτερικό διεμπλοκέα, και κατόπιν ακολουθούν κοινή διαδρομή. Η επανένωση των δύο σημάτων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.8: Επανένωση των ροών HP και LP.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει επιλεγεί η τεχνική διαμόρφωσης 16-QAM η οποία περιέχει τέσσερα bits ανά σύμβολο. Τα δύο από τα τέσσερα bits προέρχονται από την HP και τα υπόλοιπα δύο από την LP. Αντίστοιχα για την διαμόρφωση 64-QAM με έξι bits ανά σύμβολο, τα δύο bits αντιστοιχούν στην HP και τα υπόλοιπα τέσσερα στην LP ροή δεδομένων. Και στις δύο περιπτώσεις τα δύο MSB (Most Significant Bits) τα οποία αντιστοιχούν στην HP ροή προσδιορίζουν το εκάστοτε τεταρτημόριο στο οποίο βρίσκονται τα μεταδιδόμενα σύμβολα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.9: Σηματοστερισμός ιεραρχικής διαμόρφωσης 16QAM-QPSK.

Επομένως μπορούμε να πούμε ότι η ιεραρχική διαμόρφωση επιτρέπει την «ενσωμάτωση» ενός QPSK συμβόλου το οποίο αντιστοιχεί στην HP ροή, είτε σε ένα 16QAM είτε σε ένα 64-QAM σύμβολο. Όταν λοιπόν επικρατούν δυσμενείς καιρικές συνθήκες λαμβάνεται η ροή HP η οποία χρησιμοποιεί QPSK, ενώ υπό ευνοϊκές συνθήκες λαμβάνεται είτε η 64-QAM είτε η 16-QAM.

Η διαφορά μεταξύ των ροών HP και LP έγκειται στην διαφορετική ευαισθησία τους στο θόρυβο, και το γεγονός αυτό έχει αντίκτυπο στο μέγεθος της περιοχής κάλυψης. Συγκρινόμενο με το σχήμα της μη ιεραρχικής διαμόρφωσης, η HP ροή μπορεί να εφαρμοστεί για την κάλυψη μεγάλης γεωγραφικής περιοχής, ενώ αντίθετα η περιοχή κάλυψης της LP ροής είναι συγκριτικά μικρότερη. Η περιοχή που εξυπηρετείται από την ροή HP μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω με τη χρήση διαφορετικού παράγοντα διαμόρφωσης α . Ο παράγοντας α αναπαριστά την αναλογία μεταξύ της απόστασης δυο

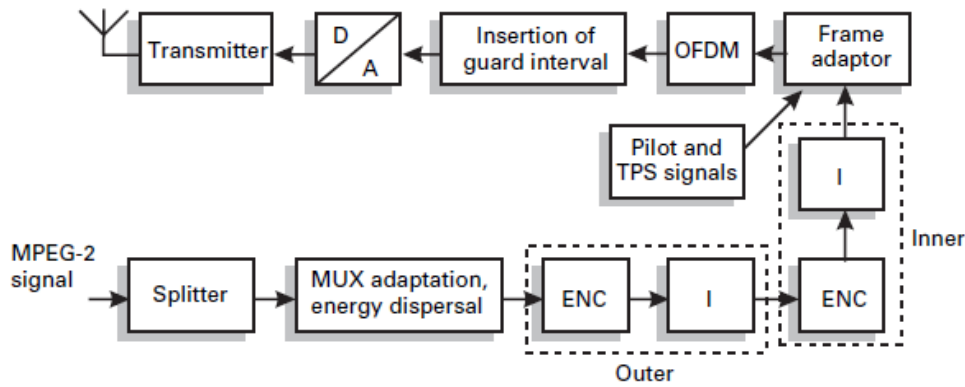
σημείων ενός σηματοστερισμού τα οποία βρίσκονται σε διαφορετικά τεταρτημόρια, καθώς επίσης και την απόσταση μεταξύ δύο σημείων τα οποία βρίσκονται στο ίδιο τεταρτημόριο. Όσο πιο κοντά βρίσκονται τα σημεία ενός σηματοστερισμού τόσο πιο ευαίσθητο είναι το σήμα απέναντι στο θόρυβο. Για μια δεδομένη διαμόρφωση QAM, αύξηση στον παράγοντα α οδηγεί σε αύξηση της μέσης εκπεμπόμενης ισχύς και άρα σε αύξηση της γεωγραφικής κάλυψης. Αντίστοιχα για μια δεδομένη ισχύς εκπομπής, διπλασιασμός του παράγοντα α , οδηγεί σε αύξηση του απαιτούμενου CNR στον δέκτη για την αποκωδικοποίηση των QAM συμβόλων περίπου κατά 4dB. Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι μια αύξηση του παράγοντα α , καθιστά την ροή HP ακόμα πιο ανθεκτική στις παρεμβολές, ενώ η ροή LP γίνεται πιο επιρρεπής στην παρουσία θορύβου.

Στην αρχή της ανάπτυξης του DVB-T, η ιεραρχική διαμόρφωση αντιμετωπίστηκε με σκεπτικισμό καθώς θα αύξανε σημαντικά το κόστος του αποκωδικοποιητή του δέκτη, παρόλαυτα με την πάροδο των χρόνων η τεχνική αυτή υιοθετήθηκε στο DVB-T.

Το μεγάλο πλεονέκτημα που παρέχει η μέθοδος της ιεραρχικής διαμόρφωσης είναι η λήψη του σήματος ακόμα και υπό δυσμενείς συνθήκες (λήψη HP ροής), σε συνδυασμό με την παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών σε ευνοϊκές συνθήκες (LP λήψη).

5.5 Μετάδοση στο DVB-T

Για την μετάδοση του σήματος στο κανάλι, το σήμα βασικής ζώνης πρέπει πρώτα να περάσει από μια διαδικασία κωδικοποίησης και διαμόρφωσης. Η τεχνική διόρθωσης σφαλμάτων είναι απαραίτητη για να μπορέσει ο δέκτης να διορθώσει τα σφάλματα τα οποία μπορεί να προέλθουν είτε από την παρουσία θορύβου, είτε από άλλες διαταραχές στο κανάλι μετάδοσης. Επιπλέον πρέπει να παρέχεται μια μέθοδος συγχρονισμού. Το δομικό διάγραμμα για ένα DVB-T κωδικοποιητή φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



Σχήμα 5.10: Μπλοκ διάγραμμα DVB-T κωδικοποιητή.

Τα συστήματα DVB-T, DVB-S, DVB-C χρησιμοποιούν τις ίδιες διαδικασίες κωδικοποίησης. Λόγω αυτού οι τέσσερις πρώτες βαθμίδες στο παραπάνω διάγραμμα είναι ίδιες για αυτά τα συστήματα. Ο εσωτερικός κωδικοποιητής είναι απαραίτητος μόνο στα επίγεια και δορυφορικά συστήματα. Οι βαθμίδες του συστήματος εκπομπής του DVB-T αναλύονται περιληπτικά παρακάτω.

Διαχωριστής Σήματος (Signal Splitter).

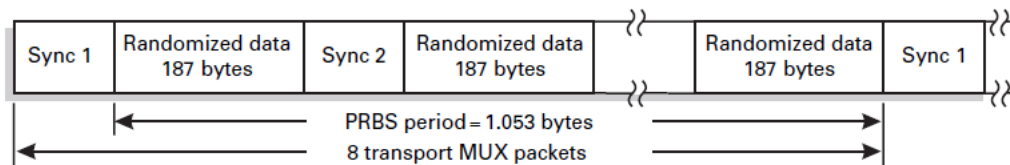
Στο DVB-T το εισερχόμενο σήμα διαχωρίζεται σε δύο διαφορετικές ροές, οι οποίες περιέχουν διαφορετικό περιεχόμενο, έτσι ώστε να υποστηρίζεται η τεχνική της ιεραρχικής διαμόρφωσης. Η μία ροή μπορεί να περιέχει ένα SDTV σήμα και το άλλο μπορεί να είναι σχεδιασμένο για την παροχή κινητής υπηρεσίας ή HDTV. Σε περίπτωση που δεν υποστηρίζεται ιεραρχική διαμόρφωση, υπάρχει μόνο μία ροή δεδομένων και για αυτό το λόγο εμφανίζεται στην μία από τις δύο εξόδους του διαχωριστή, το αρχικό σήμα. Στο DVB-T ο εισερχόμενος ρυθμός του σήματος είναι μεταβλητός ανάλογα με τις ρυθμίσεις του συστήματος. Συνεπώς τα σχήματα διαμόρφωσης με λιγότερα σύμβολα και μικρούς ρυθμούς κωδικοποίησης στον εσωτερικό κωδικοποιητή, σημαίνουν χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης για το εισερχόμενο ψηφιακό σήμα. Για παράδειγμα, η χρήση QPSK διαμόρφωσης, (τέσσερα σύμβολα) οδηγεί σε χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης συγκρινόμενη με την 16QAM (16 σύμβολα) ή με την 64QAM (64 σύμβολα). Σύμφωνα με την ίδια λογική ένας ρυθμός κωδικοποίησης $1/2$ οδηγεί σε χαμηλότερο ρυθμό δεδομένων σε σχέση με ένα κωδικοποιητή που χρησιμοποιεί ρυθμό $3/4$.

Η χρήση διακριτής διαμόρφωσης σε συνδυασμό με τους διαφορετικούς ρυθμούς κωδικοποίησης δεν αλλάζει μόνο τον χρήσιμο ρυθμό μετάδοσης αλλά και την αντοχή

του σήματος στις παρεμβολές. Συνήθως για το διαμορφωμένο σήμα, όσο πιο ανθεκτικό είναι στις παρεμβολές τόσο μικρότερος είναι και ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων.

Διασπορά Ενέργειας και προσαρμογή πολυπλεξίας (MUX adaptation and energy dispersal).

Τα δεδομένα του σήματος βασικής ζώνης, συνδυάζονται με μία ροή δεδομένων τα οποία παράγονται από μια γεννήτρια θορύβου ψευδοτυχαίας ακολουθίας, η οποία υλοποιείται από έναν καταχωρητή ολίσθησης. Η διεργασία αυτή γίνεται έτσι ώστε να επιτύχουμε επίπεδη κατανομή του φάσματος ισχύος. Μόνο τα byte συγχρονισμού του πακέτου TS (Transmission Stream) το οποίο δημιουργείται κατά την MPEG-2 κωδικοποίηση, δεν λαμβάνει μέρος σε αυτή τη διαδικασία, έτσι ώστε να διατηρήσει την πληροφορία για το συγχρονισμό. Μετά την διαδικασία της τυχαιοποίησης (randomization process) τα πακέτα δεδομένων οργανώνονται όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, και προωθούνται στη βαθμίδα του εξωτερικού κωδικοποιητή. Ο αποκωδικοποιητής ενημερώνονται για την αρχή της ακολουθίας δεδομένων, μέσω ενός ανεστραμμένου byte συγχρονισμού.

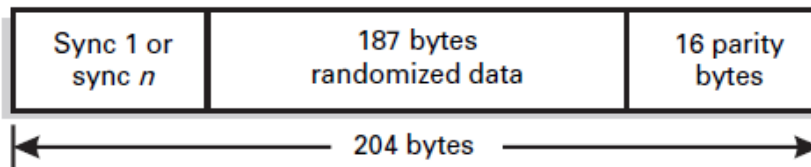


Σχήμα 5.11: Πλαίσιο μετά την διασπορά ενέργειας.

Εξωτερικός Κωδικοποιητής (Outer Encoder).

Η κύρια λειτουργία του εξωτερικού κωδικοποιητή είναι να επιτρέψει στον δέκτη να αναγνωρίσει και να διορθώσει τυχόν λάθη τα οποία θα υπάρξουν στο αποδιαμορφωμένο ψηφιακό σήμα. Είναι εφοδιασμένος με ένα μπλοκ κώδικα ο οποίος προορίζεται για διόρθωση του κάθε byte ξεχωριστά. Για κάθε πακέτο TS υπολογίζονται τα εκάστοτε bit που απαιτούνται για διόρθωση. Το αποτέλεσμα είναι ένα πρόσθετο τμήμα με bytes το οποίο προστίθεται στο TS πακέτο. Ο κωδικοποιητής που χρησιμοποιείται είναι Reed-Solomon (255,239). Αυτό σημαίνει ότι 16 bytes διόρθωσης (255-239=16) προστίθεται στα 239 bytes της πληροφορίας. Καθώς το TS πακέτο έχει μήκος 188 bytes, τα πρώτα 51 λαμβάνουν την τιμή μηδέν και δεν μεταδίδονται, αλλά χρησιμοποιούνται για έλεγχο

ισοτιμίας (parity check). Λόγω των παραπάνω, δημιουργείται τελικώς ένας Reed-Solomon (204,188) κώδικας ο οποίος μπορεί να διορθώσει μέχρι και οχτώ bytes ανά πακέτο δεδομένων. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται τα πακέτα δεδομένων στην έξοδο του κωδικοποιητή, τα οποία προστατεύονται από 16 bits ισοτιμίας.



Σχήμα 5.12: Πλαίσιο μετά την κωδικοποίηση Reed-Solomon.

Εξωτερικός διεμπλοκέας (Outer Interleaver).

Στο DVB-T χρησιμοποιείται συνελκτικός διεμπλοκέας ο οποίος αναδιατάσσει τα bytes με σκοπό να γίνει ευκολότερη η διόρθωση σφαλμάτων στις ριπές. Υλοποιείται με 11 καταχωρητές ολίσθησης και εισάγει τουλάχιστον 204 bytes ανάμεσα από διαδοχικά bytes. Αυτή η αναδιάταξη επιτρέπει στο δέκτη να καταναίμει ομοιόμορφα τα εκάστοτε λάθη τα οποία προκαλούνται σε μια μετάδοση. Τέλος η διαδικασία αυτή δεν αλλάζει τον ρυθμό δεδομένων των bit του εισερχόμενου σήματος. Μετά την αναδιάταξη των bytes η οποία έχει βάθος $I=12$ η δομή των πακέτων είναι η εξής:



Σχήμα 5.13: Πλαίσιο μετά την εξωτερική διεμπλοκή.

Εσωτερικός Κωδικοποιητής (Inner Encoder).

Στα DVB-S και DVB-T συστήματα ο εσωτερικός κωδικοποιητής είναι απαραίτητος λόγω της εξασθένησης η οποία δημιουργείται στο κανάλι. Η λειτουργία του κωδικοποιητή συμπληρώνει την κωδικοποίηση Reed-Solomon η οποία εφαρμόζεται στον εξωτερικό κωδικοποιητή. Αυτό σημαίνει ότι επιτρέπει στον δέκτη να αναγνωρίσει και να διορθώσει τα τυχόν λάθη τα οποία θα προκύψουν λόγω παρεμβολών στο κανάλι. Ένας συνελκτικός κώδικας με βασικό ρυθμό κωδικοποίησης $1/2$ χρησιμοποιείται για την επίτευξη του σκοπού αυτού. Για κάθε ένα bit εισόδου, παράγονται δύο bit εξόδου

από τον κωδικοποιητή. Η ροή δεδομένων τροφοδοτείται με ένα bit εισόδου κάθε φορά με τη χρήση ενός καταχωρητή ολίσθησης, και οι δύο ροές από bit δημιουργούνται από συγκεκριμένες θέσεις του καταχωρητή ολίσθησης. Η υψηλή ποσότητα των πλεοναζόντων ψηφίων τα οποία προκύπτουν από την χρήση του ρυθμού κωδικοποίησης $1/2$ μπορεί να μειωθεί με την χρήση τεχνικών διάτρητης κωδικοποίησης (punctured coding), με την οποία δεν μεταδίδονται κάποια από τα παραγόμενα bits στο κανάλι. Η τεχνική της διάτρητης κωδικοποίησης χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με συνελκτικούς κώδικες, επιτρέποντας την επίτευξη διάφορων ρυθμών κωδικοποίησης με την χρήση ενός και μόνο κωδικοποιητή. Το DVB-T υποστηρίζει τους εξής ρυθμούς κωδικοποίησης: $1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$, και $7/8$.

Εσωτερικός Διεμπλοκέας (Inner Interleaver)

Ο ρόλος του εσωτερικού διεμπλοκέα είναι η αντιμετώπιση των διαλείψεων επιλεκτικών ως προς τη συχνότητα, οι οποίες προκαλούνται λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης. Είναι σχεδιασμένος κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποδίδει καλύτερα για ένα δεδομένο μέγεθος μνήμης, και συγκεκριμένη πολυπλοκότητα, και υλοποιείται από τον συνδυασμό ενός διεμπλοκέα bit και ενός διεμπλοκέα συμβόλου. Ο διεμπλοκέας bit συνδυάζει 126 διαδοχικά bits σε ένα πλαίσιο (μπλοκ). Κατόπιν ο διεμπλοκέας συμβόλου με την βοήθεια μιας ψευδοτυχαίας ακολουθίας αλλάζει την ακολουθία των συμβόλων, και τα τοποθετεί στη σωστή σειρά για την δημιουργία ενός OFDM συμβόλου.

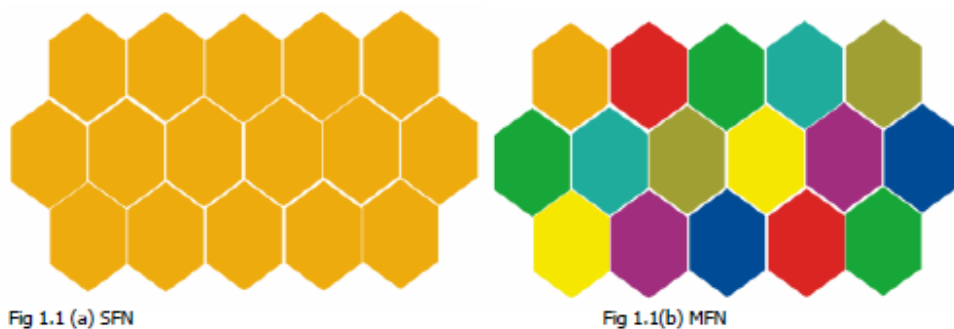
Σε γενικές γραμμές, η λειτουργία του εσωτερικού διεμπλοκέα είναι παρόμοια με αυτήν του εξωτερικού. Δηλαδή χρησιμοποιείται για την αποφυγή των σφαλμάτων στις ριπές τα οποία εισάγονται κατά την μετάδοση, και μειώνουν την ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος. Η λειτουργία του εσωτερικού διεμπλοκέα απεικονίζεται στο σχήμα 5.8.

Έπειτα από τον εσωτερικό διεμπλοκέα, το σήμα ομαδοποιείται σε ένα πλαίσιο με την προσθήκη τόνων πιλότων, διαμορφώνεται κατά OFDM και επιλέγεται το κατάλληλο διάστημα φύλαξης. Επιπλέον, μετατρέπεται από αναλογικό σε ψηφιακό και τέλος προωθείται στον πομπό για εκπομπή. Τέλος για τη λήψη στο δέκτη, ακολουθεί η αντίστροφη διαδικασία, από αυτήν που περιγράψαμε για την εκπομπή.

5.6 Δίκτυα SFN

Η χρήση της διαμόρφωσης COFDM επιτρέπει την ανάπτυξη δικτύων μονής συχνότητας (Single Frequency Networks-SFN), δηλαδή την κάλυψη μιας μεγάλης περιοχής από πολλές διαφορετικές κεραιές οι οποίες εκπέμπουν το ίδιο σήμα στην ίδια συχνότητα. Η περιοχή κάλυψης μπορεί να εκτείνεται σε όλη την χώρα (National SFN) ή σε κάποιο τμήμα αυτής (Regional SFN). Η παραδοσιακή αναλογική τηλεόραση χρησιμοποιεί πολλούς πομπούς με διαφορετικές συχνότητες, προκειμένου να καλύψουν την περιοχή λειτουργία τους. Τα δίκτυα αυτά αναφέρονται ως δίκτυα πολλών συχνοτήτων (Multi Frequency Networks-MFN). Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτών των δικτύων είναι η μη αποδοτική χρήση του διαθέσιμου φάσματος καθώς για την κάλυψη μια περιοχής πρέπει να διατεθούν αρκετές συχνότητες. Σε ένα SFN δίκτυο όλοι οι πομποί λειτουργούν στην ίδια συχνότητα. Για το λόγο αυτό το SFN απαιτεί πολύ μικρότερο φάσμα λειτουργίας συγκριτικά με τα MFN δίκτυα στα οποία πρέπει να γίνει κατανομή συχνοτήτων.

Η κατανομή των συχνοτήτων για τα δίκτυα SFN-MFN φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.14: Κατανομή συχνοτήτων σε SFN/MFN δίκτυα.

Για την σωστή λειτουργία ενός SFN δικτύου πρέπει να πληρούνται τρεις προϋποθέσεις:

1. Η χρησιμοποίηση της ίδιας συχνότητας.
2. Οι πομποί να είναι χρονικά συγχρονισμένοι μεταξύ τους.
3. Να μεταδίδονται τα ίδια OFDM σύμβολα

Σε ένα SFN δίκτυο όλοι οι πομποί διαμορφώνουν ταυτόχρονα το ίδιο σήμα και εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα. Λόγω της ικανότητας της διαμόρφωσης COFDM να

αντιμετωπίζει το φαινόμενο της πολυδιαδρομικής διάδοσης, τα σήματα από διαφορετικούς σταθμούς τα οποία καταφθάνουν σε ένα δέκτη συνεισφέρουν θετικά στην ανακατασκευή του επιθυμητού σήματος.

Παρόλαυτα οι διασυμβολικές παρεμβολές σε ένα SFN δίκτυο δεν εξαλείφονται εντελώς. Για παράδειγμα όταν ένα σήμα το οποίο εκπέμπεται από ένα απομακρυσμένο σταθμό βάσης καθυστερεί περισσότερο από ότι του επιτρέπεται από το διάστημα φύλαξης, εμφανίζεται στον δέκτη περισσότερο σαν θόρυβος παρά σαν συνιστώσα του επιθυμητού σήματος. Η ισχύς της παρεμβολής αυτής εξαρτάται από τις συνθήκες διάδοσης οι οποίες διαφοροποιούνται με την πάροδο του χρόνου καθώς επίσης και από την απόσταση των σταθμών βάσης. Όσο πιο μακριά βρίσκονται οι σταθμοί βάσης από τον δέκτη τόσο μεγαλύτερη είναι η χρονική αυτή καθυστέρηση. Για την αντιμετώπιση της παρεμβολής αυτής πρέπει να αυξηθεί το διάστημα φύλαξης. Σαν εμπειρικός κανόνας για την μείωση της παρεμβολής αυτής σε αποδεκτά επίπεδα, το διάστημα φύλαξης πρέπει να επιτρέπει την διάδοση του σήματος μεταξύ δύο σταθμών βάσης του δικτύου. Σε περίπτωση όπου οι παραπάνω τεχνικές αντιμετώπισης της διασυμβολικής παρεμβολής δεν αποδίδουν και υπάρχουν κάποια κενά όσον αφορά την κάλυψη μιας περιοχής τότε είναι εύκολη η εισαγωγή επιπλέον πομπών οι οποίοι λειτουργούν στην ίδια συχνότητα. Η ίδια τεχνική εφαρμόζεται και για την αντιμετώπιση φαινομένων σκίασης: Ένας πομπός τοποθετείται σε κάποιο σημείο όπου διασφαλίζεται η οπτική επαφή με έναν αναμεταδότη του SFN αλλά και με την περιοχή όπου η λήψη δεν είναι καλή λόγω σκίασης. Ο αναμεταδότης αυτός λαμβάνει το σήμα από τον πομπό SFN και το επανεκπέμπει προς την επιθυμητή περιοχή κάλυψης με χαμηλή ισχύ ώστε να μην επηρεάζεται το υπόλοιπο δίκτυο. Ο πομπός αυτός λειτουργεί σαν απλός αναμεταδότης καθώς η εκπεμπόμενη συχνότητα είναι η ίδια με αυτήν που λαμβάνει σαν είσοδο, χωρίς να χρειαστεί να γίνει μετατόπιση συχνότητας, και αυτό συμβαίνει για τη μείωση του χρόνου αναμετάδοσης.

Η SFN τεχνική χρησιμοποιεί πιο αποδοτικά και την διαθέσιμη ισχύ. Στα συνηθισμένα δίκτυα και πιο συγκεκριμένα, όταν μεταδίδει ένας και μόνος πομπός (MFN δίκτυα), ένας συνηθισμένος τρόπος για την παροχή αδιάλειπτων υπηρεσιών σε μεγάλη γεωγραφική περιοχή, είναι η παροχή μεγάλου περιθωρίου διαλείψεων το οποίο οδηγεί με τη σειρά του σε σημαντική αύξηση της ισχύος του πομπού. Αντίθετα στα SFN δίκτυα όπου το επιθυμητό σήμα αποτελείται από πολλές διαφορετικές συνιστώσες (διαφορετικοί σταθμοί βάσης) όταν υπάρξει κάποια διακύμανση στην ισχύ που λαμβάνει ο δέκτης εξαιτίας της μειωμένης ισχύος ενός πομπού (διαλείψεις, μεγάλη απόσταση) τότε είναι δυνατόν ένας ή περισσότεροι σταθμοί βάσης να αυξήσουν την

ισχύ τους έτσι ώστε να καλύψουν αυτήν την μείωση. Η παραπάνω ιδιότητα οδηγεί σε μικρές διακυμάνσεις της λαμβανόμενης ισχύς στον δέκτη. Επομένως τα δίκτυα SFN είναι σε θέση να αναπτύξουν πομπούς χαμηλής ισχύος. Η αποδοτικότητα αυτή όσον αφορά την εκμετάλλευση της διαθέσιμης ισχύς στα SFN δίκτυα είναι αρκετά σημαντική στα όρια περιοχής κάλυψης ενός σταθμού βάσης και συχνά αναφέρεται σαν κέρδος δικτύου (network gain). Το πλεονέκτημα αυτό προκύπτει όταν χρησιμοποιούνται δέκτες με ομοιοκατευθυντικές και χαμηλού κέρδους κεραίες (λήψη από κινητούς σταθμούς). Αντίστοιχα στα MFN δίκτυα για να επιτευχθεί αντίστοιχο κέρδος πρέπει ο κινητός σταθμός να συντονιστεί στη συχνότητα η οποία παρέχει την μεγαλύτερη διαθέσιμη ισχύ. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα, όταν επικρατούν δυσμενείς συνθήκες στον διάλο ή όταν ο δέκτης μετακινείται σε άλλη τοποθεσία και πρέπει να συντονιστεί στο νέο σταθμό βάσης. Στα SFN δίκτυα κάτι τέτοιο δεν είναι απαραίτητο καθώς δεν απαιτείται εκ νέου συντονισμός και έτσι επιτυγχάνεται ουσιαστικά διαφορεική λήψη στην ίδια συχνότητα (on-frequency diversity).

Τέλος οι πομποί σε ένα SFN δίκτυο θα πρέπει να είναι απολύτως χρονικά συγχρονισμένοι μεταξύ τους. Οποιαδήποτε απόκλιση στις ραδιοσυχνότητες που εκπέμπουν οι πομποί δημιουργούν απώλεια ορθογωνιότητας μεταξύ των OFDM καναλιών και μειώνουν την αντοχή του συστήματος σε φαινόμενα ολίσθησης συχνότητας, λόγω του φαινομένου Doppler. Για την επίτευξη του χρονικού συγχρονισμού χρησιμοποιείται το σύστημα GPS, το οποίο παρέχει αρκετή ακρίβεια για το σκοπό αυτό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

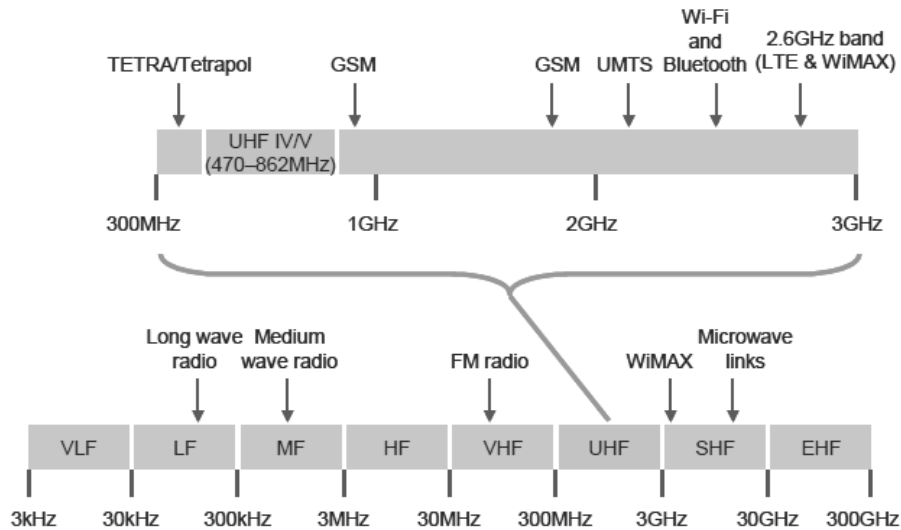
ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΕΡΙΣΜΑ

6.1 Εισαγωγή στην 470-862MHz ζώνη συχνοτήτων

Η UHF ζώνη συχνοτήτων εκτείνεται από τα 300MHz μέχρι και τα 3GHz. Έπειτα από την συμφωνία της Στοκχόλμης το 1961, τα αναλογικά τηλεοπτικά σήματα εκπέμπονται χρησιμοποιώντας τις συχνότητες 470-862MHz, οι οποίες διαχωρίζονται στις ζώνες IV (470-582MHz) και V (582-862MHz). Εκτός από τις UHF συχνότητες σε πολλές χώρες παγκοσμίως χρησιμοποιείται επίσης και η ζώνη 174-230MHz (VHF- ζώνη III) για την εκπομπή τηλεοπτικού σήματος.

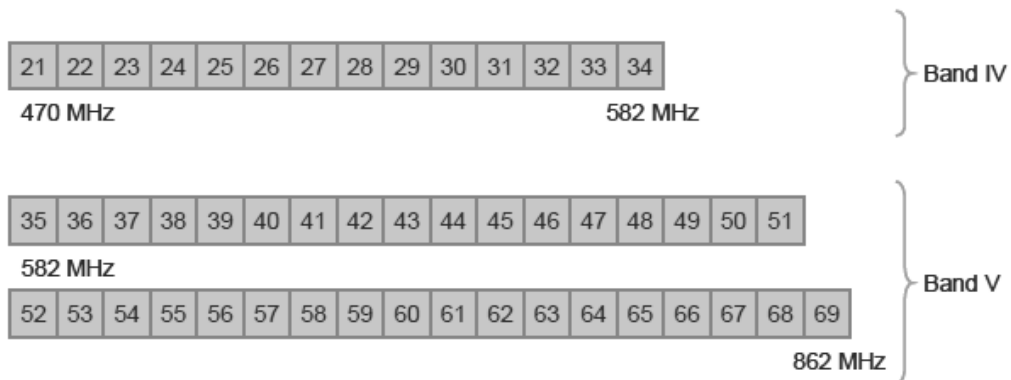
Η UHF ζώνη συχνοτήτων και ιδιαίτερα το φάσμα των 470-862MHz, θεωρείται ως το πιο πολύτιμο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων. Αυτό συμβαίνει διότι παρέχει μια ισορροπία μεταξύ της κάλυψης, της χωρητικότητας και την ευκολία ανάπτυξης του απαιτούμενου εξοπλισμού, τα οποία αποδεικνύονται ιδιαίτερα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Η περιοχή των συχνοτήτων αυτών έχει «δυνατά» χαρακτηριστικά διάδοσης, το οποίο σημαίνει ότι τα σήματα διαδίδονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις, και διεισδύουν βαθύτερα στα κτίρια, συγκριτικά με σήματα υψηλότερων συχνοτήτων. Επίσης το μέγεθος των κεραιών για τις συχνότητες 470-862MHz κυμαίνεται σε λογικά επίπεδα, και επίσης παρέχει την δυνατότητα για την ανάπτυξη εσωτερικών κεραιών για μικρές συσκευές (κινητά τηλέφωνα). Κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό για χαμηλότερες συχνότητες.

Η κατανομή των συχνοτήτων του ραδιοφάσματος, καθώς επίσης και οι υπηρεσίες οι οποίες αναπτύσσονται σε κάθε ζώνη, απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 6.1: Κατανομή του ραδιοφάσματος. [18]

Όπως φαίνεται από σχήμα 6.2 οι συχνότητες 470-862MHz διαιρούνται σε 49 κανάλια, όπου το κάθε ένα από αυτά έχει εύρος ζώνης 8MHz. Τα κανάλια αυτά αριθμούνται από το 21 έως το 69, όπου τα κανάλια από το 21-34 ανήκουν στην ζώνη IV και τα κανάλια 35-69 ανήκουν στην ζώνη V.



Σχήμα 6.2: Κατανομή καναλιών στις συχνότητες 470-862MHz. [18]

6.2 Η ψηφιακή μετάβαση

6.2.1 Διεθνείς αποφάσεις για την χρήση της ζώνης 470-862MHz

Όπως είδαμε στο πέμπτο κεφάλαιο, παρόλο που το πρώτο DVB-T δίκτυο λειτούργησε στη Μ.Βρετανία το 1998, το τοπίο όσον αφορά τις συχνότητες λειτουργίας της ψηφιακής τηλεόρασης παρέμενε θολό μέχρι και το 2006. Τη χρονιά αυτή έλαβε χώρα στην Γενεύη (GE06) η Περιφερειακή Διάσκεψη Ραδιοεπικοινωνιών (Regional Radiocommunication Conference-RRC 06) υπό την αιγίδα της ITU, στην οποία συμμετείχαν οι χώρες οι οποίες ανήκουν στην περιοχή 1. Η περιοχή 1 η οποία έχει καθοριστεί από την ITU καλύπτει την Ευρώπη, την Ασία και μερικές χώρες της ανατολικής Ευρώπης περιλαμβάνοντας συνολικά 120 χώρες. Στην διάσκεψη αυτή υιοθετήθηκε μια νέα συμφωνία, όσον αφορά την κατανομή των συχνοτήτων της ψηφιακής τηλεόρασης, και την αντικατάσταση του αναλογικού πλάνου εκπομπής. Η συμφωνία αυτή, προσδιορίζει ότι οι συχνότητες οι οποίες ανήκουν στις ζώνες III,IV, και V, θα χρησιμοποιηθούν στο μέλλον για επίγεια ψηφιακή τηλεοπτική εκπομπή. Πρακτικά η συμφωνία της Γενεύης, είναι ένα σύνολο κανονισμών για τη λειτουργία της ψηφιακής τηλεόρασης, και πρόκειται να τεθεί σε εφαρμογή από τη στιγμή που θα σταματήσει η αναλογική τηλεοπτική μετάδοση. Μάλιστα, καθιστά σαφές ότι οι αναλογικές τηλεοπτικές υπηρεσίες στις ζώνες IV και V δεν θα προστατεύονται από τυχόν παρεμβολές (λόγω της μετάδοσης ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος) μετά την 17η Ιουνίου του 2015. Στη διάσκεψη αυτή αποφασίστηκε εκτός των άλλων και η προστασία των διάφορων άλλων υπηρεσιών οι οποίες λειτουργούν στις συχνότητες 470-862MHz (όπως ραδιοαστρονομία στο κανάλι 38). Το επόμενο βήμα για τον καθορισμό της χρησιμοποίησης των συχνοτήτων στη ζώνη V έγινε το 2007 στην Παγκόσμια Διάσκεψη Ραδιοεπικοινωνιών (World Radiocommunication Conference- WRC-07) στη Γενεύη. Στη διάσκεψη αυτή η ζώνη συχνοτήτων 790-862MHz αναγνωρίστηκε σαν η κυριότερη ζώνη για την ανάπτυξη προηγμένων κινητών τεχνολογιών, όπως ασύρματη ευρυεκπομπή. Στην Ευρώπη, ο οργανισμός CEPT (Conference Europeenne des Administrations des Postes et des Telecommunications) αναπτύσσει λεπτομερή σχέδια για τη διευκόλυνση παροχής κινητών υπηρεσιών σε αυτό το φάσμα, σε εναρμονισμένη αλλά όχι υποχρεωτική βάση. Το πεδίο εργασιών της CEPT καλύπτει τεχνικά χαρακτηριστικά για κινητές υπηρεσίες, ρύθμιση διαύλων και θέματα διασυνοριακού συντονισμού.

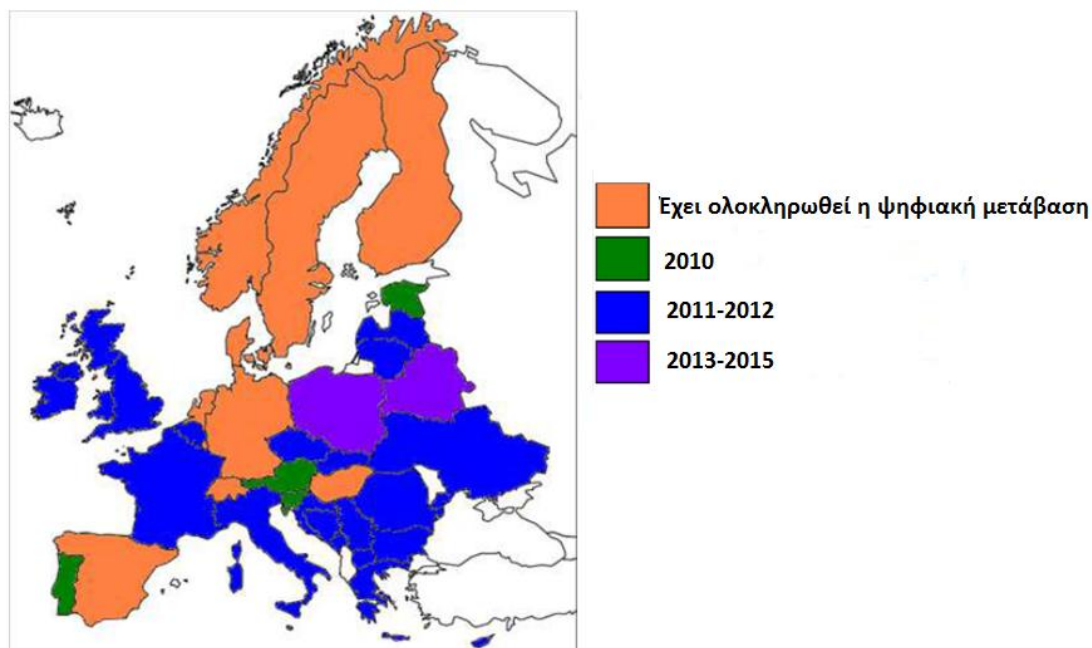
6.2.2 Η ψηφιακή μετάβαση και η τρέχουσα κατάσταση στην Ευρώπη

Με την χρήση σύγχρονων τεχνολογιών συμπίεσης και κωδικοποίησης, είναι εφικτή η σημαντική αύξηση της μεταφερόμενης πληροφορίας σε ένα ψηφιακό σήμα, συγκριτικά με το αντίστοιχο αναλογικό. Ένας τηλεοπτικός ψηφιακός πολυπλέκτης, κωδικοποιεί, συνδυάζει και μεταδίδει αρκετά τηλεοπτικά προγράμματα σε ένα μόνο δίαυλο ο οποίος έχει εύρος ζώνης 8MHz, όσο δηλαδή καταλαμβάνει και το αναλογικό τηλεοπτικό σήμα. Με τον τρόπο αυτό παρέχονται περισσότερες τηλεοπτικές υπηρεσίες, χρησιμοποιώντας το ίδιο εύρος ζώνης το οποίο απαιτείται για την αναλογική μετάδοση. Η μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεοπτική εκπομπή, ονομάζεται ψηφιακή μετάβαση (digital switchover).

Οι τηλεοπτικοί πάροχοι είναι οι κύριοι υπεύθυνοι για την ψηφιακή μετάβαση, και για το λόγο αυτό έχουν κάνει σημαντικές επενδύσεις σε τεχνολογίες ψηφιακής τηλεόρασης και ραδιοφώνου. Η ψηφιακή επίγεια τηλεόραση (Digital Terrestrial Television-DTT) επιτρέπει στους παρόχους να προσφέρουν υπηρεσίες υψηλής ποιότητας οι οποίες απευθύνονται, σε όλο το εύρος του πληθυσμού, κάνοντας αποδοτική χρήση του φάσματος. Η DTT είναι η ταχύτερα αναπτυσσόμενη ψηφιακή πλατφόρμα στην Ευρώπη, έχοντας επικρατήσει στη μάχη με άλλα τηλεοπτικά πρότυπα εκπομπής (δορυφορικά, καλωδιακά). Χωρίς την επιτυχία της DTT η ψηφιακή μετάβαση θα ήταν σχεδόν αδύνατη.

Όσον αφορά την Ευρώπη, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή τον Μάιο του 2005 εξέδωσε κοινοτική οδηγία για την μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση. Η οδηγία αυτή έθετε το 2012 σαν τελική προθεσμία για την πλήρη κατάργηση των αναλογικών τηλεοπτικών εκπομπών. Επίσης προσδοκούσε ότι μέχρι το τέλος του 2010, η διαδικασία της ψηφιακής μετάβασης θα έπρεπε να έχει προχωρήσει σε μεγάλο βαθμό, σε όλα τα κράτη μέλη. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονίσουμε την διαφορά της κοινοτικής οδηγίας με τη συμφωνία της Γενεύης (GE-06) όπου προέβλεπε την πλήρη ψηφιακή μετάβαση των χωρών της περιοχής 1 το αργότερο μέχρι το 2015.

Η χρονική διάρκεια για την ψηφιακή μετάβαση στην Ευρώπη παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 6.3: Η ψηφιακή μετάβαση στην Ευρώπη. [20]

Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα μόλις 10 χώρες (Γερμανία, Λουξεμβούργο, Δανία, Ολλανδία, Ελβετία, Ισπανία, Νορβηγία, Σουηδία, Φινλανδία, Ουγγαρία) έχουν καταφέρει να ολοκληρώσουν την ψηφιακή μετάβαση, τέσσερις χώρες (Εσθονία, Αυστρία, Σλοβενία, Πορτογαλία) θα σταματήσουν τις αναλογικές τηλεοπτικές εκπομπές εντός του 2010, ενώ οι περισσότερες χώρες, της Ελλάδας συμπεριλαμβανομένης σκοπεύουν να εναρμονιστούν με την κοινοτική οδηγία και να έχουν ολοκληρώσει την ψηφιακή μετάβαση μέχρι το 2012. Η Πολωνία και η Λευκορωσία θα ολοκληρώσουν την ψηφιακή μετάβαση μετά το 2012, με καταληκτική ημερομηνία το 2015 όπως προτάθηκε από την ITU. Τέλος σε τέσσερις χώρες (Αγγλία, Βέλγιο, Γαλλία, Αυστρία), έχει επιτευχθεί πλήρης ψηφιακή μετάβαση σε περιφερειακό αλλά όχι σε εθνικό επίπεδο.

6.3 Το ψηφιακό μέρισμα και οι πιθανές χρήσεις του

Η μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή επίγεια τηλεόραση (Digital Terrestrial Television-DTT) απελευθερώνει μια σημαντική ποσότητα του ραδιοφάσματος στις ζώνες VHF και UHF (κυρίως στις συχνότητες 470-862MHz), καθώς οι νέες ψηφιακές τεχνολογίες κάνουν πιο αποδοτική χρήση του διατιθέμενου φάσματος. Το εύρος του φάσματος το οποίο ελευθερώνεται ονομάζεται ψηφιακό μέρισμα (digital dividend) και μπορεί να αποτελείται είτε από συνεχόμενο τμήμα του φάσματος το οποίο θα είναι

διαθέσιμο σε νέες κινητές υπηρεσίες ευρυεκπομπής (πχ 790-862MHz), είτε από μεμονωμένους διαύλους οι οποίοι θα διατίθενται δυναμικά όπου και όποτε είναι ελεύθεροι. Το μέγεθος του φάσματος το οποίο μπορεί να ελευθερωθεί προσεγγίζει σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμα και τα 320MHz, γεγονός το οποίο προσφέρεται για την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών.

Το ψηφιακό μέρισμα είναι δυνατόν να διατεθεί για τις παρακάτω υπηρεσίες:

1. Επίγεια ψηφιακή τηλεόραση.
2. Ευρυεκπομπή τηλεοπτικού σήματος σε κινητούς δέκτες.
3. Ασύρματες υπηρεσίες ευρυεκπομπής, τόσο για σταθερούς όσο και για κινητούς χρήστες.
4. Ασύρματες υπηρεσίες ευρυεκπομπής για προστασία των πολιτών, και αντιμετώπιση καταστροφών (Public Protection and Disaster Relief-PPDR).
5. Βοηθητικές υπηρεσίες όσον αφορά την ευρυεκπομπή και την δημιουργία προγραμμάτων (Services Ancillary to Broadcasting-SAB, Services Ancillary to Programme-SAP).

Υπάρχουν και άλλες πιθανές χρήσεις του ψηφιακού μερίσματος, όπως η ανάπτυξη «γνωστικών» τεχνολογιών οι οποίες χρησιμοποιούν δυναμικά το φάσμα φροντίζοντας να μην προκαλέσουν παρεμβολή σε πρωτεύουσες υπηρεσίες. Από τις παραπάνω πέντε δυνατές χρήσεις του ψηφιακού μερίσματος θα ασχοληθούμε με τις δύο κυριότερες, οι οποίες είναι η περαιτέρω επέκταση της ψηφιακής τηλεόρασης και οι ασύρματες υπηρεσίες ευρυεκπομπής.

6.3.1 Επίγεια Ψηφιακή Τηλεόραση

Το ψηφιακό μέρισμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί (σε μερικές ευρωπαϊκές χώρες αυτό ήδη συμβαίνει) για την ανάπτυξη DTT πολυπλεκτών για την παροχή επιπλέον SDTV ή HDTV καναλιών, είτε επί πληρωμή είτε χωρίς χρέωση. Οι υπηρεσίες αυτές μπορεί να παρέχονται σε εθνικό, περιφερειακό, ή σε τοπικό επίπεδο. Θεωρητικά ένας πολυπλέκτης μπορεί να υποστηρίξει οποιαδήποτε ποιότητα εικόνας, συμπεριλαμβανομένης της HDTV, υπό την προϋπόθεση ότι οι παρεχόμενες υπηρεσίες δεν υπερβαίνουν τη

χωρητικότητα του καναλιού μετάδοσης, και το λαμβανόμενο σήμα στο δέκτη έχει χαμηλό ρυθμό λαθών. Η λειτουργία της ψηφιακής τηλεόραση εκτός των συχνοτήτων 470-862MHz είναι αρκετά δύσκολη έως ανέφικτη. Και αυτό γιατί θα πρέπει να αντικατασταθεί ο υπάρχον εξοπλισμός του χρήστη (κεραία, αποκωδικοποιητής) ο οποίος είναι σχεδιασμένος για λειτουργία στο συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων. Επιπλέον για την χρήση εναλλακτικών συχνοτήτων για υπηρεσίες DTT είναι πιθανόν να απαιτηθεί η ανάπτυξη επιπλέον σταθμών βάσης. Θεωρητικά η ζώνη III (174-230MHz) η οποία χρησιμοποιείται για αναλογικές εκπομπές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υπηρεσίες DTT. Παρόλαυτα όπως προαναφέρθηκε ο εξοπλισμός του καταναλωτή δεν είναι ακόμα σε θέση για την υποστήριξη αυτής της ζώνης συχνοτήτων. Η ζώνη III χρησιμοποιείται σε αρκετές χώρες για άλλες υπηρεσίες ευρυεκπομπής όπως ψηφιακή μετάδοση ήχου (Digital Audio Broadcasting-DAB) ή για εκπομπή ψηφιακών πολυμεσικών υπηρεσιών (Digital Multimedia Broadcasting-DMB).

Τρεις κύριοι παράγοντες επηρεάζουν το κόστος και την αποδοτικότητα της ανάπτυξης των DTT συστημάτων: Η τεχνολογία κωδικοποίησης, η τεχνολογία μετάδοσης και η τοπολογία του δικτύου. Τα δύο κυριότερα πρότυπα κωδικοποίησης τα οποία υποστηρίζει η DTT είναι τα MPEG-2 και MPEG-4, όπου το MPEG-4 είναι περίπου δύο φορές πιο αποδοτικό συγκριτικά με το MPEG-2. Η αναβάθμιση ενός πολυπλέκτη σε MPEG-4 απαιτεί ελάχιστα έξοδα από την πλευρά του διαχειριστή του δικτύου, παρόλαυτα έχει μεγάλο οικονομικό αντίκτυπο στην πλευρά του χρήστη, καθώς θα πρέπει να αντικαταστήσει τον εξοπλισμό του (είτε την τηλεόραση με ενσωματωμένο δέκτη, είτε τον αποκωδικοποιητή) με καινούριο ο οποίος θα είναι συμβατός με το πρότυπο MPEG-4.

Σήμερα το κυρίαρχο πρότυπο εκπομπής για DTT είναι το DVB-T. Παρόλαυτα η DTT προορίζεται για την εφαρμογή του επερχόμενου DVB-T2 το οποίο είναι πιθανό να επιφέρει μια αύξηση της τάξεως του 30% στην χωρητικότητα. Το DVB-T2 απαιτεί την αναβάθμιση των πολυπλεκτών, πράγμα το οποίο θα οδηγήσει σε σημαντικές επενδύσεις στα DTT δίκτυα. Αντιστοίχως με το πρότυπο MPEG-4, και σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης θα πρέπει να προχωρήσει στην αγορά καινούριου δέκτη ο οποίος θα είναι συμβατός με το πρότυπο DVB-T2.

6.3.2 Ασύρματες υπηρεσίες ευρυεκπομπής

Το ψηφιακό μέρισμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ασύρματων ευρυζωνικών υπηρεσιών στους καταναλωτές, είτε αυτοί είναι σταθεροί είτε κινούμενοι. Λόγω των χαρακτηριστικών διάδοσης του φάσματος του ψηφιακού μερίσματος, είναι δυνατόν να αυξηθεί η κάλυψη σε αγροτικές περιοχές καθώς επίσης και η βελτίωση της λήψης του σήματος εντός των κτιρίων. Παρόλαυτα δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη η πιθανότητα, ότι τα ασύρματα ευρυζωνικά συστήματα θα είναι ανταγωνιστικά όσον αφορά την σταθερή παροχή υπηρεσιών σε υπαίθριες περιοχές.

Οι πάροχοι κινητών υπηρεσιών αντιμετωπίζουν μια αξιοσημείωτη αύξηση στις απαιτήσεις για παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών, σε αντιστοιχία με τις χαμηλές τιμές οι οποίες παρέχονται, καθώς επίσης και απαιτήσεις για υψηλότερες ταχύτητες και συσκευές πιο φιλικές στο χρήστη για την πρόσβαση στο διαδίκτυο. Με την ταχύτερη ανάπτυξη του διαδικτύου, και την πιθανή εισαγωγή υπηρεσιών από τερματικό σε τερματικό (Machine to Machine-M2M), είναι αρκετά πιθανό ότι απαίτηση για παροχή κινητών υπηρεσιών ευρείας ζώνης, θα συνεχίσει να αυξάνεται στο μέλλον.

Οι δύο κυριότερες τεχνολογίες οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν για παροχή κινητών υπηρεσιών ευρείας ζώνης είναι το UMTS/LTE και το WiMAX.

- UMTS/LTE

Το σύστημα UMTS είναι ευρέως διαδεδομένο στην Ευρώπη, χρησιμοποιώντας κυρίως το φάσμα κοντά στα 2.1GHz, αν και σε μερικές χώρες εφαρμόζεται και σε άλλες συχνότητες (πέριξ των 900MHz). Υφιστάμενες και μελλοντικές προσθήκες (HSPA, HSPA+) προσφέρουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέχρι και 14,4Mbps. Το LTE είναι μια περαιτέρω εξέλιξη και είναι αρκετά ταχύτερο, καθώς προσφέρει ρυθμούς δεδομένων οι οποίοι είναι σε θέση να προσεγγίσουν τα 100Mbps. Το LTE υποστηρίζει τις τεχνικές αμφιδρόμησης TDD και FDD, αν και φαίνεται να προτιμάται η τεχνική FDD έναντι της TDD για ανάπτυξη των LTE συστημάτων. Δεδομένου του χρονοδιαγράμματος για την απελευθέρωση του ψηφιακού μερίσματος, η εφαρμογή του συστήματος LTE είναι πιο πιθανή συγκριτικά με το σύστημα UMTS.

- WiMAX

Αν και αρχικά το πρότυπο WiMAX αναπτύχθηκε για την παροχή σταθερής ασύρματης πρόσβασης (fixed-wireless Access-FWA), η «κινητή» εκδοχή του προτύπου αυτού είναι πιθανό ότι θα μπορεί να προσφέρει ταχύτητες ανάλογα με αυτές του HSPA, με την χρήση TDD τεχνικής.

Οι περισσότεροι πάροχοι κινητών επικοινωνιών έχουν επιλέξει το πρότυπο LTE για πιθανή εφαρμογή στο φάσμα το οποίο θα απελευθερωθεί με την ολοκλήρωση της ψηφιακής μετάδοσης, και για το λόγο αυτό οι προοπτικές ανάπτυξης του προτύπου WiMAX δεν είναι ακόμα ξεκάθαρες. Αν και η FDD εκδοχή του LTE παρουσιάζεται ως η επικρατέστερη για την εφαρμογή στις ζώνες συχνοτήτων 790-862MHz, εμφανίζει το κύριο μειονέκτημα των FDD συστημάτων. Την ανάγκη για ύπαρξη δύο καναλιών επικοινωνίας τόσο για την άνω όσο και για την κάτω ζεύξη σε αντίθεση με τα TDD συστήματα όπου απαιτούν μόνο ένα κανάλι επικοινωνίας. Για τον λόγο αυτό οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι, προσπαθούν να βελτιώσουν την φασματική απόδοση του FDD συστήματος, με την χρήση μεταβλητού διαστήματος φύλαξης μεταξύ των δύο καναλιών (variable duplex spacing), μια εξέλιξη όμως η οποία δεν φαίνεται να βρίσκει ευρεία εφαρμογή στο άμεσο μέλλον.

Θεωρητικά όλες οι συχνότητες μεταξύ των 470-862MHz μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη ευρυζωνικών υπηρεσιών. Παρόλαυτα είναι πολύ σημαντική η εναρμόνιση του φάσματος σε κάποιες συγκεκριμένες συχνότητες κυρίως προς όφελος των καταναλωτών, οι δέκτες των οποίων είναι κατασκευασμένοι για να λειτουργούν σε συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων. Για τον λόγο αυτό η ζώνη συχνοτήτων 790-862MHz επιλέχθηκε σαν η καταλληλότερη για την ανάπτυξη των παραπάνω υπηρεσιών στο μέλλον.

Η ζώνη συχνοτήτων περίξ των 900MHz η οποία έχει διατεθεί για την χρήση του GSM, μπορεί να ελευθερωθεί μελλοντικά και να χρησιμοποιηθεί για την παροχή υπηρεσιών UMTS/LTE. Παρόλαυτα η συνολική ποσότητα του φάσματος το οποίο θα ελευθερωθεί είναι αρκετά περιορισμένο (2x35MHz) και ακόμα δεν είναι ξεκάθαρο το ποσοστό του φάσματος το οποίο θα διατεθεί για την ανάπτυξη UMTS/LTE συστημάτων. Επομένως, είναι πιθανό ότι θα πρέπει να διατεθούν και χαμηλότερες UHF συχνότητες για την κάλυψη των απαιτήσεων των ευρυζωνικών αυτών συστημάτων. Η ανάγκη για την

παραχώρηση επιπλέον συχνοτήτων γίνεται ακόμα μεγαλύτερη, στην πολύ πιθανή περίπτωση, όπου τα GSM δίκτυα θα συνεχίσουν την λειτουργία τους στα 900MHz.

6.3.3 Τεχνικοί κανονισμοί για την χρήση των συχνοτήτων 790-862MHz

Με απόφαση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής προβλέπεται ότι όλα τα κράτη μέλη που αποφασίζουν να διαθέσουν τη ζώνη ραδιοφάσματος των 790-862 MHz (τη λεγόμενη ζώνη των 800 MHz) για υπηρεσίες εκτός της τηλεοπτικής μετάδοσης πρέπει παράλληλα να εφαρμόζουν τους ίδιους εναρμονισμένους τεχνικούς κανόνες. Οι τεχνικοί αυτοί κανόνες εξασφαλίζουν ότι ο τωρινός εξοπλισμός ραδιοεπικοινωνιών (κινητά τηλέφωνα ή σταθμοί βάσης) στη ζώνη αυτή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά και αποτελεσματικά, για ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα. Πιο συγκεκριμένα, ο σημερινός διαχωρισμός των συχνοτήτων ο οποίος έχει προταθεί από την CEPT (Draft CEPT Report 30) για την περιοχή 790-862MHz για FDD συστήματα παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:

791-796	796-801	801-806	806-811	811-816	816-821	821 - 832	832-837	837-842	842-847	847-852	852-857	857-862
Downlink						Duplex gap	Uplink					
30 MHz (6 blocks of 5 MHz)						11 MHz	30 MHz (6 blocks of 5 MHz)					

Σχήμα 6.4: FDD τεχνική στις συχνότητες 790-862MHz. [14]

Όπως φαίνεται αποτελείται από έξι μπλοκ των 5MHz τόσο για την άνω όσο και για την κάτω ζεύξη. Τα μπλοκ αυτά διαχωρίζονται μεταξύ τους με ένα διάστημα (duplex gap) της τάξεως των 11MHz, και για την προστασία έναντι των παρεμβολών με τα DTT συστήματα έχει εισαχθεί ένα διάστημα φύλαξης μεγέθους 1MHz στις συχνότητες 790-791MHz.

Η αντίστοιχη κατανομή για τα TDD συστήματα είναι η εξής:

790-797	797-802	802-807	807-812	812-817	817-822	822-827	827-832	832-837	837-842	842-847	847-852	852-857	857-862
Guard band	Unpaired												
7 MHz	65 MHz (13 blocks of 5 MHz)												

Σχήμα 6.5: TDD τεχνική στις συχνότητες 790-862MHz. [14]

Για τα TDD συστήματα προτείνεται μια ζώνη προστασίας της τάξεως των 7MHz, για την προστασία των DTT συστημάτων από ενδεχόμενες παρεμβολές που θα προκαλέσει η άνω ζεύξη των TDD συστημάτων. Τα FDD συστήματα δεν απαιτούν τόσο μεγάλο εύρος ζώνης, καθώς η άνω ζεύξη των FDD συστημάτων τοποθετείται στις συχνότητες 832-862MHz, παρέχοντας έτσι ικανοποιητική φασματική απόσταση από το κοντινότερο DTT κανάλι για την αποφυγή παρεμβολών.

Όσον αφορά τους σταθμούς βάσης δεν είναι υποχρεωτική η θέσπιση ορίου EIRP εντός των ορίων του φασματικού τμήματος. Ωστόσο, τα κράτη μπορούν να καθορίζουν τα όρια και, εφόσον δεν έχουν αιτιολογηθεί αλλιώς, τα όρια αυτά κατά κανόνα κυμαίνονται στην περιοχή από 56 dBm/5 MHz έως 64 dBm/5 MHz.

Για περιοχές εκτός ορίου φάσματος τα όρια του EIRP για TDD και FDD συστήματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιοχή συχνοτήτων για εκπομπές εκτός φασματικού τμήματος	Μέγιστη μέση EIRP εκτός φασματικού τμήματος	Εύρος ζώνης μέτρησης
Χρησιμοποιούμενες συχνότητες FDD ανερχόμενης ζεύξης	- 49,5 dBm	5 MHz
Χρησιμοποιούμενες συχνότητες για TDD	- 49,5 dBm	5 MHz

Πίνακας 6.1: Όρια EIRP εκτός φασματικού τμήματος για σταθμό βάσης. [14]

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα όρια του EIRP εκτός φασματικού τμήματος για σταθμό βάσης σε συχνότητες κάτω από τα 790MHz.

Περίπτωση		EIRP εντός φασματικού τμήματος σταθμών βάσης, P dBm/10 MHz	Μέγιστη μέση EIRP εκτός φασματικού τμήματος	Εύρος ζώνης μέτρησης
Α	Για προστατευόμενα κανάλια τηλεόρασης	$P \geq 59$	0 dBm	8 MHz
		$36 \leq P < 59$	$(P - 59)$ dBm	8 MHz
		$P < 36$	- 23 dBm	8 MHz
Β	Για κανάλια τηλεόρασης ενδιάμεσου επιπέδου προστασίας	$P \geq 59$	10 dBm	8 MHz
		$36 \leq P < 59$	$(P - 49)$ dBm	8 MHz
		$P < 36$	- 13 dBm	8 MHz
Γ	Για κανάλια τηλεόρασης χωρίς προστασία	Χωρίς περιορισμό	22 dBm	8 MHz

Πίνακας 6.2: Όρια EIRP εκτός φασματικού τμήματος για σταθμό βάσης σε συχνότητες κάτω από τα 790MHz. [14]

Οι περιπτώσεις Α, Β και Γ του πίνακα μπορούν να ισχύουν ανά κανάλι μετάδοσης ή/και ανά περιοχή, ώστε το ίδιο κανάλι εκπομπής να έχει διαφορετικά επίπεδα προστασίας σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές και διαφορετικά τηλεοπτικά κανάλια να έχουν διαφορετικά επίπεδα προστασίας στην ίδια γεωγραφική περιοχή. Τα κράτη εφαρμόζουν τη βασική υποχρέωση στην περίπτωση Α, όταν κατά την εγκατάσταση επίγειων συστημάτων ικανών να παρέχουν υπηρεσίες ηλεκτρονικών επικοινωνιών είναι σε χρήση ψηφιακά επίγεια κανάλια εκπομπής. Τα κράτη μπορούν να εφαρμόσουν τις βασικές απαιτήσεις στις περιπτώσεις Α, Β ή Γ σε περιπτώσεις όπου τα σχετικά κανάλια εκπομπής δεν είναι σε χρήση κατά την εγκατάσταση επίγειων συστημάτων ικανών να παρέχουν υπηρεσίες ηλεκτρονικών επικοινωνιών. Λαμβάνουν υπόψη ότι οι περιπτώσεις Α και Β παρέχουν τη δυνατότητα μεταγενέστερης ενεργοποίησης των σχετικών καναλιών εκπομπών για επίγεια ψηφιακή εκπομπή, ενώ η περίπτωση Γ ενδείκνυται όταν δεν υπάρχουν σχέδια χρησιμοποίησης των σχετικών τηλεοπτικών καναλιών.

6.4 Αξιοποίηση του ψηφιακού μερίσματος στην Ευρώπη

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή σε συνδυασμό με τις αποφάσεις του WRC-07 αποφάσισε τελικώς τον Μάιο του 2010, τον εναρμονισμό όλων των κρατών μελών όσον αφορά την κατανομή των συχνοτήτων οι οποίες θα ελευθερωθούν λόγω της ψηφιακής μετάβασης. Πιο συγκεκριμένα, αποφάσισε ότι η χρήση της ζώνης 790-862MHz θα πρέπει να αποδοθεί σαν ψηφιακό μέρισμα σε όλα τα κράτη μέλη, και να διατεθεί για παροχή ασύρματων ευρυζωνικών υπηρεσιών.

Ένας τέτοιος εναρμονισμός όλων των κρατών μελών είναι αρκετά δύσκολος καθώς στις συγκεκριμένες συχνότητες λειτουργούν διάφορες υπηρεσίες. Η πιο διαδεδομένη υπηρεσία που λειτουργεί στην συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων, αφορά την στρατιωτική χρήση. Σε 13 από τα 27 κράτη μέλη λειτουργούν επί του παρόντος στρατιωτικά συστήματα σε αυτή τη ζώνη συχνοτήτων. Ωστόσο μόνο τρεις χώρες (Γερμανία, Βέλγιο, Γαλλία) ζήτησαν προστασία των υπηρεσιών αυτών όπως προβλέπει η συμφωνία της Γενεύης (GE-06) και εκτιμάται ότι η παρουσία στρατιωτικών υπηρεσιών δεν θα περιορίσει την εξάπλωση της ψηφιακής τηλεόρασης, ή άλλων εμπορικών υπηρεσιών σε αυτή τη ζώνη συχνοτήτων σε κανένα από τα παραπάνω κράτη. Μια άλλη σημαντική υπηρεσία η οποία λειτουργεί στις UHF συχνότητες είναι οι υπηρεσίες για την κάλυψη ειδικών γεγονότων (Program Making and Special Events-PMSE), οι οποίες κάνουν χρήση ασύρματων μικροφώνων και προσωρινών ραδιοζεύξεων σε συχνότητες που δεν χρησιμοποιούνται από τους τηλεοπτικούς σταθμούς. Οι υπηρεσίες αυτές μετά την ψηφιακή μετάβαση, θα έχουν πιθανώς λιγότερες ευκαιρίες να μοιράζονται συχνότητες με την τηλεόραση.

Επίσης το τοπίο όσον αφορά την πλήρη εκμετάλλευση του ψηφιακού μερίσματος στην Ευρώπη δεν είναι ακόμα ξεκάθαρο, καθώς οι περισσότερες χώρες δεν έχουν ολοκληρώσει την ψηφιακή μετάβαση. Ακόμα και αυτές που έχουν προχωρήσει στην πλήρη ψηφιακή μετάβαση, δεν έχουν αποφασίσει ποιες υπηρεσίες θα αναπτύξουν στην συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων. Η μόνη χώρα μέχρι στιγμής η οποία προχώρησε στην αξιοποίηση του ψηφιακού φάσματος είναι η Γερμανία, η οποία αποφάσισε την δημοπράτηση του φάσματος για ανάπτυξη ασύρματων ευρυζωνικών υπηρεσιών. Τελικώς τον Μάιο του 2010 το ψηφιακό μέρισμα το οποίο αποτελούταν από τις συχνότητες 791-821MHz και 832-862MHz πωλήθηκε σε εταιρίες κινητών επικοινωνιών έναντι του ποσού των 3.576 δισ. ευρώ.

Τα σχέδια για την εκμετάλλευση του ψηφιακού μερίσματος των υπόλοιπων ευρωπαϊκών κρατών, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Σχέδια για την χρησιμοποίηση των συχνοτήτων 790-862MHz	Κράτη μέλη
Θα διατεθεί για ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες ή σε άλλες υπηρεσίες.	Γερμανία, Δανία, Ισπανία, Φινλανδία, Γαλλία, Ολλανδία, Ηνωμένο Βασίλειο, Σουηδία.
Υπό συζήτηση για την διάθεση του ψηφιακού μερίσματος σε ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες, ή σε άλλες υπηρεσίες.	Τσεχία, Ουγγαρία, Ιρλανδία, Λουξεμβούργο, Σλοβακία.
Δεν έχουν αποφασίσει ακόμα	Αυστρία, Βουλγαρία, Βέλγιο, Κύπρος, Εσθονία, Ελλάδα , Ιταλία, Λιθουανία, Λετονία, Πορτογαλία, Πολωνία, Ρουμανία, Σλοβενία.
Απόδοση όλου του ψηφιακού μερίσματος σε χρήση για DTT δίκτυα	Μάλτα.

Πίνακας 6.3: Σχέδια για την αξιοποίηση του ψηφιακού μερίσματος στην Ευρώπη. [20]

6.5 Παρεμβολές/Τεχνικά προβλήματα στη χρήση των 790-862MHz

Σε γενικές γραμμές δύο ειδών παρεμβολές μπορούν να υπάρξουν σε αυτή τη ζώνη συχνοτήτων:

- Παρεμβολές μεταξύ συστημάτων τα οποία λειτουργούν σε γειτονικές ζώνες συχνοτήτων (παρεμβολή γειτονικού καναλιού).

- Παρεμβολή μεταξύ συστημάτων τα οποία λειτουργούν στο ίδιο εύρος ζώνης συχνοτήτων, αλλά βρίσκονται σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές (ομοκαναλική παρεμβολή).

Η παρεμβολή γειτονικού καναλιού (Adjacent Channel Interference-ACI) αναφέρεται στην κατάσταση στην οποία, μια υπηρεσία η οποία λειτουργεί σε ένα συγκεκριμένο κανάλι συχνοτήτων, δημιουργεί παρεμβολές στην λήψη μιας άλλης υπηρεσίας η οποία λειτουργεί στο ακριβώς διπλανό κανάλι. Ο ραδιοεπικοινωνιακός εξοπλισμός συνήθως είναι εφοδιασμένος με κάποιες πρόσθετες τεχνικές οι οποίες χρησιμεύουν για την μείωση της ACI παρεμβολής. Οι δύο κυριότερες τεχνικές είναι η επιλεκτικότητα του γειτονικού καναλιού (adjacent channel selectivity), και το ποσοστό απόρριψης γειτονικού καναλιού (adjacent channel leakage ratio). Η πρώτη τεχνική αναφέρεται στην ικανότητα των δεκτών να επιλέγουν την σωστή μετάδοση, και να απορρίπτουν τις υπόλοιπες. Η δεύτερη τεχνική αναφέρεται στο επίπεδο ισχύος του σήματος το οποίο επιτρέπεται να εκπέμπει ένας πομπός στα γειτονικά κανάλια, συγκριτικά με το δικό του επίπεδο ισχύος. Ακόμα και με την εφαρμογή των δύο παραπάνω τεχνικών είναι δυνατόν να υπάρξει ACI παρεμβολή. Η περαιτέρω άμβλυνση των παρεμβολών αυτών, γίνεται με την εισαγωγή ενός διαστήματος φύλαξης.

Η πιο δύσκολη περίπτωση όσον αφορά την αντιμετώπιση των ACI παρεμβολών, είναι η παρεμβολή συστημάτων DTT με την άνω ζεύξη κινητών υπηρεσιών. Για την αντιμετώπιση της προτείνεται ένα διάστημα φύλαξης του 1MHz για FDD συστήματα και των 7MHz για TDD συστήματα όπως είδαμε στην υποενότητα 6.3.3. Επίσης πολλοί υπάρχοντες DTT δέκτες είναι ευάλωτοι σε παρεμβολές οι οποίοι προέρχονται από συστήματα τα οποία εκπέμπουν 9 κανάλια πάνω από το επιθυμητό σήμα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «φαινόμενο ειδώλου» ή «n+9 φαινόμενο». Αν για παράδειγμα έχουμε ένα δεδομένο κανάλι εκπομπής, και αναπτύξουμε ένα πομπό για DTT, είτε για οποιαδήποτε άλλη υπηρεσία στο n+9 κανάλι, τότε θα υπάρξει μια περιοχή γύρω από τον πομπό, όπου δεν θα μπορεί να γίνει σωστή λήψη του σήματος. Για την αντιμετώπισή του φαινομένου αυτού, διεξάγονται μελέτες σε διάφορους δέκτες DTT, καθώς ο κάθε δέκτης επηρεάζεται διαφορετικά από αυτό το φαινόμενο. Ένα άλλο είδος της ACI παρεμβολής μπορεί να προκύψει και μεταξύ γειτονικών καναλιών τα οποία χρησιμοποιούνται για DTT εκπομπές, αν δεν έχει γίνει σωστός σχεδιασμός του δικτύου. Τέτοιου είδους παρεμβολές μπορούν να αντιμετωπιστούν μέσω του σωστού σχεδιασμού

συχνοτήτων από τους τηλεοπτικούς παρόχους και δεν αποτελεί σημαντικό πρόβλημα. Κατά τον σχεδιασμό συχνοτήτων λαμβάνεται υπόψη το πόσο εφικτή είναι η χρήση γειτονικών καναλιών σε περιοχές κάλυψης οι οποίες συνορεύουν μεταξύ τους. Επιπλέον γίνεται και σχεδιασμός της εκπεμπόμενης ισχύος έτσι ώστε να επιτευχθεί η αποδοτικότερη εκμετάλλευση του διαθέσιμου φάσματος.

Δύο συστήματα χαρακτηρίζονται ως ομοκαναλικά όταν χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι συχνοτήτων, και λειτουργούν σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές. Η ομοκαναλική παρεμβολή είναι η κατάσταση στην οποία η εκπομπή του σήματος από το ένα σύστημα, λαμβάνεται στον δέκτη του άλλου συστήματος σαν παρεμβολή. Αυτές οι παρεμβολές συνήθως αποφεύγονται με την χρήση ενός ελάχιστου φυσικού διαχωρισμού, είτε εντός μίας χώρας (δύο περιφερειακά συστήματα τα οποία κάνουν χρήση των ίδιων συχνοτήτων, σε διαφορετικές περιοχές), είτε μεταξύ κρατών τα οποία συνορεύουν μεταξύ τους (απαιτείται για τον διακρατικό συντονισμό των συχνοτήτων). Στην δεύτερη περίπτωση, ο γεωγραφικός διαχωρισμός δεν είναι πάντα εφικτός, καθώς οι εκάστοτε συνορεύουσες χώρες θα θέλουν να αναπτύξουν υπηρεσίες στα σύνορα τους. Σε αυτήν την περίπτωση, πρέπει να εφαρμοστούν διαφορετικές τεχνικές για την αντιμετώπιση των ομοκαναλικών παρεμβολών, όπως η θέσπιση ορίων για τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ εκπομπής. Το μέγεθος της περιοχής και του πληθυσμού που πρόκειται να επηρεαστούν από ενδεχόμενες DTT παρεμβολές οι οποίες προκαλούνται από γειτονικά κράτη, καθορίζεται από τους εξής παράγοντες:

- Το μέγεθος, το σχήμα και το μήκος των συνόρων μιας χώρας.
- Την κατανομή του πληθυσμού, ειδικά αν μεγάλο μέρος αυτού βρίσκεται στα σύνορα μιας χώρας.
- Την τοπολογία των DTT δικτύων των γειτονικών κρατών.

Η ομοκαναλική παρεμβολή είναι η πιο σημαντική παρεμβολή η οποία παρατηρείται στην ζώνη συχνοτήτων 790-862MHz και είναι σε θέση να επηρεάσει τις περισσότερες υπηρεσίες οι οποίες αναπτύσσονται σε αυτή τη ζώνη συχνοτήτων. Πιο συγκεκριμένα, εκπομπές DTT μεγάλης ισχύος σε μία χώρα, θέτουν αρκετούς περιορισμούς όσον αφορά την χρήση των ίδιων συχνοτήτων στις γειτονικές χώρες. Το μέγεθος των περιορισμών αυτών εξαρτάται από την γεωγραφική θέση του πομπού και το ανάγλυφο

του εδάφους. Οι ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες, και ιδιαίτερα η άνω ζεύξη τόσο των FDD όσο και των TDD συστημάτων, είναι επίσης ευάλωτες στην ενδοκαναλική παρεμβολή, ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις από τα σύνορα της εκάστοτε χώρας. Η μείωση των παρεμβολών αυτών είναι μεν εφικτή, αλλά απαιτεί μεγάλο κόστος στον εξοπλισμό του δικτύου. Παρόλαυτα, εφόσον τα δίκτυα DTT τα οποία παρεμβάλλουν μεταξύ τους, λειτουργούν στα επιτρεπόμενα όρια εκπομπής, τα οποία έχουν οριστεί από την GE-06 ή άλλες διμερής συμφωνίες, δεν υπάρχει κάποια υποχρέωση για να ληφθούν μέτρα για την αντιμετώπιση των παρεμβολών αυτών.

6.6 Η τρέχουσα κατάσταση στην Ελλάδα

6.5.1 Η ψηφιακή μετάβαση

Τον Ιανουάριο του 2006 η EPT εξέπεμψε πιλοτικά το πρώτο ψηφιακό τηλεοπτικό σήμα με την εφαρμογή του πρότυπου DVB-T. Επίσης χρησιμοποιούσε MPEG-2 κωδικοποίηση και την χρήση ενός πολυπλέκτη μέσω του οποίου μεταδιδότανε τέσσερα τηλεοπτικά προγράμματα (Σινέ+, Πρίσμα+, Σπορ+, Info+).

Το Μάρτιο του 2006 το δίκτυο επεκτάθηκε ώστε να καλύπτει το 65% του ελληνικού πληθυσμού με εκπομπές εκτός από την Αθήνα, στη Θεσσαλονίκη και στη Θεσσαλία. Σήμερα η EPT ψηφιακή εκπέμπει σε Αττική, Θεσσαλονίκη, Λάρισα, Βόλο, Τρίκαλα, Καρδίτσα και στις γύρω περιοχές.

Τον Ιούλιο του 2009 δημιουργήθηκε ένας νέος φορέας όσον αφορά την ανάπτυξη της ψηφιακής τηλεόρασης στην Ελλάδα, αποτελούμενη από επτά σταθμούς ιδιωτικής εμβέλειας (Alpha, Antenna, Star, Mega, Alter, Σκάϊ, Μακεδονία) με την ονομασία Digea. Ο οργανισμός αυτός υιοθέτησε το πρότυπο DVB-T σε συνδυασμό με την κωδικοποίηση MPEG-4, και προβλέπει την αρχική προβολή των καναλιών σε τυπική ευκρίνεια (SDTV). Η πρώτη εκπομπή της DIGEA έγινε στον Κορινθιακό κόλπο τον Σεπτέμβριο του 2009, τον Ιανουάριο του 2010 ξεκίνησε η εκπομπή του ψηφιακού σήματος στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, και η κάλυψη για τον νομό Αττικής επετεύχθη τον Ιούνιο του 2010.

Η ψηφιακή μετάβαση στην Ελλάδα ξεκίνησε επίσημα την 1η Νοεμβρίου του 2009 (νόμος 3592/2007 και ΚΥΑ 21161/2008) και είναι προγραμματισμένη να ολοκληρωθεί τον Νοέμβριο του 2012 με την διακοπή και των τελευταίων αναλογικών εκπομπών. Κατά την διάρκεια της μετάβασης αυτής, μέχρι και οκτώ ψηφιακοί πολυπλέκτες θα

αναπτυχθούν από 23 τοποθεσίες οι οποίες χρησίμευαν μέχρι πρότινος για την μετάδοση αναλογικού τηλεοπτικού σήματος. Από τις 23 αυτές θέσεις, οι 20 θα είναι εφοδιασμένες με 7 πολυπλέκτες, οι δύο με 8 πολυπλέκτες και η μια θέση θα είναι εφοδιασμένη με 6 πολυπλέκτες. Οι 23 αυτές τοποθεσίες επιλέχθηκαν με βάση την κάλυψη μεγάλων σε πληθυσμό πόλεων, ικανού αριθμού διεθνώς συντονισμένων διαύλων και ελαχιστοποίηση προβλημάτων στο αναλογικό δίκτυο. Οι πολυπλέκτες αυτοί θα χρησιμοποιούν όλες τις συχνότητες ή μέρος αυτών, οι οποίες μέχρι πρότινος χρησίμευαν για την αναλογική μετάδοση. Με την ολοκλήρωση της ψηφιακής μετάβασης, θα υπάρχουν 158 κύρια κέντρα ψηφιακής εκπομπής, τα οποία ομαδοποιούνται σε 11 ευρύτερες περιοχές εξυπηρέτησης (ΕΠΨΕ), οι οποίες προκύπτουν από τις 45 αρχικές περιοχές κάλυψης οι οποίες είχαν οριστεί για την αναλογική τηλεόραση. Η κάθε ΕΠΨΕ μπορεί να περιέχει από ένα έως τρία SFN δίκτυα, τα οποία μεταδίδουν τα ίδια τηλεοπτικά κανάλια στην περιοχή αυτή. Το τωρινό πλάνο υποστηρίζει την σταθερή λήψη από κεραιές τοποθετημένες στις οροφές των κτιρίων, σε απομακρυσμένες περιοχές της Ελλάδας, και σε εξωτερικούς χώρους, καθώς επίσης και φορητή λήψη στις περισσότερες κατοικημένες περιοχές. Οι τρόποι λειτουργίας όσον αφορά την λήψη είναι οι RPC1 (Reference Planning Configuration) και RPC2 όπως αυτοί καθορίζονται από την συνθήκη της Γενεύης (GE-06) και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Reference planning configuration	RPC1	RPC2				
		Portable outdoor		Mobile		Portable indoor
Reception mode	Fixed	Portable outdoor		Mobile		Portable indoor
Modulation	64-QAM	16-QAM	64-QAM	QPSK	16-QAM	16-QAM
Code rate	3/4	2/3	2/3	2/3	1/2	2/3
Location probability for planning	95%	95%	95%	99%	99%	70%
Max. net bit rate* (Mbit/s)	27.14	16.09	24.13	8.04	12.06	16.09

Πίνακας 6.4: Υποστηριζόμενοι τρόποι λειτουργίας DTT στην Ελλάδα.

Το τηλεοπτικό δίκτυο στην Ελλάδα αποτελείται από εθνικούς, περιφερειακούς και τοπικούς, σταθμούς εκπομπής. Υπάρχουν τέσσερις εθνικοί σταθμοί (ΕΡΤ ψηφιακή) οι οποίοι ήδη εκπέμπονται ψηφιακά και με την ολοκλήρωση της ψηφιακής μετάβασης, θα προστεθούν ακόμα επτά ιδιωτικοί τηλεοπτικοί σταθμοί (Digea). Οι περιφερειακοί και τοπικοί σταθμοί διαχειρίζονται από ιδιώτες, και ο αριθμός τους διαφέρει ανάλογα με

την τοποθεσία. Σύμφωνα με τη νομοθεσία είναι δυνατή η ανάπτυξη μέχρι και εννέα τηλεοπτικών σταθμών σε ορισμένες περιοχές. Επιπλέον των παραπάνω ελεύθερων τηλεοπτικών καναλιών υπάρχουν και δύο συνδρομητικοί τηλεοπτικοί σταθμοί (NOVA, Comix-TV). Οι εθνικοί και οι περισσότεροι από τους περιφερειακούς σταθμούς θα ενσωματωθούν στο ψηφιακό δίκτυο με την ολοκλήρωση της ψηφιακής μετάβασης. Επί του παρόντος δεν υπάρχει πρόβλεψη από την νομοθεσία για την λειτουργία τοπικών ψηφιακών δικτύων αλλά το γεγονός αυτό είναι πιθανό να αλλάξει στο μέλλον. Επίσης σε αρκετές περιοχές υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός σταθμών οι οποίοι λειτουργούν παράνομα και οι οποίοι δεν προβλέπεται να ενσωματωθούν στην κάλυψη των ψηφιακών δικτύων.

Ως ελάχιστο, το σχέδιο για την ψηφιακή μετάβαση θα πρέπει να υποστηρίζει τους υπάρχοντες εθνικούς και περιφερειακούς σταθμούς όπως ορίζεται από την κείμενη νομοθεσία. Επιπλέον αποφασίστηκε ότι η EPT θα χρησιμοποιήσει δύο ακόμα πολυπλέκτες, έναν ο οποίος θα διατεθεί αποκλειστικά για τα κανάλια της δημόσιας τηλεόρασης, και έναν ο οποίος θα χρησιμοποιείται από κοινού με τους δύο υφιστάμενους σταθμούς συνδρομητικής τηλεόρασης. Επίσης καθορίστηκε ότι θα διατεθεί ένας ακόμα πολυπλέκτης για την παροχή υπηρεσιών τηλεοπτικών υπηρεσιών σε κινητούς δέκτες κάνοντας χρήση του DVB-H προτύπου. Ο συνολικός αριθμός πολυπλεκτών οι οποίοι θα αναπτυχθούν είναι συνολικά έξι και η χρήση τους συνοψίζεται παρακάτω:

- Ένας πολυπλέκτης για τα τέσσερα υπάρχοντα κανάλια της EPT.
- Δύο πολυπλέκτες για την υποστήριξη των επτά ιδιωτικών καναλιών.
- Ένας πολυπλέκτης για την υποστήριξη των ήδη μεταδιδόμενων ψηφιακών προγραμμάτων της EPT.
- Ένας πολυπλέκτης για την υποστήριξη νέων τηλεοπτικών προγραμμάτων από την EPT και για την υποστήριξη των δύο υφιστάμενων συνδρομητικών τηλεοπτικών σταθμών.
- Ένας πολυπλέκτης για την υποστήριξη παροχής τηλεοπτικού σήματος σε κινητούς δέκτες.

Ο αριθμός των πολυπλεκτών που θα εξυπηρετήσουν τους περιφερειακούς σταθμούς διαφέρει από περιοχή σε περιοχή, ανάλογα με τον αριθμό των υφιστάμενων αναλογικών σταθμών.

Με την ολοκλήρωση της ψηφιακής μετάβασης, ο τελικός σχεδιασμός συχνοτήτων θα παρέχει 8-12 συχνότητες σε κάθε ένα από τα 23 SFN δίκτυα τα οποία καλύπτουν τις 11 ευρύτερες περιοχές εξυπηρέτησης (ΕΠΨΕ.). Η ανάλυση που έγινε για τις συχνότητες που εκχωρήθηκαν σε τοπικούς και περιφερειακούς σταθμούς σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία, έδειξε ότι σε όλες τις ΕΠΨΕ εκτός από μία, δεν θα υπάρξουν περισσότεροι από πέντε περιφερειακοί σταθμοί οι οποίοι θα χρειαστούν δύο επιπρόσθετους πολυπλέκτες (συνολικά θα απαιτηθούν δηλαδή 8 πολυπλέκτες).

Η κατανομή συχνοτήτων στα 23 SFN δίκτυα απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα:

ΕΠΨΕ No	SFN No	Περιοχή Εξυπηρέτησης	Σύνολο Διαθέσιμων Συχνοτήτων	Κανάλια Μετάδοσης
1	1	Δυτική Ελλάδα, Ήπειρος, Βόρεια Επτάνησα.	12	22,23,24,28,29,33,37,43,51,56,61,62.
1	2		12	21,25,27,30,34,39,41,45,49,52,53,59.
2	1	Θεσσαλονίκη και Δυτική Μακεδονία.	12	23,25,29,30,31,35,43,44,46,50,56,59.
2	2		12	24,26,27,28,32,39,40,41,47,51,52,55.
3	1	Ανατολική Μακεδονία και Θράκη	12	24,30,31,32,33,35,36,43,47,58,59,66.
3	2		12	23,26,34,37,38,40,48,49,52,53,60,65.
3	3		12	22,25,27,39,41,51,54,56,61,62,63,64.
4	1	Θεσσαλία	12	22,29,31,35,38,40,42,47,52,53,63,65.
4	2		12	21,36,37,41,44,51,54,58,60,62,64,66.
5	1	Βόρειο Αιγαίο, Σάμος-Ικαρία.	10	9,21,25,33,39,42,46,53,56,64.
5	2		10	7,27,31,34,35,36,38,44,61,65.
6	1	Ανατολική Στερεά - Ευρυτανία	12	23,24,25,26,30,33,35,37,49,55,57,63.
7	1	Δυτική Πελοπόννησος, Ιόνια νησιά.	12	25,30,31,32,34,42,44,46,47,48,49,53.
7	2		12	21,26,35,36,38,40,45,54,57,59,60,66.
7	3		12	22,24,29,33,37,52,55,56,58,61,63,64.

8	1	Ανατολική	12	23,24,28,35,37,39,41,42,44,53,57,58.
8	2	Πελοπόννησος, Κόρινθος	12	21,22,25,40,45,46,55,56,63,64,65,66.
9	1	Αττική, Κυκλάδες.	12	22,23,24,26,27,30,48,52,54,59,61,62.
9	2		12	29,31,32,34,36,38,43,47,49,50,51,60.
10	1	Δωδεκάνησα, Καστελόριζο.	12	9,21,24,32,39,42,50,52,56,59.
10	2		8	8,25,27,35,41,49,51,53.
11	1	Κρήτη.	12	21,24,25,31,37,38,39,41,49,56,57,61.
11	2		12	6,27,33,34,35,36,44,46,53,54,59,64.

Πίνακας 6.5: Κατανομή συχνοτήτων στα SFN δίκτυα. [16]

6.5.2 Προβλήματα παρεμβολών από γειτονικές χώρες.

Αν η πλειοψηφία των γειτονικών κρατών της Ελλάδας υιοθετήσει την εναρμονισμένη χρήση, απελευθερώνοντας την ζώνη συχνοτήτων 790-862MHz για την ανάπτυξη μη ραδιοτηλεοπτικών υπηρεσιών, όπως οι κινητές υπηρεσίες, θα υπάρχουν σχετικά λίγοι περιορισμοί στη χρήση του φάσματος. Διασυνωριακές συμφωνίες, για την χρήση των κινητών υπηρεσιών σε άλλες ζώνες συχνοτήτων βρίσκονται ήδη σε ισχύ οπότε θα είναι εφικτό να γίνει το ίδιο και για την ζώνη 790-862MHz. Επί του παρόντος φαίνεται ότι τουλάχιστον η Ιταλία μπορεί να αποφασίσει την μη υιοθέτηση της εναρμονισμένης χρήσης και την διατήρηση υψηλής ισχύος ευρυεκπομπών στη ζώνη αυτή. Ωστόσο μελέτες δείχνουν ότι η επίδραση από τη συνεχιζόμενη χρήση της ψηφιακής τηλεόρασης στην υποζώνη 790-862MHz στην Ιταλία θα είναι περιορισμένη στις κινητές υπηρεσίες στην Ελλάδα μόνο σε ορεινές περιοχές με σχετικά αραιό πληθυσμό. Μόνη εξαίρεση μπορεί να είναι η Κέρκυρα και ίσως θα είναι σκόπιμο να γίνει κάποιος έλεγχος για να διαπιστωθούν τυχόν προβλήματα με μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι διάλογοι 67-69 συμπεριλαμβάνονται σε πολλές ψηφιακές καταχωρήσεις (allotments) σε άλλες γειτονικές χώρες της Ελλάδας. Αν και αυτό δεν θα αποτελέσει πρόβλημα, αν η Ελλάδα και οι γειτονικές χώρες υιοθετήσουν το εναρμονισμένο ψηφιακό μέρισμα, θα μπορούσε να έχει αντίκτυπο στην συνεχιζόμενη χρήση αυτών των διαύλων από τον στρατό.

6.5.3 Το ψηφιακό μέρισμα

Το κυριότερο πρόβλημα όσον αφορά την απόδοση των συχνοτήτων 790-862MHz σαν ψηφιακό μέρισμα στην Ελλάδα, είναι το γεγονός ότι τα κανάλια 67-69 έχουν αποδοθεί για στρατιωτική χρήση. Για την αντιμετώπιση της κατάστασης αυτής έχουν προταθεί κάποιες λύσεις όπως:

- Η μετατόπιση της στρατιωτικής χρήσης κάτω από τα 790MHz, σε ένα αντίστοιχο τμήμα (24MHz).
- Η διατήρηση των 8MHz για στρατιωτική χρήση, στο κανάλι 65 το οποίο χρησιμοποιείται σαν duplex gap στην προτεινόμενη ζώνη κινητής και η μετατόπιση των υπόλοιπων 16MHz κάτω από τα 790MHz.
- Η μετατόπιση σε άλλη ζώνη συχνοτήτων, ακολουθώντας το παράδειγμα πολλών ευρωπαϊκών κρατών τα οποία μετατόπισαν τον εξοπλισμό τους από τη ζώνη 610-960MHz σε διαφορετική ζώνη συχνοτήτων.

Η απελευθέρωση των συχνοτήτων πάνω από τη ζώνη των 790MHz δεν θα επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις όσον αφορά στη δυνατότητα παροχής ψηφιακής τηλεόρασης, όπως ορίζεται από την κείμενη νομοθεσία. Όμως αν τα κανάλια 67-69 δεν διατεθούν, το φάσμα το οποίο θα μείνει διαθέσιμο για κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες θα μειωθεί σε 2x5MHz και το περισσότερο όφελος από αυτό θα χαθεί. Με την μετατόπιση των στρατιωτικών υπηρεσιών στους διαύλους 57,58 και 65 θα περιοριστεί σημαντικά αυτό το πρόβλημα. Μικρότερο όφελος συγκρινόμενο με το όφελος του ψηφιακού μερίσματος, θα υπάρξει εάν απελευθερωθούν άλλοι διάυλοι (πχ 28-32) αλλά αυτοί δεν είναι εναρμονισμένοι με την κοινοτική οδηγία. Θα μπορούσαν να αποδειχτούν χρήσιμοι για την κάλυψη πολιτιστικών, αθλητικών και άλλων γεγονότων, για δημόσια ασφάλεια, ή για την παροχή προγραμμάτων υψηλής ευκρίνειας (HDTV).

Ο καθορισμός του ψηφιακού μερίσματος αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο και για την πλήρη αξιολόγησή του πρέπει πρώτα να ολοκληρωθεί η ψηφιακή μετάβαση. Παρόλαυτα τόσο οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας όσο και οι τηλεοπτικοί πάροχοι έχουν εκδηλώσει έμπρακτο ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση του ψηφιακού μερίσματος. Η εταιρίες κινητής τηλεφωνίας, προσδοκούν την απόδοση όλου του ψηφιακού μερίσματος προς όφελός τους, για την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών κινητής

τηλεφωνίας. Από τη μεριά τους οι τηλεοπτικοί πάροχοι επιθυμούν την αξιοποίηση του ψηφιακού μερίσματος για την εκπομπή είτε επιπλέον προγραμμάτων (ψυχαγωγία, αθλητικά), είτε προγραμμάτων υψηλότερης ποιότητας (HDTV).

Στην παρούσα χρονική στιγμή, φαίνεται να κερδίζει έδαφος η άποψη να αποδοθεί το ψηφιακό μέρημα (κανάλια 60 έως 69 UHF) στις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας για την ανάπτυξη δικτύων νέας γενιάς με ταυτόχρονη απομάκρυνση των στρατιωτικών εφαρμογών από τους διαύλους 67-69.

Για να γίνει εφικτό αυτό, απαιτείται ένα εύλογο χρονικό διάστημα καθώς πρέπει να γίνουν πρώτα οι παρακάτω ενέργειες:

- Αδειοδότηση παρόχων ψηφιακής τηλεόρασης.
- Καθορισμός των αναγκών σε φάσμα για την ευρυεκπομπής της ψηφιακής τηλεόρασης.
- Συντονισμός με όμορες χώρες μέσω της ITU αλλά και με απευθείας διακρατικές συμφωνίες.
- Επιτάχυνση της μετάβασης στην ψηφιακή τηλεόραση.
- Ολοκλήρωση της μετάβασης και οριστική παύση των αναλογικών εκπομπών τηλεόρασης.
- Εκτίμηση της οικονομικής αξίας του ψηφιακού μερίσματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο συγκεκριμένο πείραμα ελήφθησαν μετρήσεις ποιότητας του ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος (cine+), υπό την επίδραση παρεμβολών από τα συστήματα WCDMA, TD-SCDMA, GSM-EDGE, LTE-FDD, LTE-TDD, και 3GPP2 CDMA. Στην παρούσα εργασία αναλύονται οι μετρήσεις που ελήφθησαν με τη χρήση των παρεμβάλλοντων συστημάτων WCDMA, TD-SCDMA, και GSM-EDGE. Η ανάλυση για τα υπόλοιπα τρία πρωτόκολλα γίνεται στη διπλωματική εργασία του συναδέλφου Γ. Μαμαρέλη, με τίτλο: “Ανάλυση και μέτρηση παρεμβολών στην ψηφιακή τηλεόραση από κινητές υπηρεσίες (LTE FDD, LTE TDD, 3GPP2 CDMA)”.

7.1 Όργανα και συνδεσμολογία του πειράματος.

Η διεξαγωγή του πειράματος έλαβε χώρα στο εργαστήριο Ασύρματου Επικοινωνίας Μεγάλων Αποστάσεων. Τα όργανα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ήταν ένας ψηφιακός τηλεοπτικός δέκτης, μια γεννήτρια, ένας αναλυτής φάσματος, δύο κεραίες λήψης, μία κεραία εκπομπής, καθώς επίσης και ένα εξειδικευμένο λογισμικό για την επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων. Η περιγραφή των οργάνων αυτών καθώς και η συνδεσμολογία μεταξύ τους ακολουθεί παρακάτω:

- Ψηφιακός τηλεοπτικός δέκτης (Promax TV Explorer II+).

Ο συγκεκριμένος φορητός τηλεοπτικός δέκτης έχει σχεδιασθεί για την κάλυψη των μετρήσεων οι οποίες διεξάγονται κατά την μετάβαση από την αναλογική τηλεοπτική μετάδοση, στην ψηφιακή. Είναι σε θέση να διεξάγει μετρήσεις σε επίγεια, καλωδιακά ή δορυφορικά συστήματα. Επίσης παρέχει και κάποιες εξειδικευμένες λειτουργίες όπως ανάλυση φάσματος, εμφάνιση σηματοστερισμών, αποκωδικοποίηση σήματος και διεξαγωγή αυτόματων μετρήσεων. Στο πείραμα μας ο ψηφιακός αυτός δέκτης χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή πέντε τιμών (Power, C/N, MER, CBER, VBER), όσον αφορά την

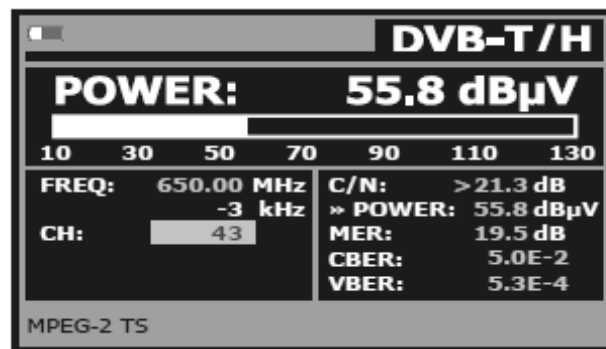
ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται αναλυτικά στην ενότητα 7.3. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του τηλεοπτικού δέκτη όσον αφορά τις μετρήσεις παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Μετρήσεις	Άμεση απεικόνιση των μετρήσεων
Αναλογικό	Level, Video/Audio, C/N
Ψηφιακό	Ισχύς, C/N, προσδιορισμός καναλιού
COFDM 2k/4k/8k	MER, CBER, VBER, Noise margin, MER by carrier
QPSK	MER, CBER, VBER, Noise margin
8PSK	MER, CBER, LBER
QAM 16/32/64/128/256	BER, MER

Πίνακας 7.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά ψηφιακού δέκτη.



Σχήμα 7.1: Ο ψηφιακός δέκτης Promax Explorer II+



Σχήμα 7.2: Ενδεικτική απεικόνιση μετρούμενων τιμών στον ψηφιακό δέκτη.

- Κεραία λήψης του ψηφιακού σήματος (Meliconi AD-Elegance).

Η κεραία αυτή χρησιμοποιήθηκε για την λήψη του τηλεοπτικού ψηφιακού σήματος και συνδεότανε με τον τηλεοπτικό ψηφιακό δέκτη. Είναι μια ενισχυμένη εσωτερική κεραία, και προσφέρει άριστη λήψη DVB-T και DAB

σημάτων μέσω αποκωδικοποιητή. Επίσης παρέχει βέλτιστη ενίσχυση του σήματος έως και 20dB χάρη στη προηγμένη τεχνολογία Digital Vision. Το σήμα το οποίο παρέχει στο δέκτη είναι αρκετά ευκρινές, χάρη σε ειδικά φίλτρα τα οποία αποβάλλουν την παρέμβαση από διάφορες εξωτερικές παρεμβολές, καθώς επίσης και λόγω του εξαιρετικά χαμηλού συντελεστή θορύβου (<3.5dB). Τέλος η κεραία αυτή, ήταν βέλτιστα προσανατολισμένη, για την καλύτερη δυνατή λήψη του ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος.



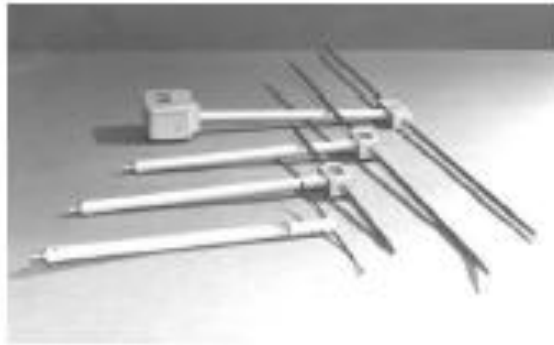
Σχήμα 7.3: Η κεραία λήψης Meliconi AD-Elegance.

- Κεραία μέτρησης ισχύος πεδίου (Electro-Metrics Tunable Dipole Antenna EM-6927).

Η κεραία αυτή είναι ουσιαστικά ένα δίπολο, με το εύρος λειτουργίας της να βρίσκεται στις συχνότητες 400-1000MHz. Στο πείραμα μας χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της ισχύος του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, σε πολύ κοντινή απόσταση από την κεραία λήψης του ψηφιακού δέκτη. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Βάρος	227g
Μήκος	46.7cm
Διάμετρος ράβδου	46.7cm
Σύνθετη Αντίσταση Εισόδου	50Ohms
Μέγιστη Απώλεια λόγω συνδεσμολογίας	0.5dB
VSWR	< 1:6:1
Μέγιστη συνεχόμενη ισχύς	20W

Πίνακας 7.2: Τεχνικά Χαρακτηριστικά κεραίας μέτρησης ισχύος πεδίου.



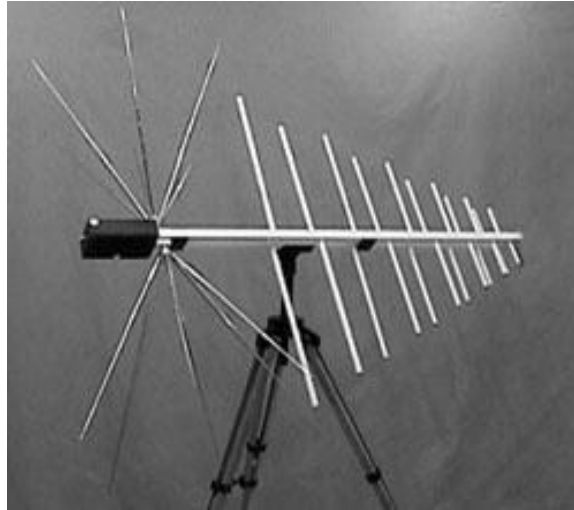
Σχήμα 7.4: Η κεραία λήψης Electro-Metrics Tunable Dipole Antenna EM-6927.

- Κεραία Εκπομπής παρεμβολών (Electro-Metrics EM-6917C-1).

Η κεραία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για λήψη όσο και για εκπομπή και λειτουργεί στις συχνότητες από 30MHz έως και 1GHz. Στο πείραμα που διεξήχθη χρησιμοποιήθηκε για την εκπομπή σημάτων κινητής επικοινωνίας. Τα σήματα παρεμβολών με τα οποία τροφοδοτούσαμε την συγκεκριμένη κεραία εκπομπής ήταν τα WCDMA, TD-SCDMA, και GSM-EDGE. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της είναι τα εξής:

Βάρος	4.5kg
Μήκος/Πλάτος/Υψος	1.45/1.02/0.55m
Διάμετρος ράβδου	46.7cm
Σύνθετη Αντίσταση Εισόδου	50Ohms (ονομαστική)
Μέγιστη Απώλεια λόγω συνδεσμολογίας	0.5dB
VSWR	< 2:0:1
Μέγιστη ισχύς	1KW

Πίνακας 7.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά κεραίας παρεμβολών.



**Σχήμα 7.5: Η κεραία εκπομπής παρεμβολών
Electro-Metrics EM-6917C-1**

- Γεννήτρια (Agilent MXG Vector Signal Generator N5182A).

Η συγκεκριμένη γεννήτρια, χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των σημάτων κινητής επικοινωνίας με τα οποία τροφοδοτούσαμε την κεραία εκπομπής. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Εύρος Συχνοτήτων	100kHz-6MHz
Εύρος παρεχόμενης ισχύος	-110dBm - +17dBm
SWR	≤2.1GHz 1:4:1
Παρεχόμενα σήματα	WLAN, WiMAX, CDMA,cdma2000, GSM, TD- SCDMA, WCDMA.
Διαμόρφωση	PSK,QAM,FSK,MSK,ASK

Πίνακας 7.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά γεννήτριας.



**Σχήμα 7.6: Η γεννήτρια Agilent MXG
Vector Signal Generator N5182A**

- Αναλυτής φάσματος (E4403B-BAS ESA-L Basic Spectrum Analyzer).

Ο αναλυτής φάσματος που χρησιμοποιήθηκε λειτουργούσε στις συχνότητες 9kHz-3GHz και συνδεότανε άμεσα με το δίπολο. Η κύρια λειτουργία του ήταν η απεικόνιση, και η μέτρηση του σήματος το οποίο λάμβανε από το δίπολο.

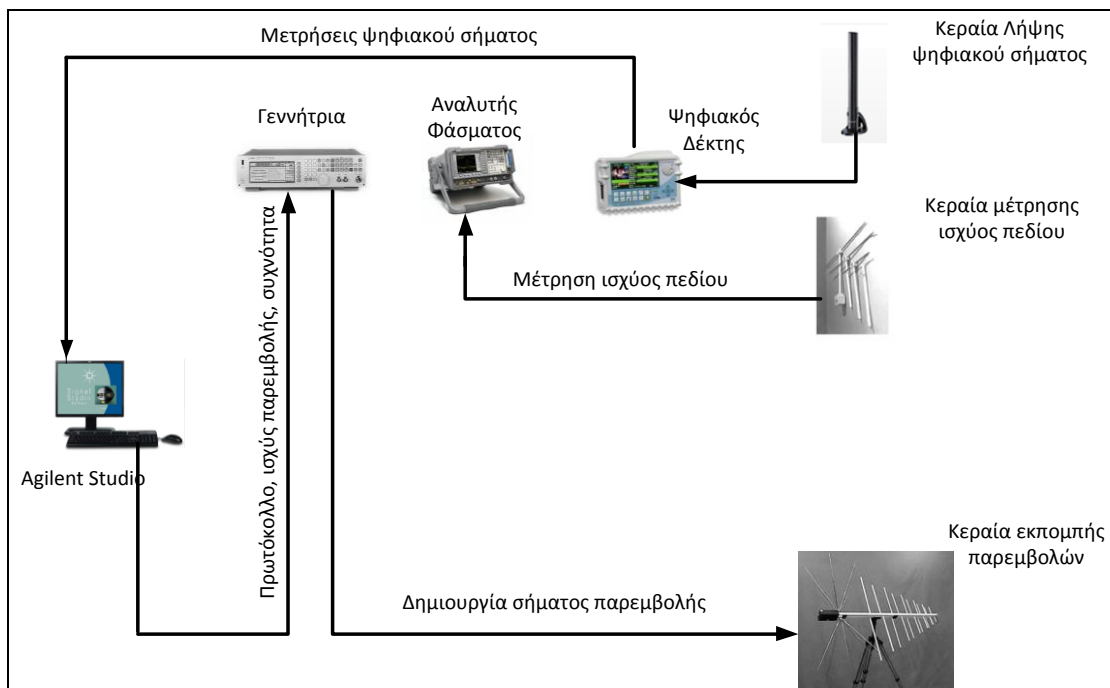


Σχήμα 7.7: Ο αναλυτής φάσματος E4403B-BAS ESA-L Basic Spectrum Analyzer

- Πρόγραμμα επιλογής παραμέτρων (Agilent Signal Studio).

Το κύριο στοιχείο για την διεξαγωγή του πειράματος ήταν το λογισμικό Agilent Studio. Μέσω αυτού περνούσαμε τις κατάλληλες παραμέτρους (συχνότητα, ισχύ, πρωτόκολλο κινητής επικοινωνίας) στην γεννήτρια, και η γεννήτρια με τη σειρά της προωθούσε τις παραμέτρους αυτές στην κεραία εκπομπής κινητής τηλεφωνίας. Επίσης οι μετρήσεις τις οποίες κατέγραφε ο ψηφιακός δέκτης αποθηκευόταν στην βάση δεδομένων του Agilent Studio, για περαιτέρω επεξεργασία. (dataloggers).

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η συνοπτική διάταξη του πειράματος, καθώς και η διαδρομή που ακολουθούσαν τα σήματα μεταξύ των οργάνων.



Σχήμα 7.8: Η συνδεσμολογία του πειράματος.

Κλείνοντας την ενότητα αυτή παρουσιάζουμε τα χαρακτηριστικά του εκπεμπόμενου ψηφιακού σήματος (cine+) στον παρακάτω πίνακα:

Πρότυπο	DVB-T
Διαμόρφωση	COFDM/16-QAM
Τρόπος λειτουργίας	8K φέρουσες
Διάστημα φύλαξης	1/8
Ρυθμός κωδικοποίησης	3/4
Ιεραρχική διαμόρφωση	Δεν υποστηρίζεται

Πίνακας 7.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά cine+.

7.2 Διάταξη του πειράματος

Για της ανάγκες διεξαγωγής του πειράματος, στο κέντρο του εργαστηρίου τοποθετήθηκαν δύο τραπέζια. Το πρώτο βρισκόταν στο κέντρο του εργαστηρίου όπου πάνω του τοποθετήσαμε την κεραία του δέκτη. Το δίπολο, τοποθετήθηκε σε ένα τρίποδο σε κοντινή απόσταση από το τραπέζι ώστε να βρίσκεται στο ίδιο ύψος με την κεραία του δέκτη. Για την όσο το δυνατόν καλύτερη μέτρηση της ισχύος του πεδίου το οποίο αναπτυσσόταν στην κεραία του δέκτη, το δίπολο ήταν βέλτιστα προσανατολισμένο με την κεραία εκπομπής και η απόστασή του με την κεραία λήψης ήταν 30cm. Η διάταξη αυτή απεικονίζεται στην εικόνες 7.9 και 7.10:



Εικόνα 7.9: Το δίπολο και η κεραία λήψης στο χώρο του πειράματος (1).



Σχήμα 7.10: Το δίπολο και η κεραία λήψης στο χώρο του πειράματος (2).

Το δεύτερο τραπέζι τοποθετήθηκε ακριβώς δίπλα από το πρώτο και περιείχε την γεννήτρια, τον παλμογράφο και τον ψηφιακό δέκτη. Το τραπέζι αυτό απέιχε ελάχιστα από το πρώτο έτσι ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση του δέκτη με την κεραία, και του παλμογράφου με το δίπολο. Επίσης τοποθετήθηκε όσο το δυνατόν πιο κοντά στον τοίχο, για να είναι δυνατή η σύνδεση της γεννήτριας με τον Η/Υ, ο οποίος βρισκόταν στον πάγκο του εργαστηρίου.

Η διάταξη των οργάνων για το δεύτερο τραπέζι φαίνεται στις εικόνες 7.11 και 7.12:



Εικόνα 7.11: Η γεννήτρια, ο αναλυτής φάσματος και ο ψηφιακός δέκτης στο χώρο του πειράματος.



Εικόνα 7.12: Ο Η/Υ στον χώρο του πειράματος.

Τέλος η κεραία εκπομπής τοποθετήθηκε στην είσοδο του εργαστηρίου και σε απόσταση 3,5m από την κεραία του ψηφιακού δέκτη, ώστε η τελευταία να βρίσκεται στο μακρινό πεδίο της κεραίας εκπομπής. Επίσης ο κύριος λοβός ακτινοβολίας ήταν βέλτιστα προσανατολισμένος τόσο ως προς το δίπολο όσο και προς την κεραία λήψης του ψηφιακού σήματος. Η κεραία εκπομπής φαίνεται στην εικόνα 7.13.



Εικόνα 7.13: Η κεραία εκπομπής στον χώρο του πειράματος.

7.3 Μετρηθείσες τιμές

Πριν περάσουμε στην ανάλυση της διαδικασίας των μετρήσεων, θα δώσουμε μια συνοπτική περιγραφή των ποσοτήτων τις οποίες καταγράψαμε στο πείραμα:

- Λόγος σήματος προς θόρυβο (Carrier to Noise Ratio- C/N-CNR).

Η συγκεκριμένη τιμή αναφέρεται στο λόγο του φέροντος σήματος προς την ισχύ του παρεμβάλλοντος σήματος και εκφράζεται σε dB. Για παράδειγμα μια τιμή του CNR ίση με 20dB σημαίνει ότι το ωφέλιμο σήμα είναι 100 φορές μεγαλύτερο από το θόρυβο. Αποτελεί έναν από τους βασικούς όρους που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ποιότητας ενός σήματος. Στην πράξη

είναι δύσκολο να μετρηθεί με ακρίβεια διότι δεν είναι δυνατόν να απενεργοποιηθεί ο αναμεταδότης και να μετρηθεί μόνο ο θόρυβος. Τέλος ο ψηφιακός δέκτης ο οποίος χρησιμοποιήσαμε, μετρούσε την τιμή του θορύβου στη συχνότητα $f_{\text{θορύβου}} = f_{\text{συντονισμού}} \pm \frac{1}{2} \cdot \text{εύρος ζώνης καναλιού}$.

- Περιθώριο Θορύβου (Noise Margin).

Το Noise Margin ή CNR Margin (CNRM) μας δείχνει το κατά πόσο η τιμή του CNR που λαμβάνει ο δέκτης, μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, ξεπερνά μια ελάχιστη τιμή κατωφλίου (CNR_{th}), η οποία απαιτείται για την σωστή λήψη του σήματος. Πιο συγκεκριμένα το noise margin δίνεται από τον τύπο:

$$\text{CNRM}(\text{dB}) = \text{CNR}(\text{dB}) - \text{CNR}_{\text{th}}(\text{dB}).$$

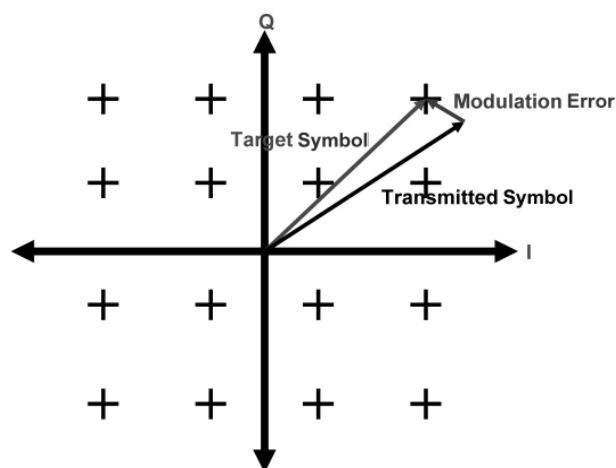
Το noise margin δεν είναι σταθερό, αλλά μεταβάλλεται από τα χαρακτηριστικά που επικρατούν στο κανάλι μετάδοσης (απόσταση, εξασθένιση, ισχύς εκπεμπόμενου σήματος, παρουσία θορύβου στο κανάλι). Το noise margin μετριέται σε dB. Για παράδειγμα αν το απαιτούμενο CNR στο δέκτη πρέπει να είναι 10dB(CNR_{th}) και μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή το μετρούμενο CNR έχει την τιμή 13dB, το noise margin θα είναι 3dB. Αυτό σημαίνει ότι το λαμβανόμενο σήμα στο δέκτη είναι περίπου δύο φορές μεγαλύτερο από το απαιτούμενο κατώφλι για τη σωστή αποκωδικοποίηση του σήματος. Αύξηση του noise margin συνεπάγεται και μείωση της παρουσίας θορύβου στο κανάλι για μια δεδομένη χρονική στιγμή. Αντίστοιχα, αν κάποια στιγμή παρατηρηθεί μείωση του noise margin, αυτό σημαίνει αύξηση της παρουσίας θορύβου στο κανάλι.

- Ισχύς Καναλιού (Power).

Η συγκεκριμένη τιμή μας δείχνει το επίπεδο της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος στο δέκτη. Στο συγκεκριμένο πείραμα, η μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου έγινε με την χρησιμοποίηση της μονάδας dBμV/m, και υποθέτοντας ότι η φασματική πυκνότητα ισχύος είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλο το εύρος ζώνης του καναλιού.

- Ρυθμός Λαθών Διαμόρφωσης (Modulation Error Ratio-MER).

Η τιμή αυτή είναι ένας δείκτης της ποιότητας της διαμόρφωσης και συνδέεται και με τον ρυθμό μετάδοσης λανθασμένων bit, τον οποίο θα εξετάσουμε παρακάτω. Στο σχήμα 7.13 φαίνεται ο σηματοστερισμός ενός 16-QAM σήματος. Ένα τέτοιο σήμα το οποίο δεν έχει υποστεί παραμόρφωση λόγω της παρουσίας θορύβου, θα είχε κατανομημένα και τα 16 σύμβολα στα προβλεπόμενα σημεία του σηματοστερισμού. Σε πραγματικές συνθήκες μετάδοσης (παρεμβολές, εξασθένηση), τα σημεία αυτά αποκλίνουν από τις επιθυμητές θέσεις. Στο σχήμα παρουσιάζεται το διάνυσμα του ιδανικού σημείου το οποίο θέλουμε να μεταδώσουμε. Λόγω παρεμβολών ή εξασθένησης στον διάλο, το μεταδιδόμενο διάνυσμα του σημείου αποκλίνει από το επιθυμητό. Το σφάλμα διαμόρφωσης είναι η διανυσματική διαφορά μεταξύ του ιδανικού συμβόλου και του μεταδιδόμενου.



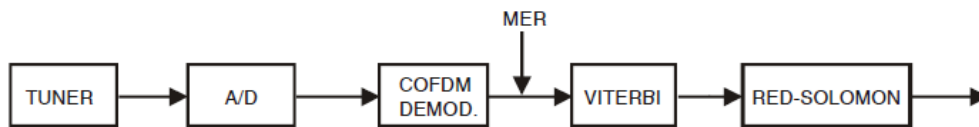
Σχήμα 7.14: Απόκλιση σημείων σηματοστερισμού.

- Ο ρυθμός λαθών διαμόρφωσης ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος των μεταδιδόμενων συμβόλων (P_{Signal}) του σηματοστερισμού προς την ισχύς του σφάλματος διαμόρφωσης (P_{Error}), και η μονάδα μέτρησής του είναι το dB.

$$MER_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{Signal}}{P_{Error}} \right)$$

Ο λόγος αυτός μας δείχνει πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η ισχύς των μεταδιδόμενων συμβόλων, συγκριτικά με το σφάλμα διαμόρφωσης, και για αυτό το λόγο επιθυμούμε η συγκεκριμένη τιμή να λαμβάνει υψηλές τιμές.

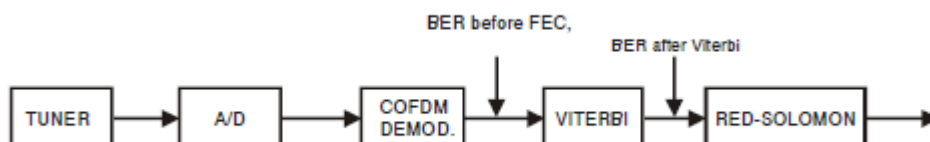
- Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται συνοπτικά ο δέκτης ενός DVB-T συστήματος ο οποίος αποτελείται από την βαθμίδα συντονισμού, τον μετατροπέα από αναλογικό σε ψηφιακό, την βαθμίδα αποδιαμόρφωσης COFDM, τον (εσωτερικό) αποκωδικοποιητή Viterbi και τον (εξωτερικό) αποκωδικοποιητή Reed-Solomon. Στο συγκεκριμένο πείραμα, η μέτρηση της τιμής MER έγινε μετά την βαθμίδα αποδιαμόρφωσης COFDM.



Σχήμα 7.15: Μέτρηση τιμής MER στον ψηφιακό δέκτη.

- Ρυθμός Λανθασμένων bit (Bit Error Rate-BER) πριν και μετά την κωδικοποίηση Viterbi (CBER-VBER).

Ο ρυθμός λανθασμένων bit, μας δείχνει την ποιότητα του ψηφιακού σήματος, εκφράζοντας το πόσο συχνά λαμβάνουμε ένα λανθασμένο bit στην εισερχόμενη ροή δεδομένων. Συνεπώς η τιμή 3×10^{-4} σημαίνει ότι έχουμε τρία λανθασμένα bit για κάθε 10.000bits. Όσο μικρότερη η τιμή του BER τόσο καλύτερη λήψη έχουμε στο δέκτη. Για παράδειγμα η τιμή 5×10^{-9} είναι προτιμότερη από την 3×10^{-4} . Στο συγκεκριμένο πείραμα οι τιμές του BER οι οποίες μετρήθηκαν ήταν πριν την κωδικοποίηση (Channel Bit Error Rate-CBER) και μετά την κωδικοποίηση (Viterbi Bit Error Rate-VBER) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 7.16: Μέτρηση τιμών CBER, VBER στον ψηφιακό δέκτη.

Οι μετρήσεις των παραπάνω πέντε τιμών (Power, C/N, MER,CBER,VBER) γινόταν αυτόματα από τον ψηφιακό δέκτη. Επιπλέον των παραπάνω τιμών μετρούσαμε και την ισχύς (dBm) του πεδίου το οποίο αναπτυσσόταν στο δίπολο με την βοήθεια του αναλυτή φάσματος.

7.4 Διαδικασία Μετρήσεων

Έχοντας αναλύσει τα όργανα του πειράματος, την συνδεσμολογία μεταξύ τους, καθώς και τις τιμές τις οποίες μετρήσαμε, στην ενότητα αυτή περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την διεξαγωγή των μετρήσεων.

Ο κύριος σκοπός του πειράματος ήταν η εύρεση της τιμής της παρεμβάλλουσας ισχύος για κάθε συχνότητα, στην οποία ο δέκτης ήταν σε θέση να πραγματοποιήσει σωστή λήψη του σήματος.

Σαν τιμή εκκίνησης της παρεμβάλλουσας συχνότητας για κάθε πρωτόκολλο κινητής επικοινωνίας, τέθηκαν τα 690MHz, όσο είναι δηλαδή η κεντρική συχνότητα του ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος.

Η πρώτη μέτρηση η οποία λάμβανε χώρα σε κάθε συχνότητα, ήταν απουσία παρεμβολών, για την μέτρηση της ισχύος του πεδίου το οποίο αναπτυσσόταν πολύ κοντά στην κεραία λήψης του ψηφιακού δέκτη,

Κατόπιν μέσω του Agilent Studio, τροφοδοτούσαμε την γεννήτρια με το επιθυμητό πρωτόκολλο κινητής επικοινωνίας, τη συχνότητα και της ισχύ παρεμβολής. Λειτουργώντας πλέον σε περιβάλλον ισχυρών παρεμβολών ο δέκτης δεν ήταν πάντα σε θέση να πραγματοποιήσει την σωστή λήψη του σήματος.

Η εύρεση της ισχύος παρεμβολής στην οποία ο δέκτης λαμβάνει σωστά το τηλεοπτικό σήμα γινόταν μέσω δοκιμών. Έχοντας εντοπίσει τη συγκεκριμένη αυτή ισχύ καταγράψαμε τις μετρήσεις οι οποίες προέρχονταν από τον ψηφιακό δέκτη (Power, CNR,MER,CBER,VBER) καθώς επίσης και την τιμή της ισχύος του αναπτυσσόμενου πεδίου, στην κεραία λήψης του ψηφιακού δέκτη, μέσω του αναλυτή φάσματος. Έπειτα μειώναμε την ισχύ παρεμβολής με βήμα 1dBm με σκοπό, την καταγραφή 9 ακόμα μετρήσεων στην ίδια πάντα συχνότητα.

Έπειτα από την καταγραφή των 10 αυτών μετρήσεων, αυξάναμε τη συχνότητα με βήμα 1MHz και συνεχίζαμε την καταγραφή των αποτελεσμάτων, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία την οποία περιγράψαμε παραπάνω.

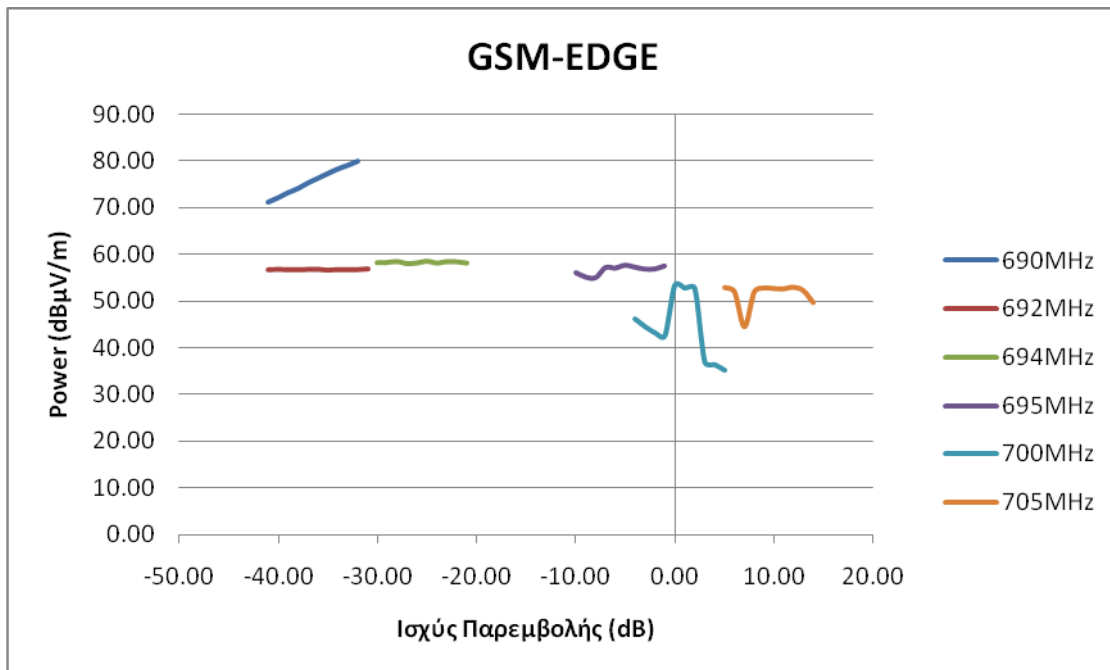
Όπως είδαμε στην ενότητα 7.1, η μέγιστη ισχύς η οποία μπορεί να παρέχει η γεννήτρια, είναι +17dBm. Η εναλλαγή πρωτοκόλλου, καθώς και η τελευταία μέτρηση (για το εκάστοτε πρωτόκολλο) γινόταν στη συχνότητα εκείνη, όπου έχοντας τροφοδοτήσει την γεννήτρια με +17dBm, ο δέκτης ήταν σε θέση να κάνει σωστή λήψη του σήματος.

Το πείραμα ολοκληρωνόταν με την καταγραφή των μετρήσεων και για τα τρία πρωτοκόλλα κινητής επικοινωνίας (WCDMA,TD-SCDMA,GSM-EDGE).

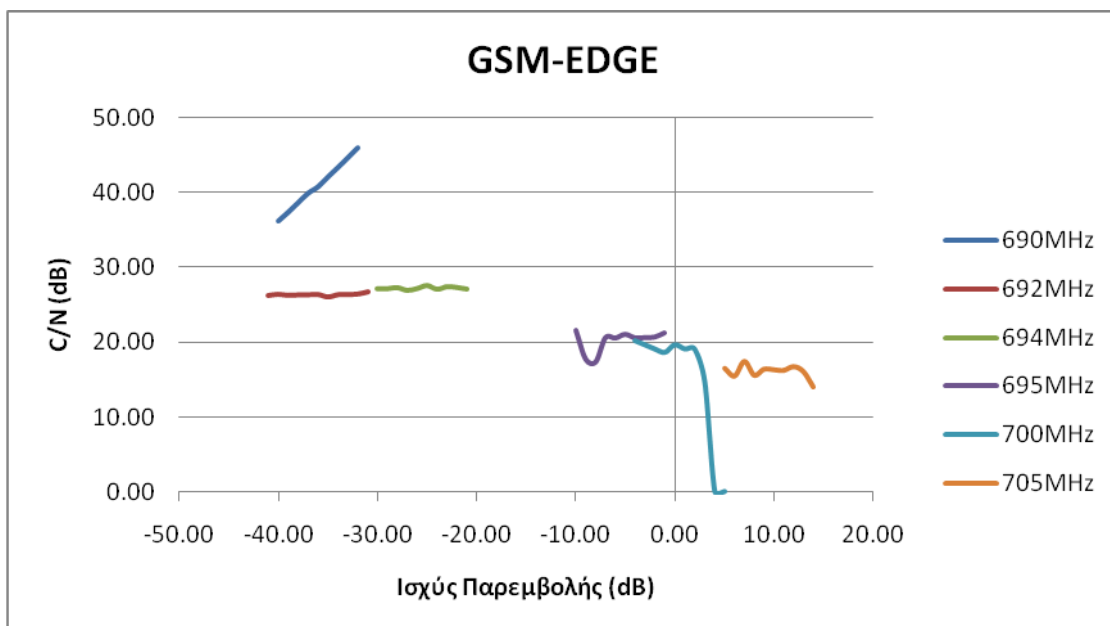
7.5 Αποτελέσματα Μετρήσεων

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων υπό την μορφή διαγραμμάτων. Λόγω του όγκου των μετρήσεων (περίπου 260 στο κάθε πρωτόκολλο) επιλέξαμε την παρουσίαση των αποτελεσμάτων για τις συχνότητες 690,692,694,695,700 και 705MHz. Οι συχνότητες αυτές επιλέχθηκαν με βάση τα χαρακτηριστικά του φάσματος, τόσο του DVB-T καναλιού όσο και των φασματικών χαρακτηριστικών των τριών πρωτοκόλλων κινητής επικοινωνίας. Πιο συγκεκριμένα, επιλέξαμε τις συχνότητες 690,692,694MHz, καθώς βρίσκονται εντός του εύρους φάσματος του καναλιού της ψηφιακής τηλεόρασης (686-694MHz). Η συχνότητα 695MHz επιλέχθηκε για την παρατήρηση της παρεμβολής που δέχεται ο ψηφιακός δέκτης, εκτός του εύρους φάσματος του καναλιού της ψηφιακής τηλεόρασης. Οι δύο τελευταίες συχνότητες επιλέχθηκαν για την αξιολόγηση της ποιότητας του τηλεοπτικού σήματος, παρουσία παρεμβολών οι οποίες βρίσκονται σε μεγάλη φασματική απόσταση (700MHz,705MHz), και λαμβάνουν ιδιαίτερα υψηλές τιμές ισχύος (+5 - +14dBm).

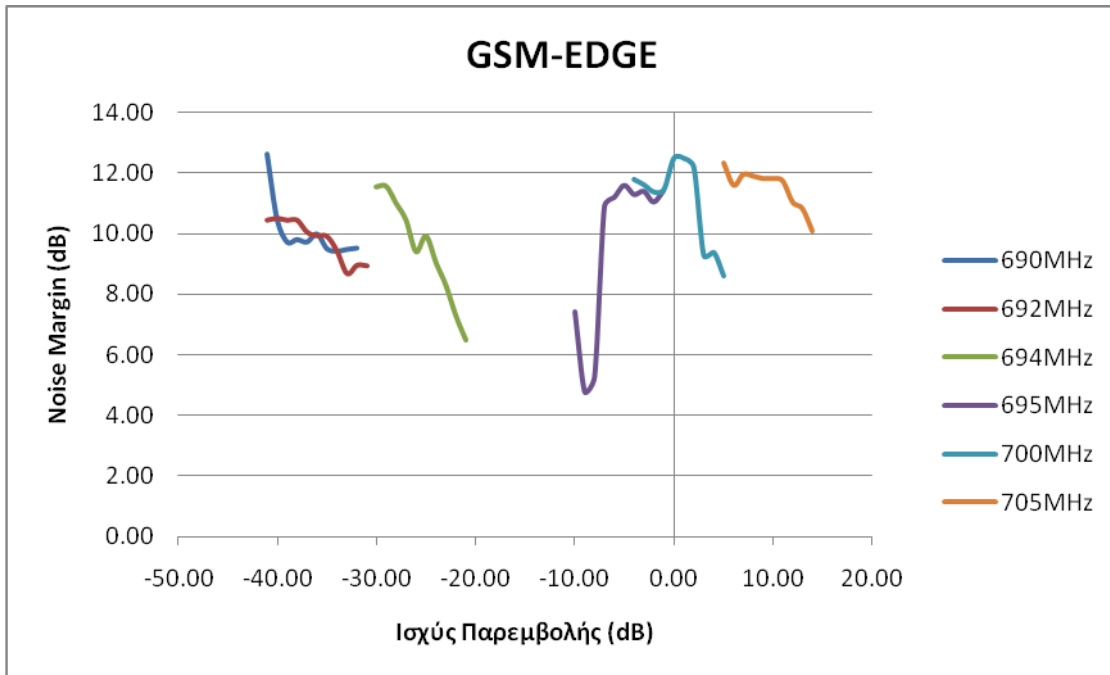
7.5.1 Διαγράμματα πρωτοκόλλου GSM-EDGE.



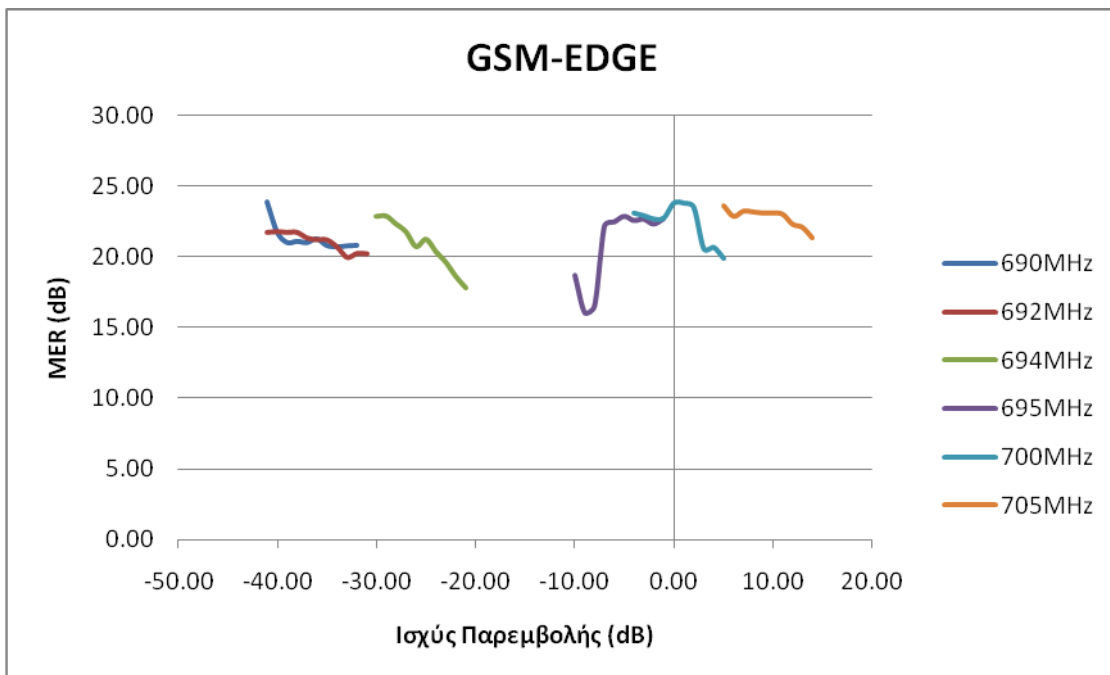
Σχήμα 7.17: Διάγραμμα λαμβανόμενης ισχύος GSM-EDGE.



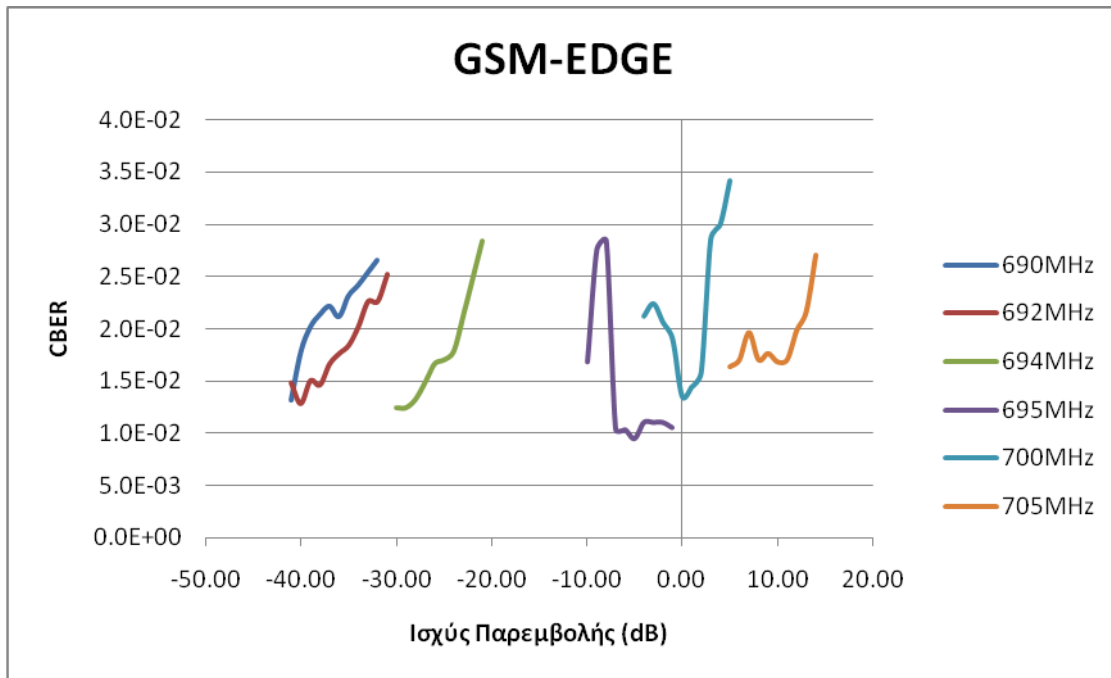
Σχήμα 7.18: Διάγραμμα C/N GSM-EDGE.



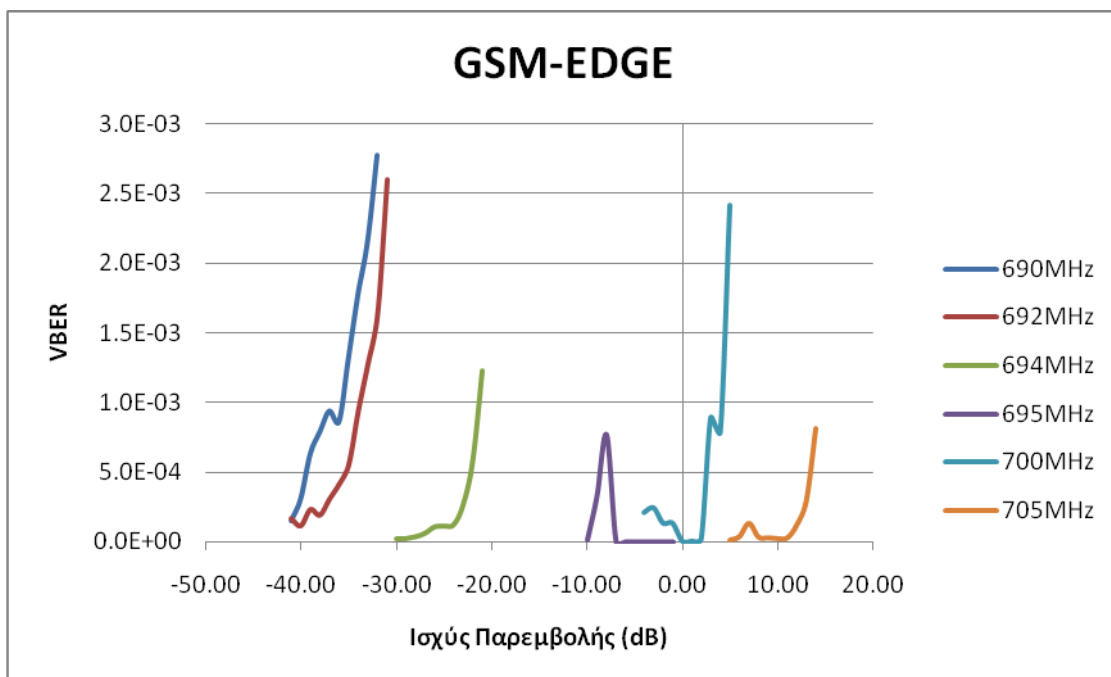
Σχήμα 7.19: Διάγραμμα Noise Margin GSM-EDGE.



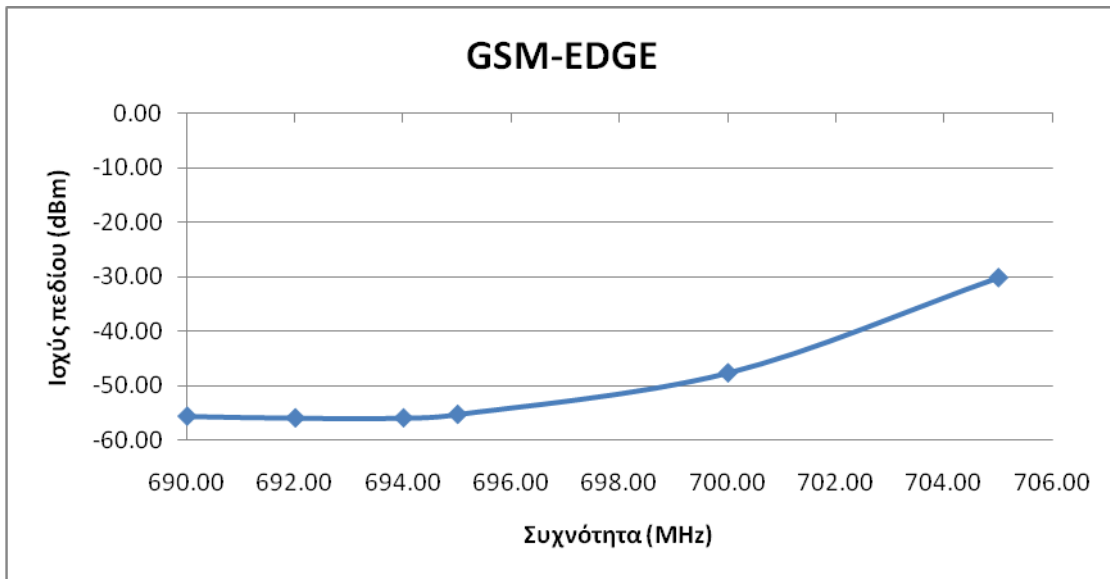
Σχήμα 7.20: Διάγραμμα MER GSM-EDGE.



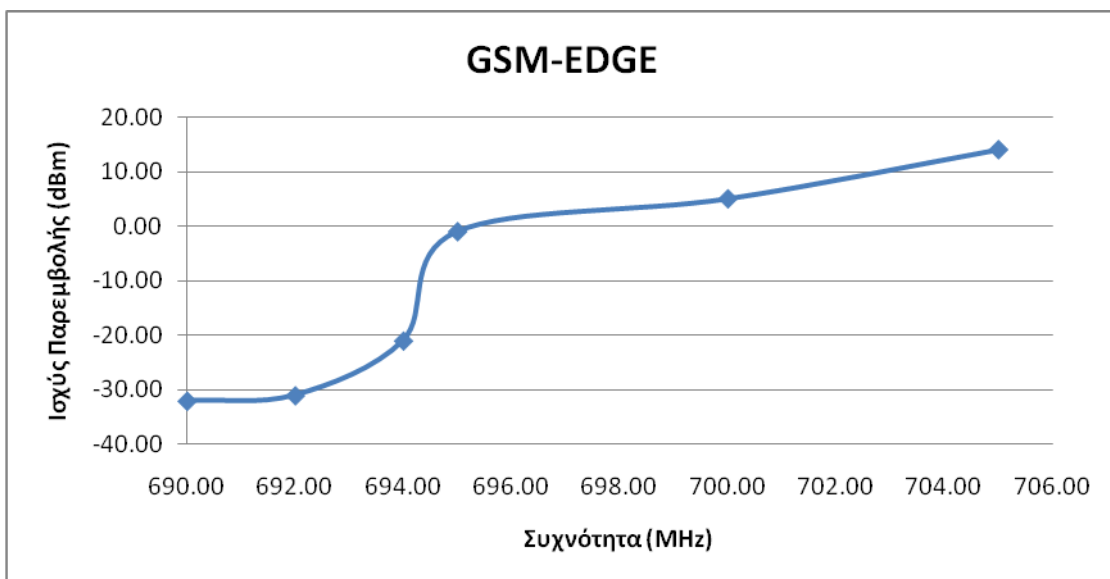
Σχήμα 7.21: Διάγραμμα CBER GSM-EDGE.



Σχήμα 7.22: Διάγραμμα VBER GSM-EDGE.

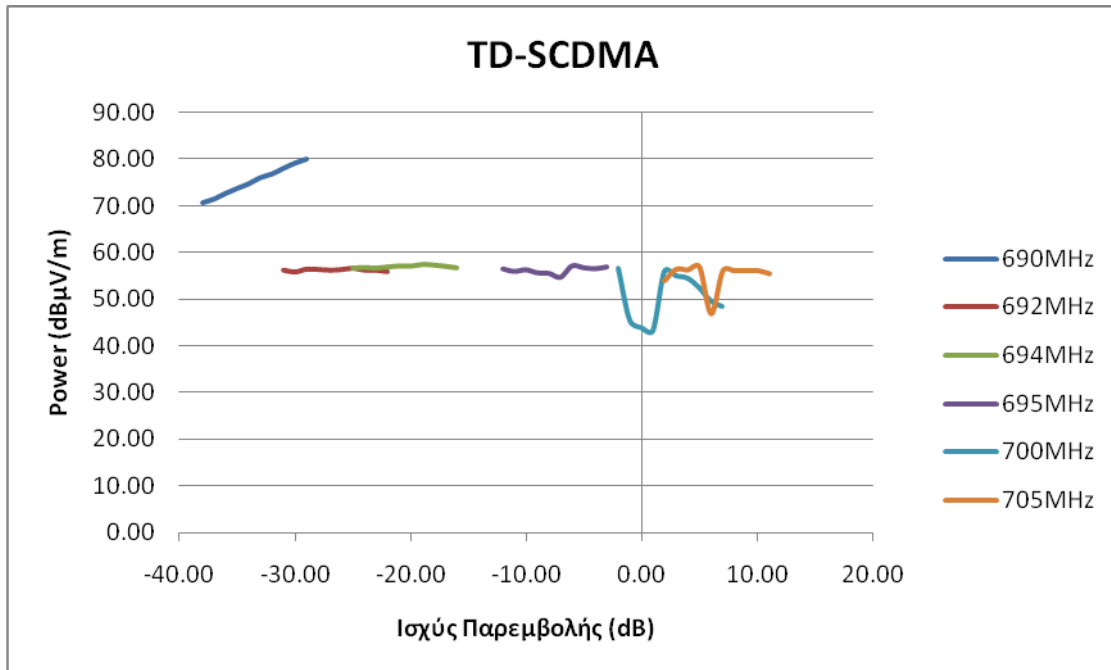


Σχήμα 7.23: Διάγραμμα ισχύος πεδίου GSM-EDGE.

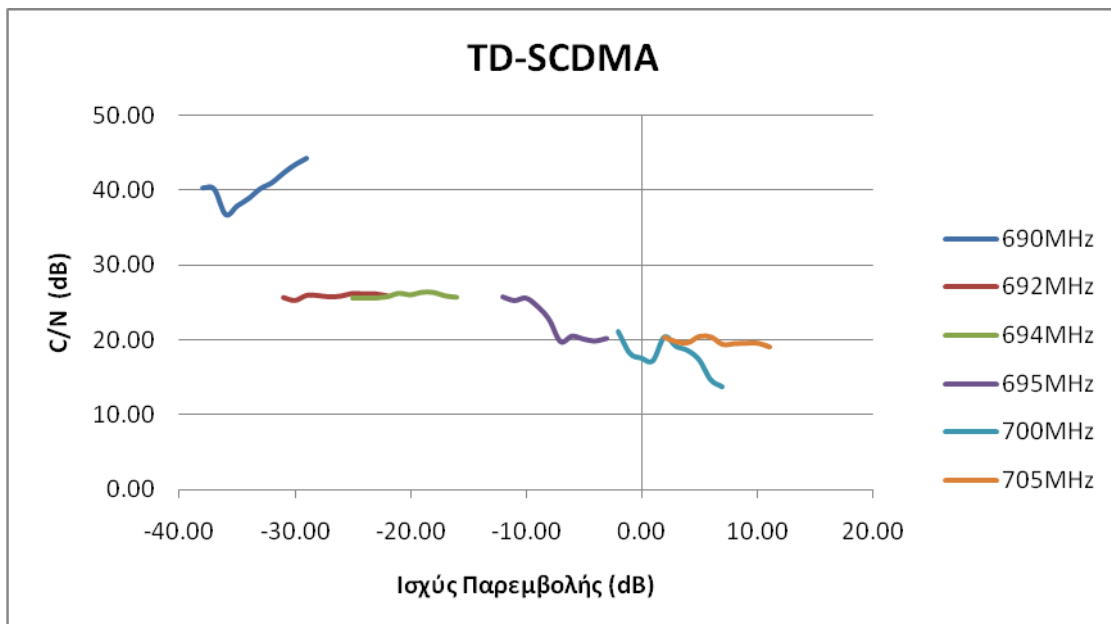


Σχήμα 7.24: Διάγραμμα ισχύος γεννήτριας στην οποία επιτυγχάνεται η σωστή λήψη του σήματος GSM-EDGE.

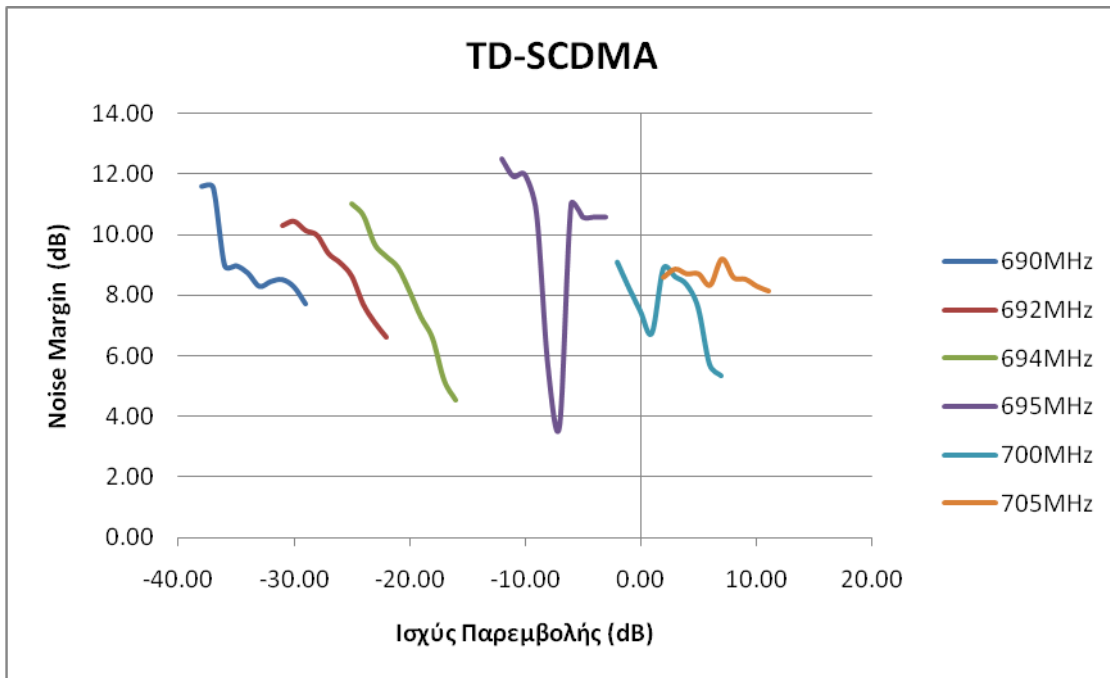
7.5.2 Διαγράμματα πρωτοκόλλου TD-SCDMA



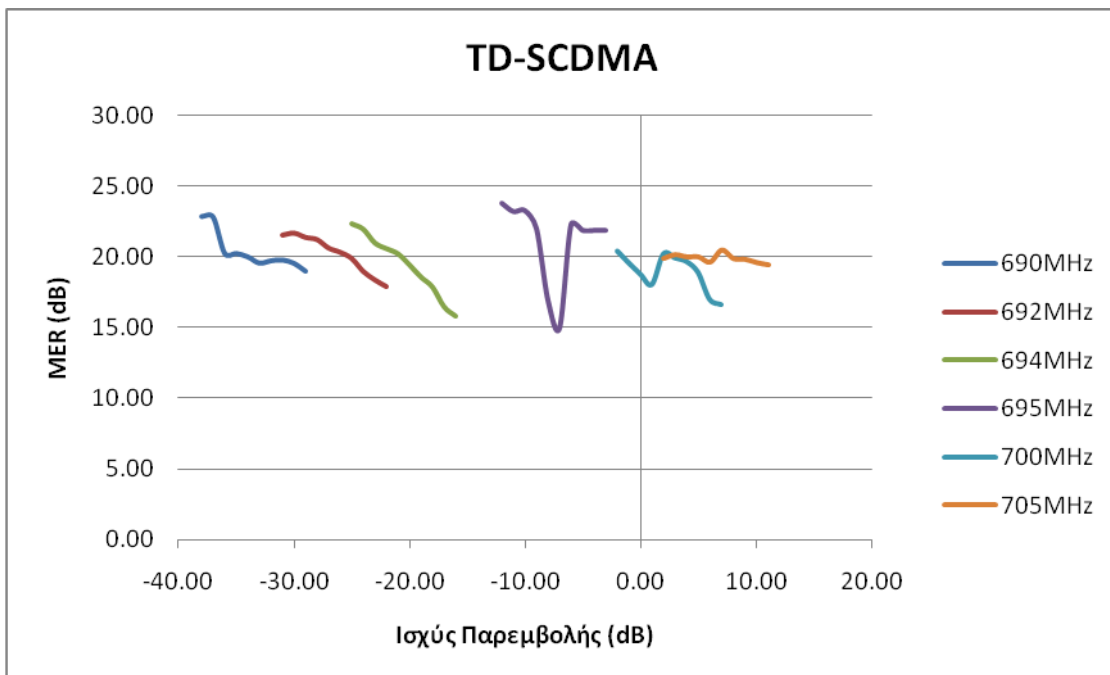
Σχήμα 7.25: Διάγραμμα λαμβανόμενης ισχύος TD-SCDMA.



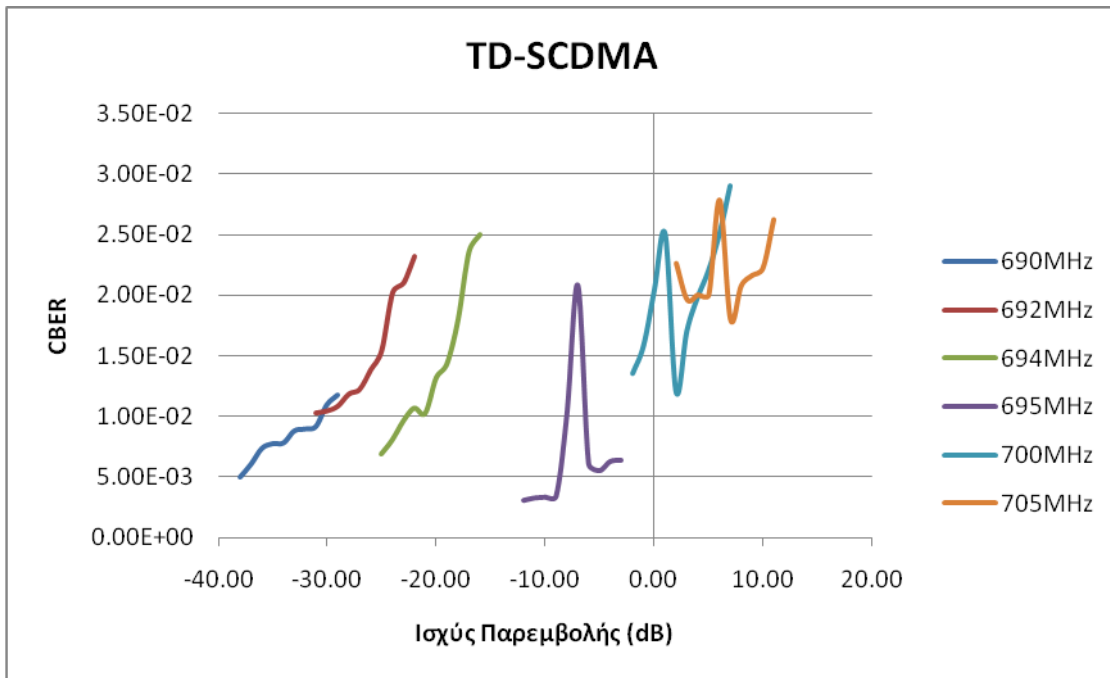
Σχήμα 7.26: Διάγραμμα C/N TD-SCDMA.



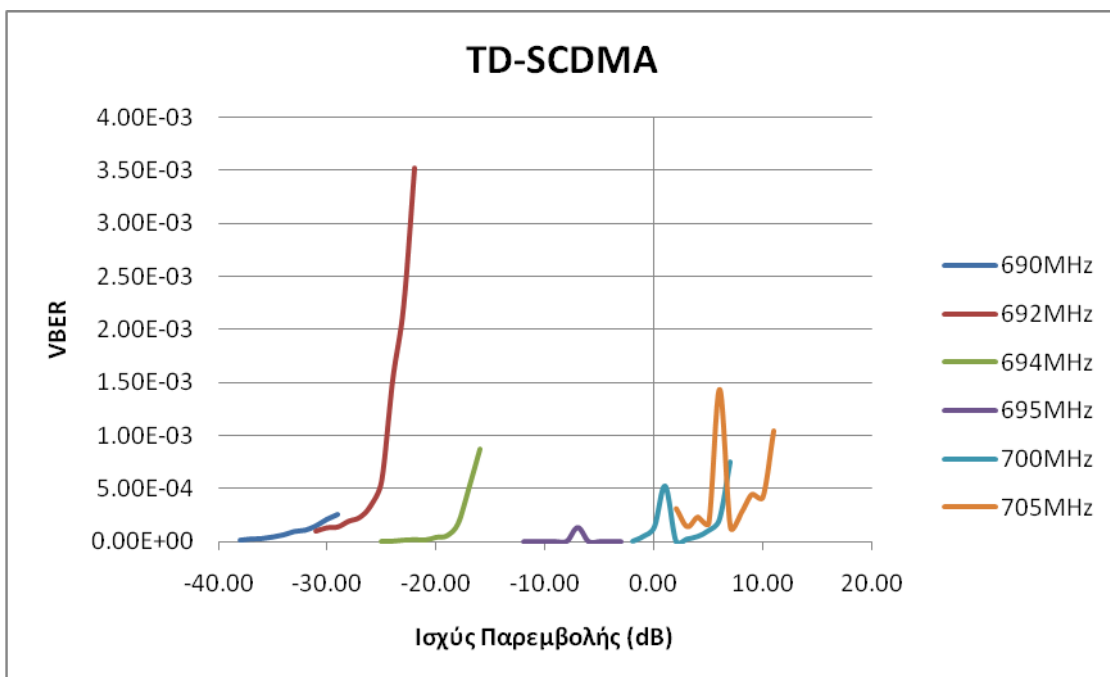
Σχήμα 7.27: Διάγραμμα Noise Margin TD-SCDMA.



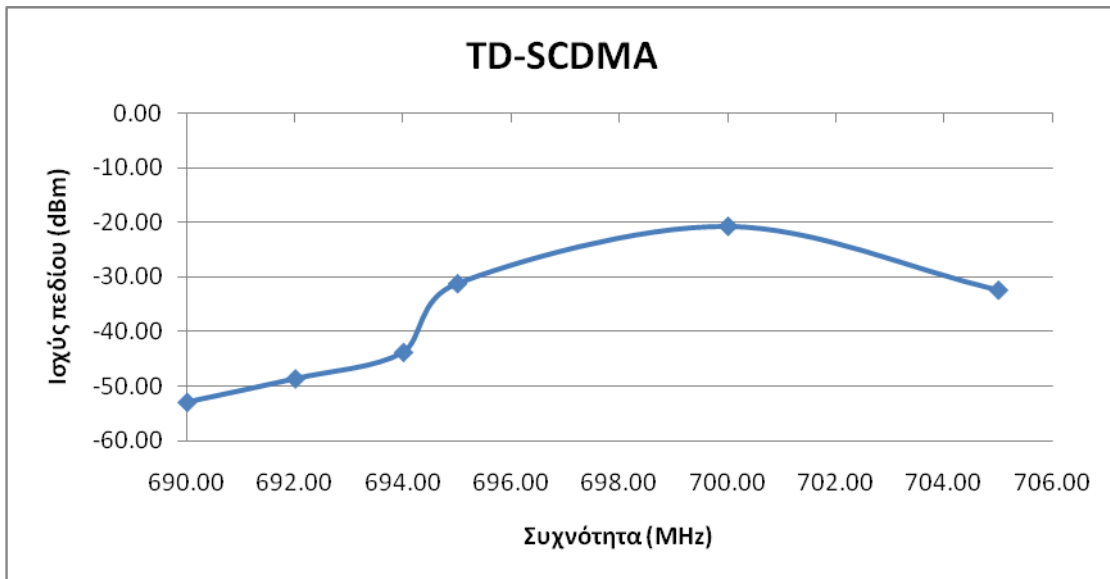
Σχήμα 7.28: Διάγραμμα MER TD-SCDMA.



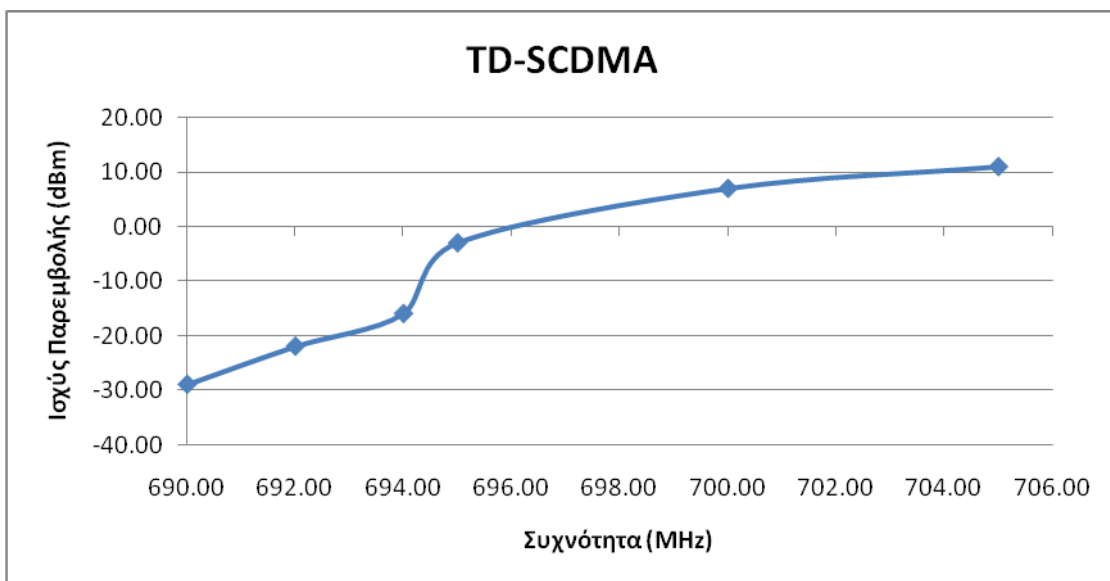
Σχήμα 7.29: Διάγραμμα CBER TD-SCDMA.



Σχήμα 7.30: Διάγραμμα VBER TD-SCDMA.

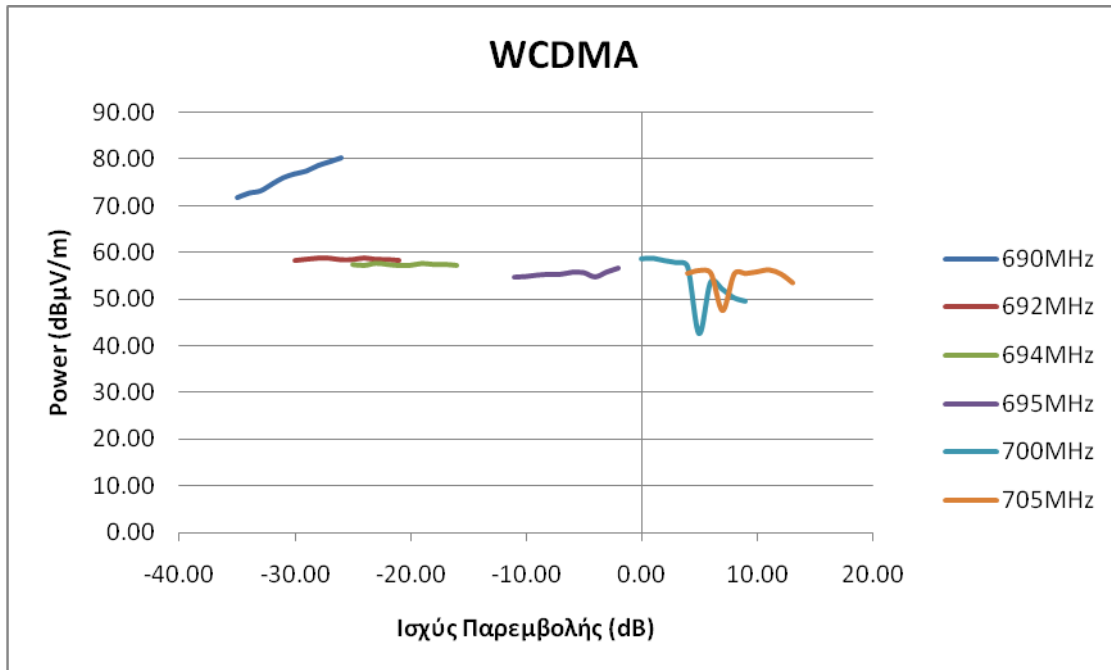


Σχήμα 7.31: Διάγραμμα ισχύος πεδίου TD-SCDMA.

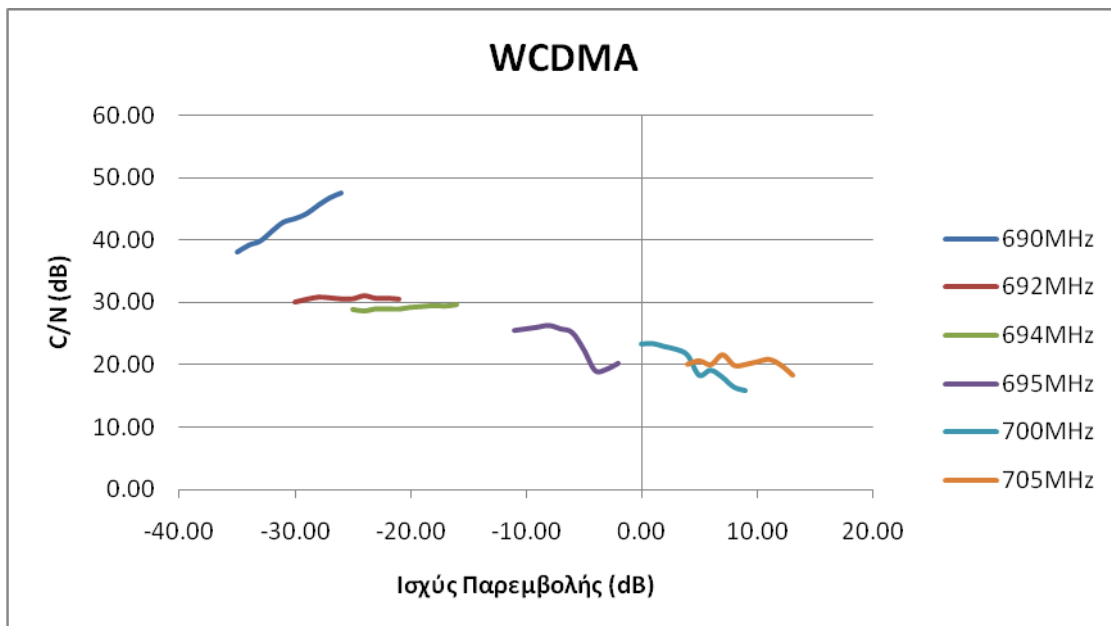


Σχήμα 7.32: Διάγραμμα ισχύος παρεμβολής, στην οποία επιτυγχάνεται η σωστή λήψη του σήματος TD-SCDMA.

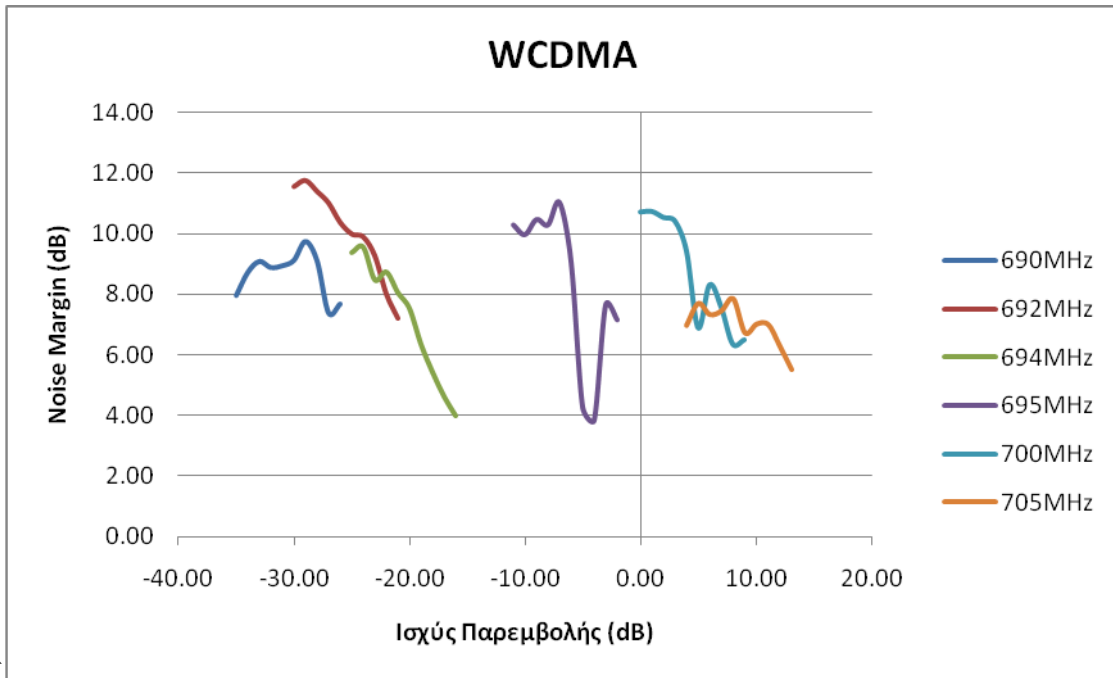
7.5.3 Διαγράμματα πρωτοκόλλου WCDMA.



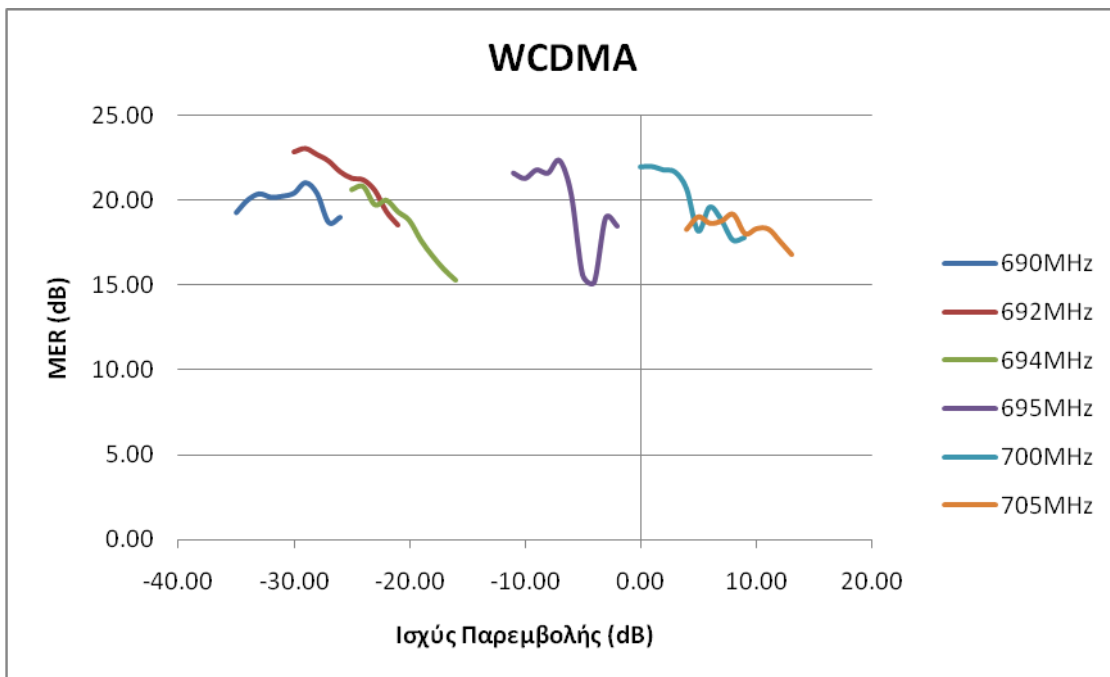
Σχήμα 7.33: Διάγραμμα λαμβανόμενης ισχύος WCDMA.



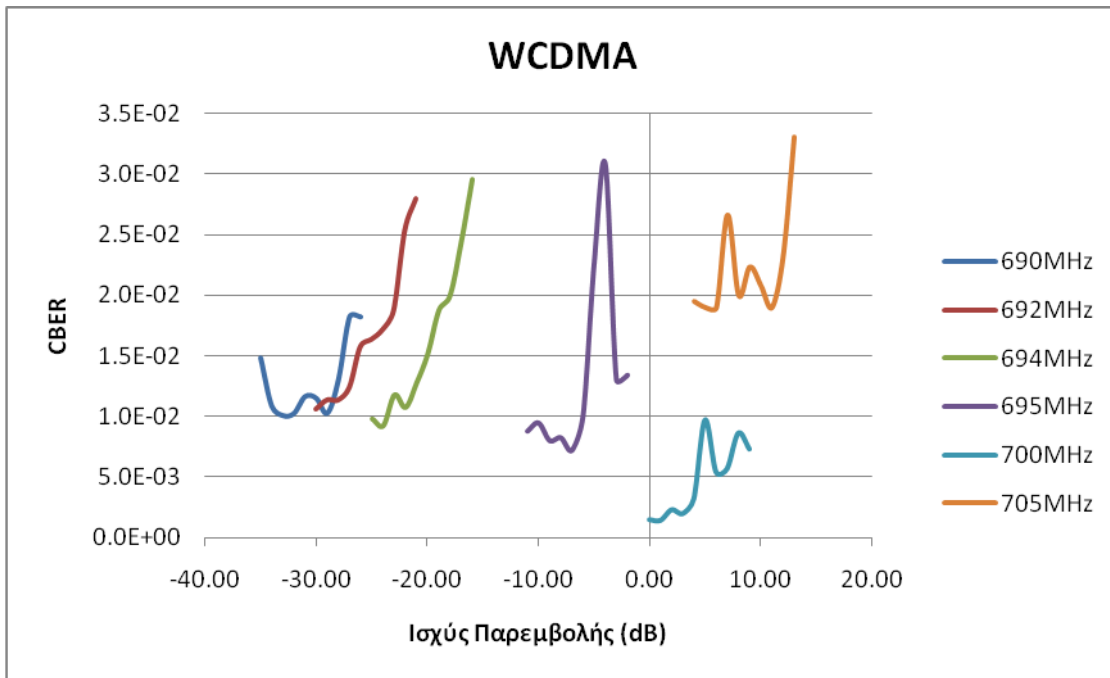
Σχήμα 7.34: Διάγραμμα C/N WCDMA.



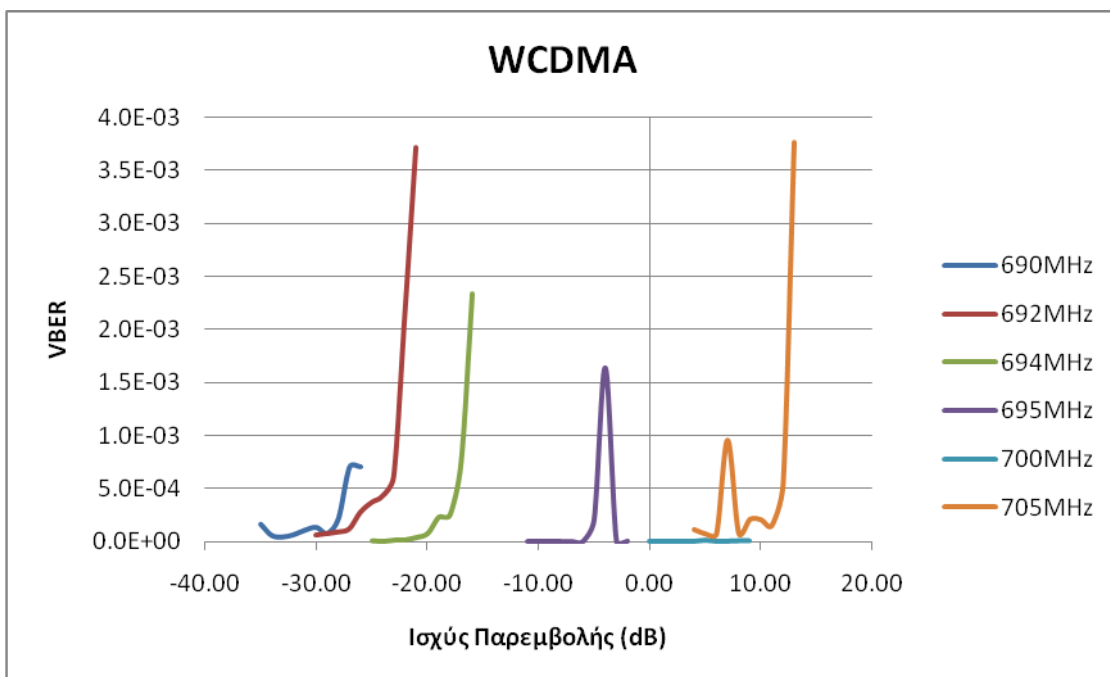
Σχήμα 7.35: Διάγραμμα Noise Margin WCDMA.



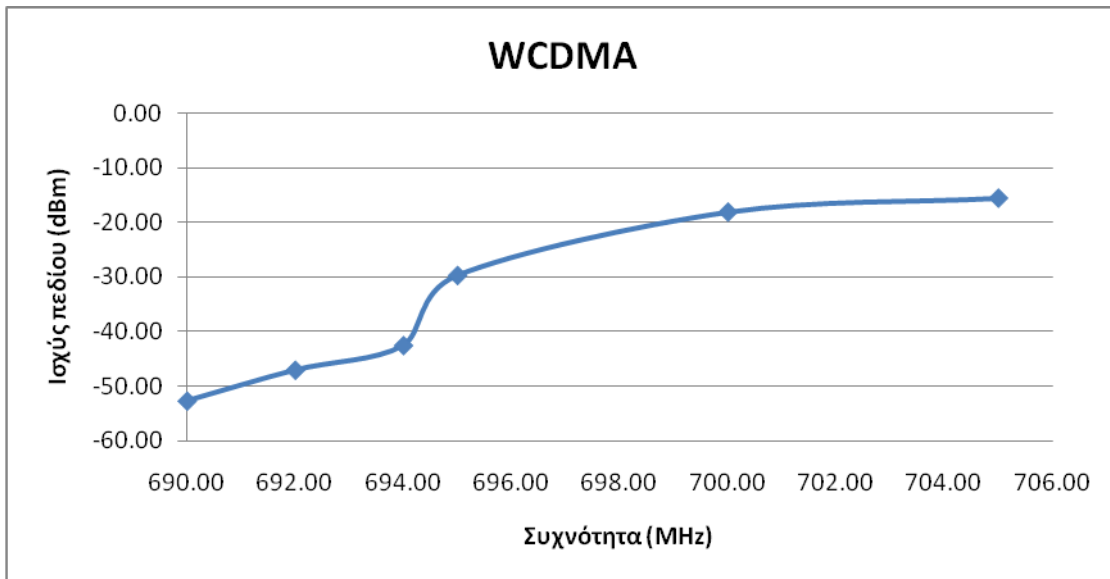
Σχήμα 7.36: Διάγραμμα MER WCDMA.



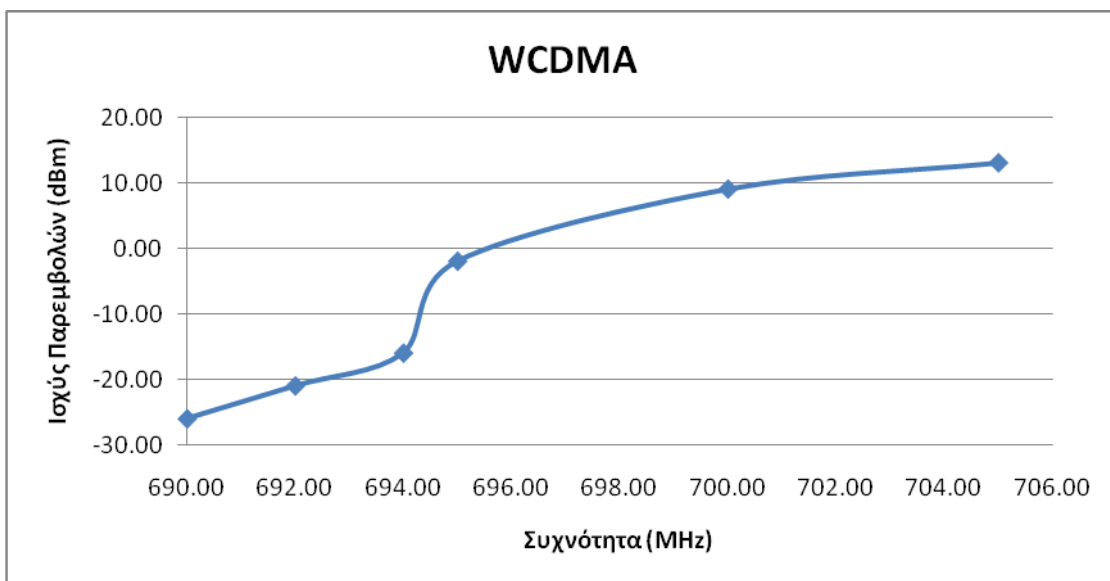
Σχήμα 7.37: Διάγραμμα CBER WCDMA.



Σχήμα 7.38: Διάγραμμα VBER WCDMA.



Σχήμα 7.39: Διάγραμμα ισχύος πεδίου WCDMA.



Σχήμα 7.40: Διάγραμμα ισχύος γεννήτριας, στην οποία επιτυγχάνεται η σωστή λήψη του σήματος WCDMA.

7.6 Παρατηρήσεις επί των διαγραμμάτων.

Η μορφή των παραπάνω διαγραμμάτων εξαρτάται από τρεις παράγοντες οι οποίοι είναι αλληλένδετοι μεταξύ τους. Την ισχύ παρεμβολής, τη συχνότητα στην οποία έγινε η μέτρηση, και τα φασματικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε παρεμβάλλοντος πρωτοκόλλου.

Με απλή εποπτεία των παραπάνω διαγραμμάτων και για τα τρία πρωτόκολλα, παρατηρούμε ότι με αύξηση της συχνότητας αυξάνεται και η ισχύς παρεμβολής στην οποία ο δέκτης είναι σε θέση να κάνει σωστή λήψη του σήματος. Αυτό συμβαίνει καθώς με αύξηση της φασματικής απόστασης μεταξύ του τηλεοπτικού και του παρεμβάλλοντος σήματος, ο τηλεοπτικός δέκτης καθίσταται ανθεκτικότερος στις παρεμβολές και είναι σε θέση να ανακτήσει σωστά το σήμα σε υψηλότερες τιμές παρεμβολών.

Οι παρατηρήσεις για κάθε μετρούμενη τιμή και για τα τρία πρωτόκολλα κινητής επικοινωνίας ακολουθούν παρακάτω:

Λαμβανόμενη ισχύς (Power).

Η τιμή αυτή για όλα τα πρωτόκολλα παραμένει σχεδόν σταθερή στις συχνότητες 692,694,695MHz, και παρουσιάζει σημαντικές αυξομειώσεις για τις συχνότητες, 700 και 705MHz. Η σημαντικότερη διαφορά εστιάζεται στην κεντρική συχνότητα λήψης του τηλεοπτικού σήματος (690MHz), όπου παρατηρούμε και για τα τρία πρωτόκολλα σημαντική μείωση της λαμβανόμενης ισχύς, με ταυτόχρονη μείωση της ισχύος παρεμβολής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην συγκεκριμένη συχνότητα, ο δέκτης δυσκολεύεται να διαχωρίσει το επιθυμητό σήμα από τις παρεμβολές και αναγνωρίζει την παρεμβάλλουσα ισχύ, σαν μέρος του ψηφιακού σήματος. Οπότε με τη μείωση της παρεμβάλλουσας ισχύος, μειώνεται και η ισχύς την οποία μετράει ο δέκτης.

Λόγος σήματος προς θόρυβο (C/N).

Η τιμή αυτή είναι άμεσα συνδεδεμένη με την λαμβανόμενη ισχύ στον δέκτη όπως φαίνεται από όλα τα παραπάνω διαγράμματα. Παρατηρούμε, για όλα τα πρωτόκολλα μείωση στη συχνότητα 690MHz, σταθερότητα στις συχνότητες 692 και 694MHz, αυξητική τάση στις συχνότητες 695 και 700 MHz, και σταθερότητα στη συχνότητα

705MHz συγκριτικά πάντα με την μείωση της παρεμβάλλουσας ισχύος για κάθε συχνότητα.

Ρυθμός Μετάδοσης Λαθών (MER).

Με την μείωση των παρεμβολών για κάθε συχνότητα και για όλα τα πρωτόκολλα, το MER έχει μια αυξητική τάση, καθώς μειώνονται τα λάθη διαμόρφωσης λόγω της μείωσης του θορύβου. Η τιμή αυτή έχει άμεση επίπτωση τόσο στο CBER όσο και στο VBER, καθώς με μείωση των λαθών διαμόρφωσης, ο δέκτης είναι σε θέση να διακρίνει πιο εύκολα τα μεταδιδόμενα σύμβολα, και άρα μειώνεται και ο ρυθμός των εσφαλμένων bits. Επίσης είναι ανάλογος του Noise Margin καθώς αύξηση του MER υποδηλώνει μείωση του θορύβου στο κανάλι και άρα αύξηση του περιθωρίου θορύβου.

Περιθώριο Θορύβου (Noise Margin).

Για την τιμή αυτή παρατηρούμε για όλα τα πρωτόκολλα, και σε όλες τις συχνότητες μια αυξητική τάση με μείωση των παρεμβολών. Το φαινόμενο αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς με μείωση της παρεμβάλλουσας ισχύος και άρα μείωση του θορύβου στον δέκτη, το περιθώριο θορύβου αυξάνεται.

Ρυθμός Λανθασμένων bit πριν και μετά την κωδικοποίηση (CBER-VBER).

Οι δύο τιμές αυτές είναι αλληλένδετες μεταξύ τους όπως φαίνεται στα παραπάνω σχήματα. Για όλα τα πρωτόκολλα και όλες τις συχνότητες παρατηρούμε μείωση των λανθασμένων bit καθώς μειώνεται η ισχύς παρεμβολών.

Η ανθεκτικότητα του σήματος έναντι των παρεμβολών, λόγω της αύξησης της φασματικής απόστασης απεικονίζεται και για τα τρία πρωτόκολλα, στα διαγράμματα των παραπάνω τιμών, και φαίνεται ευκρινέστερα τόσο στα διαγράμματα της ισχύος παρεμβολών, όσο και στα διαγράμματα της ισχύος πεδίου.

Στα δύο αυτά διαγράμματα και για τα τρία πρωτόκολλα, παρατηρούμε μια αξιοσημείωτη αύξηση της ισχύος παρεμβολής και της ισχύος πεδίου στις συχνότητες 694-695MHz, η οποία συνεχίζει να αυξάνει με την περαιτέρω αύξηση της φασματικής απόστασης, καθώς το σήμα γίνεται ανθεκτικότερο στην παρουσία θορύβου.

Αυτό συμβαίνει καθώς στη συχνότητα 695MHz το εύρος ζώνης των σημάτων GSM-EDGE και TD-SCDMA έχει μεταφερθεί εκτός εύρους ζώνης του τηλεοπτικού καναλιού, με αποτέλεσμα το επιθυμητό σήμα να καθίσταται ανθεκτικότερο στις

παρεμβολές, και ο δέκτης μπορεί να κάνει λήψη του σήματος σε υψηλότερες τιμές της παρεμβάλλουσας ισχύος. Τα παραπάνω ισχύουν και για το πρωτόκολλο WCDMA παρόλο που μέρος του εύρους ζώνης του βρίσκεται εντός του καναλιού της τηλεόρασης. Για τη συχνότητα 695MHz το εύρος ζώνης, η φασματική απόσταση, και η μεταβολή της παρεμβάλλουσας ισχύος και της ισχύος πεδίου για κάθε πρωτόκολλο παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

	Φασματική απόσταση από το τηλεοπτικό κανάλι (MHz)	Μεταβολή Ισχύος παρεμβολής 694-695MHz (dBm)	Μεταβολή Ισχύος πεδίου 694-695MHz (dBm)
GSM-EDGE	0.9	+20	+17.48
TD-SCDMA	0.2	+13	+12.59
WCMDA	-	+14	+12.83

Πίνακας 7.6: Χαρακτηριστικά πρωτοκόλλων στη συχνότητα 695MHz.

Οι τιμές που καταγράψαμε δεν είχαν εξάρτηση μόνο από την αύξηση της φασματικής απόστασης και της ισχύος παρεμβολών, αλλά και από τα φασματικά χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων κινητής επικοινωνίας.

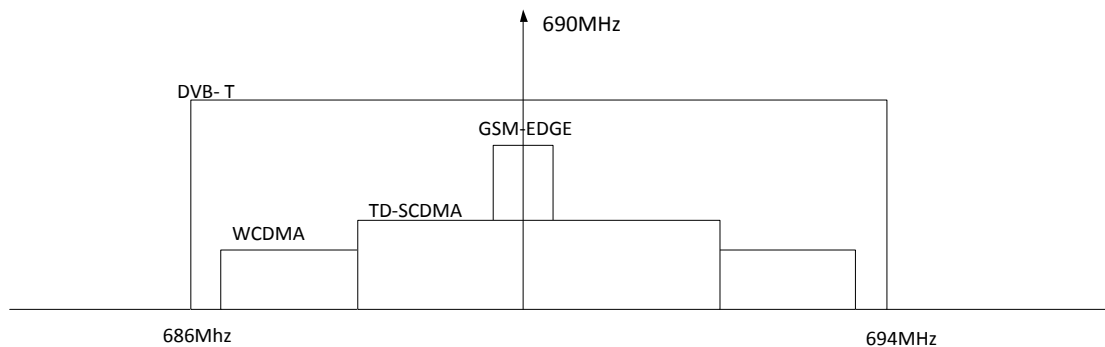
Πιο συγκεκριμένα, για τη συχνότητα 690MHz, το GSM-EDGE απαιτεί την χαμηλότερη ισχύ παρεμβολών (-32dBm) για να μπορέσει ο δέκτης να αποκωδικοποιήσει σωστά το λαμβανόμενο σήμα, ενώ αντίστοιχα ο δέκτης είναι σε θέση να λάβει το σήμα σε υψηλότερη ισχύ παρεμβολών (-29dBm) όταν χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο TD-SCDMA. Αυτό συμβαίνει καθώς το εύρος φάσματος του GSM-EDGE είναι 0.2MHz, με αποτέλεσμα η φασματική πυκνότητα ισχύος του να συγκεντρώνεται πολύ κοντά στην κεντρική συχνότητα λήψης του τηλεοπτικού σήματος (689.9-690.1). Το γεγονός αυτό καθιστά το τηλεοπτικό σήμα ιδιαίτερα ευάλωτο στην παρουσία θορύβου.

Αντιθέτως, με την χρησιμοποίηση της τεχνικής εξάπλωσης του φάσματος στο TD-SCDMA, η φασματική πυκνότητα ισχύος κατανέμεται ομοιόμορφα σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων του τηλεοπτικού καναλιού (689.2-690.8MHz) με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται η κεντρική συχνότητα σε τόσο μεγάλο βαθμό συγκριτικά με το GSM-EDGE.

Καθώς και το πρωτόκολλο WCDMA κάνει χρήση της τεχνικής διασποράς φάσματος, παρατηρούμε ότι ο δέκτης λαμβάνει σωστά το σήμα σε ακόμα υψηλότερες τιμές

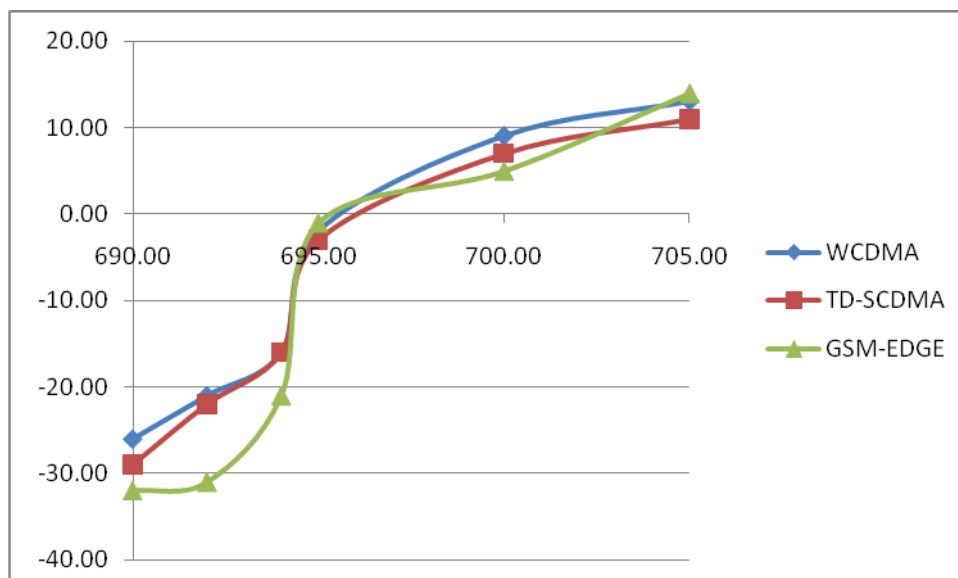
παρεμβολών (-26dBm), και αυτό γιατί η φασματική πυκνότητα ισχύος κατανέμεται σε μεγαλύτερο εύρος φάσματος από ότι στο TD-SCDMA με αποτέλεσμα το τηλεοπτικό σήμα να καθίσταται ανθεκτικότερο στην συγκεκριμένη παρεμβολή.

Η κατανομή της φασματικής πυκνότητας ισχύος για τα τρία πρωτόκολλα στη συχνότητα 690MHz εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 7.41: Κατανομή φασματικής πυκνότητας ισχύος στη συχνότητα 690MHz.

Τέλος στο σχήμα 7.41 παρατηρούμε ότι με χρήση του πρωτοκόλλου WCDMA ο δέκτης ξεκινάει να λαμβάνει σωστά το σήμα σε υψηλότερες τιμές της παρεμβάλλουσας ισχύος συγκριτικά με τα άλλα δύο πρωτόκολλα για όλες τις συχνότητες με εξαίρεση τις συχνότητες 695MHz και 705MHz όπου το GSM υπερτερεί ελαφρώς κατά 1dBm.



Σχήμα 7.42: Ισχύς παρεμβολής στην οποία ο δέκτης ξεκινάει να λαμβάνει σωστά το σήμα και για τα τρία πρωτόκολλα.

Όλα τα παραπάνω διαγράμματα και παρατηρήσεις έγιναν λαμβάνοντας υπόψη και τα διάφορα σφάλματα μετρήσεων που μπορούσαν να υπάρξουν, καθώς οι μετρήσεις

γίνονταν σε πραγματικό περιβάλλον στο εργαστήριο. Επίσης τα όργανα των μετρήσεων παρουσιάζουν και αυτά κάποια σφάλματα μετρήσεων.

7.7 Συμπεράσματα

Όπως είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια με την ολοκλήρωση της ψηφιακής μετάβασης, θα απελευθερωθούν αρκετά κανάλια τα οποία μέχρι πρότινος ήταν δεσμευμένα για χρήση αναλογικής τηλεόρασης. Τόσο η ΕΕ όσο και η ITU (WRC-07) έχουν προτείνει την χρήση της ζώνης 790-862MHz, σαν ψηφιακό μέρος. Παρόλαυτα, δεν είναι δυνατόν όλες οι χώρες να εναρμονιστούν με αυτήν την οδηγία, είτε λόγω κατηλλειμένων διαύλων στις συχνότητες αυτές (στρατιωτικές υπηρεσίες), είτε διότι προτιμούν την επιλογή διαφορετικών συχνοτήτων για την εκμετάλλευσή τους σαν ψηφιακό μέρος.

Σε μια τέτοια περίπτωση που κάποια χώρα επιλέξει τη χρήση διαφορετικών συχνοτήτων από αυτές που προτείνουν οι διεθνείς οργανισμοί, για ανάπτυξη κινητών υπηρεσιών είναι αρκετά πιθανό στα σύνορά της, αυτές οι υπηρεσίες να προκαλέσουν παρεμβολές στους ψηφιακούς τηλεοπτικούς δέκτες των όμορων χωρών.

Η παρούσα διπλωματική επικεντρώθηκε στην προσομοίωση μιας τέτοιας πιθανότητας, χρησιμοποιώντας κινητές υπηρεσίες τρίτης και 2,5G γενιάς. Από την ανάλυση που προηγήθηκε στις παραπάνω ενότητες, συμπεραίνουμε ότι η ευαισθησία ενός ψηφιακού τηλεοπτικού δέκτη είναι ιδιαίτερα υψηλή, έναντι των παρεμβολών από κινητές υπηρεσίες οι οποίες λειτουργούν εντός εύρους ζώνης του τηλεοπτικού καναλιού. Επίσης το τηλεοπτικό σήμα είναι ανθεκτικότερο στις παρεμβολές από σήματα τα οποία χρησιμοποιούν τεχνικές εξάπλωσης φάσματος. Όσο μεγαλύτερο είναι το φάσμα του παρεμβάλλοντος πρωτοκόλλου, τόσο πιο ανθεκτικό γίνεται το τηλεοπτικό σήμα, καθώς η φασματική πυκνότητα ισχύος του παρεμβάλλοντος σήματος εξαπλώνεται σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων και για αυτό το λόγο η κεντρική συχνότητα του τηλεοπτικού επηρεάζεται λιγότερο από τις παρεμβολές. Με τη μετατόπιση του φάσματος των παρεμβάλλοντων σημάτων εκτός εύρους ζώνης του τηλεοπτικού καναλιού, το επιθυμητό σήμα καθίσταται ακόμα ανθεκτικότερο στις παρεμβολές. Και σε αυτή τη περίπτωση ο δέκτης είναι σε θέση να ανακτήσει σωστά το τηλεοπτικό σήμα σε υψηλότερες τιμές της παρεμβάλλουσας ισχύος με τη χρήση των WCDMA, TD-SCDMA συγκριτικά με το GSM-EDGE. Τέλος όταν το παρεμβάλλον, και το τηλεοπτικό σήμα βρίσκονται σε

αρκετά μακρινές φασματικές αποστάσεις μεταξύ τους, το τηλεοπτικό σήμα είναι ιδιαίτερα εύρωστο στις παρεμβολές καθώς απαιτούνται αρκετά μεγάλες τιμές της ισχύος παρεμβολής για να μην μπορέσει να γίνει σωστή λήψη του. Στην περίπτωση αυτή η ανθεκτικότητα του τηλεοπτικού σήματος οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ύπαρξη της μεγάλης φασματικής απόστασης και λιγότερο στα χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων κινητής επικοινωνίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Α. Κανατάς, Φ. Κωνσταντίνου, Γ. Πάντος (2008), *Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- [2] Π. Κωττής, Χ. Καψάλης (2006), *Δορυφορικές Επικοινωνίες*, Εκδόσεις Τζιόλα 2^η Έκδοση.
- [3] Μ. Θεολόγου, *Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών (2007)*, Εκδόσεις Τζιόλα.
- [4] J. Korhonen, *Introduction to 3G Mobile Communications (2003)*, Εκδόσεις Artech House, 2^η Έκδοση.
- [5] J. Schiller, *Mobile Communications (2003)*, Εκδόσεις Addison-Wesley, 2^η Έκδοση.
- [6] H. Holma, A. Toskala, *WCDMA, for UMTS Radio Access for Third Generation Mobile Communications (2004)*, Εκδόσεις Wiley, 3^η Έκδοση.
- [7] Siemens White Paper, *TD-SCDMA: The solution for TDD bands (2004)*.
- [8] J. Arnold, M. Frater, M. Pickering, *Digital Television Technology and Standards (2007)*, Εκδόσεις Wiley.
- [9] H. Benoit, *Digital Television Satellite, Cable, Terrestrial, IPTV, Mobile TV in the DVB framework (2008)*, Εκδόσεις Focal Press 3^η Έκδοση.
- [10] M. Alencar, *Digital Television Systems (2009)*, Εκδόσεις Cambridge University Press
- [11] U. Reimers, *DVB The Family of International Standards for Digital Video Broadcasting (2005)*, Εκδόσεις Springer 2^η Έκδοση.
- [12] Γ. Γαρδίκης, Διδακτορική Εργασία, *Παροχή υπηρεσιών TCP/IP σε συστήματα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης (DVB-T) (2004)*.
- [13] ETSI EN 200 744 v 1.6.1, *Digital Video Broadcasting; Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television*.
- [14] Draft CEPT Report 30, *The identification of common and minimal (least restrictive) technical conditions for 790-862MHz for the digital dividend in the European Union*.
- [15] EBU-UER, *Accommodation of HDTV in the GE06 plan (2009)*.

- [16] X. Καυιάλης, *Χάρτης Συχνοτήτων Πλάνου Ψηφιακής Τηλεόρασης (2008)*.
<http://video.minpress.gr>
- [17] EBU-UER, *Digital Dividend and other questions on Spectrum Policy and Broadcasting (2007)*. <http://www.ebu.ch>
- [18] Analysys Mason, *'Exploiting the digital dividend'- a European approach (2009)*,
www.analysysmason.com. (Επιτελική σύνοψη στα ελληνικά www.eett.gr).
- [19] AEGIS spectrum engineering, *'Review of Digital Dividend Options in Greece'*,
(2009), www.aegis-systems.co.uk. (Επιτελική σύνοψη στα ελληνικά www.eett.gr).
- [20] *Digital Dividend Update (June 2010)* www.gsacom.com.
- [21] <http://en.wikipedia.org/>
- [22] <http://www.radio-electronics.com>
- [23] <http://www.dvb.org>
- [24] <http://www.td-forum.org/en/>
- [25] <http://www.3gpp.org/>
- [26] <http://www.umts-forum.org/>