



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**Ανάλυση και μέτρηση παρεμβολής στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση
από κινητές υπηρεσίες (LTE FDD, LTE TDD, CDMA2000)**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Δ. Μαμαρέλης

Επιβλέπων : Χρήστος Καψάλης
Καθηγητής 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 παρεμβολής στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση
από κινητές υπηρεσίες (LTE FDD, LTE TDD, CDMA2000)**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Δ. Μαμαρέλης

Επιβλέπων : Χρήστος Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Ιούλιο 2010

.....
Χρήστος Καψάλης
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Παναγιώτης Κωττής
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Φίλιππος Κωνσταντίνου
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2010

.....

Γεώργιος Δ. Μαμαρέλης

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

Copyright © Γεώργιος Μαμαρέλης, 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.

Στην οικογένεια μου...

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την παρεμβολή που προκαλούν υπηρεσίες κινητής επικοινωνίας (συγκεκριμένα τα πρωτόκολλα LTE FDD, LTE TDD, CDMA2000) στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση.

Αρχικά παρουσιάζεται μια ανάλυση σε θεωρητικό επίπεδο τόσο της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης και συγκεκριμένα του προτύπου DVB-T όσο και των πρωτοκόλλων κινητής επικοινωνίας που αναφέρθηκαν παραπάνω. Στην συνέχεια εξηγείται το ψηφιακό μέρισμα που θα προκύψει στην ζώνη UHF από την πλήρη μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση και πως μπορεί αυτό να εκμεταλλευτεί.

Τέλος παρουσιάζεται το πειραματικό κομμάτι της εργασίας. Σε αυτό το κομμάτι πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στο εργαστήριο Ασυρμάτου και Επικοινωνίας Μεγάλων Αποστάσεων πάνω στις παρεμβολές που δημιουργούν στην ψηφιακή τηλεόραση τα πρωτόκολλα κινητής επικοινωνίας που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με διαγράμματα για διάφορα μετρούμενα μεγέθη που δείχνουν την ποιότητα του σήματος τηλεοπτικής λήψης ακολουθούμενα από διάφορες παρατηρήσεις και συμπεράσματα.

Λέξεις Κλειδιά

Ψηφιακή τηλεόραση, DVB-T, LTE FDD, LTE TDD, CDMA2000, ψηφιακό μέρισμα, συχνότητες UHF

Abstract

This diploma thesis deals with the interjection that causes services of mobile communication (LTE FDD, LTE TDD, CDMA2000) in the terrestrial digital television.

Initially is presented an analysis in theoretical level of both terrestrial digital television (concretely model DVB-T) and the protocols of mobile communication that were reported before. Then is explained the digital dividend that will exist in area UHF from passage in the digital television and how can this be exploited.

Finally is presented the experimental part of this thesis. In this part were realised measurements in the laboratory of Radio and Communication of Big Distances on the interjections that create in the digital television the protocols of mobile communication that were reported before. The results are presented with diagrams for various measurements that show the quality of signal of television reception followed from various observations and conclusions.

Key Words

Terrestrial digital television, DVB-T, LTE FDD, LTE TDD, CDMA2000, digital dividend, frequencies UHF

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στο εργαστήριο Ασυρμάτου και Επικοινωνίας Μεγάλων Αποστάσεων του τομέα Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών.

Σε αυτό το σημείωμα θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Χρήστο Καψάλη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση αυτής της διπλωματικής και της ευκαιρίας που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο σύγχρονο όσο και ενδιαφέρον θέμα.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ερευνητές του εργαστηρίου Ασυρμάτου και Επικοινωνίας Μεγάλων Αποστάσεων Λάζαρο Δραγάτη και Τερψιχόρη Βελιβασάκη για την καθοδήγησή τους τόσο στο πειραματικό όσο και στο θεωρητικό κομμάτι της εργασίας καθώς και τον συνάδελφο Ραδάμανθου Δερεδάκη για την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά την εκτέλεση του πειραματικού μέρους της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να αναφέρω ότι αυτή η εργασία αφιερώνεται στην οικογένεια μου για την ηθική και υλική στήριξη που μου προσέφερε όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Γεώργιος Δ. Μαμαρέλης
Ιούλιος 2010

Πίνακας περιεχομένων

Εισαγωγή.....	17
1 ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ	19
1.1 Εισαγωγή.....	19
1.1.1 Ψηφιακή τηλεόραση.....	19
1.1.2 Πλεονεκτήματα μετάβασης από αναλογική σε ψηφιακή τηλεόραση.....	20
1.2 Το πρότυπο DVB-T.....	22
1.2.1 Μοντέλο ευρυεκπομπής ψηφιακής τηλεόρασης.....	22
1.2.2 Γενικά χαρακτηριστικά του DVB-T.....	23
1.2.3 Πλεονεκτήματα του DVB-T.....	24
1.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά (ETSI προδιαγραφές).....	25
1.3.1 Σύστημα μετάδοσης.....	25
1.3.2 Αναδιάταξη των bit του ψηφιακού ρεύματος και τυχαιοποίηση για διασπορά ενέργειας.....	27
1.3.3 Εξωτερική κωδικοποίηση (Αλγόριθμος Reed-Solomon).....	28
1.3.4 Συνελικτική και εσωτερική κωδικοποίηση των bytes.....	29
1.3.5 Διαμόρφωση OFDM και μετάδοση.....	32
1.3.6 Δομή πλαισίου OFDM.....	33
2 LTE	37
2.1 Τεχνολογίες 4 ^{ης} Γενιάς.....	37
2.1.1 Εισαγωγή.....	37
2.1.2 Στόχοι της τεχνολογίας 4G.....	38
2.1.3 Σύγκριση της νέας τεχνολογίας (4G) με την προηγούμενη (3G).....	39
2.1.4 Εφαρμογές της τεχνολογίας 4G.....	40
2.2 3GPP Long Term Evolution (LTE).....	41
2.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	44
2.2.1.1 OFDMA.....	44
2.2.1.2 Ζώνες συχνοτήτων για FDD και TDD.....	46
2.2.1.3 Μερικά ακόμα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος LTE.....	47
3 CDMA2000	51
3.1 Εισαγωγή.....	51
3.2 CDMA2000 1X.....	52
3.2.1 Χαρακτηριστικά του CDMA2000 1X:.....	52
3.3 CDMA2000 1XEV-DO Release 0.....	53

3.3.1	Χαρακτηριστικά του CDMA2000 1XEV-DO Rel. 0:.....	53
3.4	CDMA2000 1XEV-DO Revision A.....	54
3.4.1	Χαρακτηριστικά του CDMA2000 1XEV-DO Rev. A:.....	54
3.5	Multicarrier EV-DO και EV-DO Revision B.....	55
3.5.1	Χαρακτηριστικά του Multicarrier EV-DO και EV-DO Revision B:	56
3.6	Φάσμα cdma2000	59
4	Ψηφιακό μέρισμα.....	62
4.1	Εισαγωγή.....	62
4.2	Υπηρεσίες για χρήση του ψηφιακού μερίσματος.....	65
4.3	Η θέση της C.E.P.T.....	65
4.4	Ψηφιακό μέρισμα στην Ελλάδα	68
4.5	Ψηφιακό μέρισμα στις Ευρωπαϊκές χώρες	69
4.6	‘Αξία’ του φάσματος	70
5	Πείραμα μελέτης παρεμβολής.....	71
5.1	Γενικά για το πείραμα.....	71
5.2	Χαρακτηριστικά οργάνων και κεραιών	74
5.3	Διαδικασία μετρήσεων.....	80
5.4	Αποτελέσματα μετρήσεων	80
5.5	Παρατηρήσεις-σχόλια των διαγραμμάτων.....	91
5.6	Συμπεράσματα.....	93
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	94

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Περιοχές που χρησιμοποιούν DVB-T (μπλέ χρώμα).....	21
Εικόνα 1.2 Επίγειο ψηφιακό μοντέλο ασύρματης ευρυεκπομπής.....	22
Εικόνα 1.3 Trade off μεταξύ ανθεκτικότητας και ταχύτητας.....	24
Εικόνα 1.4 Μπλοκ διάγραμμα ενός διαμορφωτή DVB-T.....	26
Εικόνα 1.5 Διάγραμμα γεννήτριας ψευδοτυχαίας ακολουθίας.....	28
Εικόνα 1.6 Διάγραμμα διαδικασίας αναδιάταξης bytes.....	29
Εικόνα 1.7 Συνελικτική κωδικοποίηση για ρυθμό κωδικοποίησης $\frac{1}{2}$	30
Εικόνα 1.8 Διαδικασία της συνελικτικής κωδικοποίησης.....	31
Εικόνα 1.9 Αστερισμός τρόπου διαμόρφωσης QPSK για $\alpha=1$	32
Εικόνα 1.10 Αστερισμός τρόπου διαμόρφωσης 16-QAM για $\alpha=1$	32
Εικόνα 1.11 Αστερισμός τρόπου διαμόρφωσης 64-QAM για $\alpha=1$	33
Εικόνα 1.12 Διάγραμμα γεννήτριας ψευδοτυχαίας ακολουθίας.....	34
(Πηγή: ETSI TR 101 190 V1.3.1 (2008-10) Technical Report Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects)	
Εικόνα 2.1 Διάγραμμα αύξησης της κίνησης τα επόμενα έτη.....	38
Εικόνα 2.2 Εξέλιξη του LTE (πηγή: http://business.motorola.com).....	44
Εικόνα 2.3 Το πλέγμα χρόνου-συχνότητας στο LTE.....	45
Εικόνα 2.4 FDD και TDD υλοποίηση.....	46
Εικόνα 3.1 Παγκόσμιος χάρτης CDMA.....	52
Εικόνα 3.2 εξελικτική πορεία του CDMA2000.....	57
Εικόνα 3.3 Το CDMA2000 σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες που βασίζονται σε OFDM.....	58
Εικόνα 3.4 Κατανομή συχνοτήτων στα IMT-2000.....	60
Εικόνα 3.5 φάσμα CDMA-2000.....	61
(Πηγή: www.cdg.org)	
Εικόνα 4.1 Τηλεοπτικοί δίαυλοι πριν και μετά την ψηφιακή μετάβαση σε ένα Κέντρο εκπομπής.....	62
Εικόνα 4.2 Σχήμα κατάτμησης του ψηφιακού μερίσματος.....	66
Εικόνα 4.3 Χάρτης εναρμονισμένου φάσματος συχνοτήτων για την Ευρώπη.....	69

Εικόνα 5.1 Διάταξη χώρου πειράματος.....	72
Εικόνα 5.2 Πάγκος με τα όργανα μετρήσεων.....	73
Εικόνα 5.3 η κεραία της γεννήτριας και οι κεραίες αναλυτή φάσματος και δέκτη στο βάθος.....	73
Εικόνα 5.4 σύνδεση κεραιών με όργανα μετρήσεων.....	74
Εικόνα 5.5 διάγραμμα λήψης δέκτη.....	77

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Συνελκτικοί κώδικες και ακολουθία που εκπέμπεται.....	30
Πίνακας 2.1 Σύγκριση χαρακτηριστικών 3G και 4G.....	40
Πίνακας 2.2 εξελικτικής πορείας της τεχνολογίας έως το LTE (πηγή: www.radio-electronics.com).....	43
Πίνακας 2.3 FDD και TDD ζώνες συχνοτήτων (πηγή: Wikipedia).....	47
Πίνακας 2.4 Επίδοση του LTE (πηγή: www.radio-electronics.com).....	50
Πίνακας 4.1 Ημερομηνίες μετάβασης και φάσμα για κινητές επικοινωνίες για διάφορες χώρες.....	64
Πίνακας 4.2 Ισχύς εκπομπής υπηρεσιών.....	66
Πίνακας 4.3 Ημερομηνίες για πλήρη μετάβαση σε διάφορες χώρες.....	67
Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά δέκτη promax.....	76

Εισαγωγή

Στην σημερινή εποχή ένα από τα πιο πολύτιμα αγαθά που έχει ο άνθρωπος και πρέπει να εκμεταλλευτεί σωστά είναι το φάσμα. Το φάσμα ουσιαστικά είναι οι συχνότητες στις οποίες μπορεί κάποιος να εκπέμψει και να τον λάβει κάποιος άλλος απομακρυσμένος δέκτης. Η επικοινωνία των ανθρώπων από την μία άκρη του κόσμου στην άλλη θεωρείται και είναι αυτονόητη. Επίσης τηλεοπτικά κανάλια με ειδήσεις και προγράμματα από όλο τον κόσμο μπαίνουν καθημερινά σπίτι μας. Αυτά για τον σύγχρονο άνθρωπο είναι πράγματα δεδομένα, όμως είναι ταυτόχρονα και πράγματα που απαιτούν φάσμα για να πραγματοποιηθούν.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής θα ασχοληθούμε με τις παρεμβολές που προκαλούν οι υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας και συγκεκριμένα τα πρωτόκολλα LTE FDD, LTE TDD, CDMA2000 στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση.

Η τηλεόραση είναι μία οικιακή συσκευή που σήμερα υπάρχει σε σχεδόν κάθε σπίτι. Στις αρχές του προηγούμενου αιώνα ήταν μία άγνωστη λέξη όμως σήμερα έχει εξελιχθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να προσφέρει στους τηλεθεατές την δυνατότητα να μην είναι απλά παθητικοί δέκτες αλλά να συμμετέχουν ενεργά. Η τηλεόραση για να φτάσει στην σημερινή λεγόμενη ψηφιακή εποχή πέρασε από την ασπρόμαυρη εποχή στην έγχρωμη εποχή, η εικόνα εμπλουτίστηκε με χρώματα σε σχέση με την προηγούμενη ασπρόμαυρη εικόνα, αλλά το σήμα εξακολουθούσε να ήταν αναλογικό με τα γνωστά προβλήματα των «χιονιών» και των πολλαπλών ειδώλων. Στην ψηφιακή εποχή η τηλεόραση όχι μόνο θα έχει καλύτερο σήμα και καθαρή εικόνα αλλά θα είναι εμπλουτισμένη και με υπηρεσίες που θα προσφέρουν στον δέκτη παραπάνω πληροφορίες από μια απλή εικόνα. Επίσης στην ψηφιακή εποχή γίνεται και εξοικονόμηση φάσματος.

Από την άλλη πλευρά οι κινητές υπηρεσίες μπήκαν στην ζωή μας πολύ πρόσφατα αλλά έχουν προλάβει να πάρουν μια πολύ σημαντική θέση στην ζωή μας. Αυτό γίνεται φανερό αν αναλογιστεί κανείς το πόσοι άνθρωποι έχουν σήμερα στην κατοχή τους τουλάχιστον ένα κινητό τηλέφωνο. Οι κινητές αυτές υπηρεσίες ξεκίνησαν και αυτές από ένα πρώιμο στάδιο (πραγματοποίηση απλή τηλεφωνικής κλήσης) και έχουν φτάσει σήμερα με τις τεχνολογίες τέταρτης γενιάς (4G) να προσφέρουν ευρυζωνικές υπηρεσίες (π.χ. διαδίκτυο).

Στην παρούσα διπλωματική γίνεται προσπάθεια να εξεταστεί το κατά πόσο αυτές οι δύο πολύ σημαντικές τεχνολογικές υπηρεσίες (επίγεια ψηφιακή τηλεόραση και υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας) μπορούν να συνυπάρχουν σε ένα κομμάτι φάσματος κάτω από το 1GHz. Η διάρθωση της διπλωματικής σε κεφάλαια είναι:

Κεφάλαιο 1:

Παρουσιάζεται σε θεωρητικό επίπεδο η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση και συγκεκριμένα το πρότυπο DVB-T. Γίνεται αναφορά στα πλεονεκτήματα της ψηφιακής εποχής της τηλεόρασης και αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτής.

Κεφάλαιο 2:

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις πολύ πρόσφατες τεχνολογίες τέταρτης γενιάς (4G) κινητής επικοινωνίας και στα πλεονεκτήματα που αυτές φέρνουν με την εισαγωγή τους. Επίσης αναλύεται και μελετάται το πρωτόκολλο τέταρτης γενιάς LTE FDD και LTE TDD και τα τεχνικά χαρακτηριστικά που έχει.

Κεφάλαιο 3:

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο τρίτο πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται σε αυτήν την διπλωματική και είναι το CDMA2000. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο κινητής επικοινωνίας ανήκει στην τρίτη γενιά (3G) και αναπτύχθηκε από την 3GPP2 (third generation partnership project 2). Εξετάζονται τα χαρακτηριστικά της εξέλιξης του συγκεκριμένου προτύπου.

Κεφάλαιο 4:

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο ψηφιακό μέρισμα δηλαδή στις συχνότητες που θα απελευθερωθούν με την εισαγωγή της ψηφιακής τηλεόρασης και πως αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν από υπηρεσίες κινητές με πρωτόκολλα όπως αυτά που είδαμε στα κεφάλαια 2 και 3. Παρουσιάζεται η θέση της Ευρωπαϊκής ένωσης για την χρησιμοποίηση του ψηφιακού μέρισματος και η κατάσταση που ισχύει στην Ελλάδα και σε διάφορες άλλες χώρες.

Κεφάλαιο 5:

Μετά την θεωρητική ανάλυση των επιμέρους θεμάτων σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το πειραματικό κομμάτι της διπλωματικής εργασίας. Αφού γίνει μια περιγραφή τόσο των οργάνων όσο και της διαδικασίας του πειράματος στην συνέχεια δίνονται τα αποτελέσματα σε μορφή διαγραμμάτων και ακολουθούν παρατηρήσεις και σχολιασμός επί αυτών.

Επισημαίνεται εδώ ότι το πειραματικό κομμάτι της εργασίας διενεργήθηκε μαζί με τον συνάδελφο Ραδάμανθου Δερεδάκη όπου στην διπλωματική του εργασία με τίτλο «ανάλυση και μέτρηση παρεμβολής από κινητές υπηρεσίες» μελετάει τον επηρεασμό της ψηφιακής τηλεόρασης από τα πρωτόκολλα GSM-EDGE, TD-SCDMA ΚΑΙ W-CDMA. Τα συγκεκριμένα πρωτόκολλα χαρακτηρίζονται ως τρίτης γενιάς (3G) κινητής επικοινωνίας.

1

ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ

1.1 Εισαγωγή

1.1.1 Ψηφιακή τηλεόραση

Με τον όρο επίγεια ψηφιακή τηλεόραση εννοούμε τη μετάδοση του ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος μέσω ασύρματου επίγειου δικτύου ευρυεκπομπής. Μια νέα τεχνολογία που τα τελευταία χρόνια έχει εισέλθει δυναμικά στην καθημερινότητα του ανθρώπου. Αξιοσημείωτο είναι ότι ενώ η ψηφιακή τεχνολογία κυριαρχεί γενικά σε όλους τους τομείς της σημερινής τεχνολογίας, η ψηφιακή ευρυεκπομπή τηλεοπτικών προγραμμάτων έγινε μόλις τα τελευταία χρόνια διαθέσιμη ευρέως ανά τον κόσμο και η εμπορευματοποίησή της βρίσκεται σχετικά σε πρώιμο στάδιο. Αυτό αποδίδεται σε δύο κυρίως λόγους:

- Η ψηφιακή ευρυεκπομπή τηλεοπτικών σημάτων θεωρούνταν μέχρι προσφάτως εξαιρετικά δύσκολη λόγω της απαίτησης συμβατότητας με την ήδη υπάρχουσα τεχνολογία.
- Η ανάπτυξη προτύπων σε παγκόσμιο επίπεδο για τη μετάδοση ψηφιακών τηλεοπτικών σημάτων καθώς και των προτύπων για την αποδοτική συμπίεση αυτών πραγματοποιήθηκε πολύ πρόσφατα.

Όμως, παρά την προαναφερθείσα καθυστέρηση, η ψηφιακή τηλεόραση έχει αρχίσει να αναπτύσσεται σε πολύ γοργούς ρυθμούς και να εισέρχεται πολύ δυναμικά στην παγκόσμια αγορά και στα τηλεοπτικά δρώμενα και υπόσχεται να μετατρέψει την τηλεόραση όπως την ξέρουμε σε μια προσωπική συσκευή όπου ο χρήστης θα είναι ενεργητικός και όχι

παθητικός δέκτης όπως παλαιότερα. Γίνεται, λοιπόν, φανερό η παγκόσμια τάση που επικρατεί για την αντικατάσταση της αναλογικής τηλεόρασης από την ψηφιακή μιας και η τελευταία παρέχει σημαντικές διευκολύνσεις που ως τώρα δεν ήταν διαθέσιμες. Μια αντικατάσταση την οποία η Ευρωπαϊκή Ένωση, μέσω του χρονοδιαγράμματος εργασιών του project Digital Switchover, έχει θέσει στα κράτη-μέλη να λάβει χώρα μέχρι το 2015 όπου η αναλογική τηλεόραση θα περάσει στην ιστορία. Παρακάτω αναλύονται οι λόγοι για τους οποίους πρόκειται να επέλθει η αντικατάσταση αυτή.

1.1.2 Πλεονεκτήματα μετάβασης από αναλογική σε ψηφιακή τηλεόραση

Κατά την αναλογική μετάδοση των τηλεοπτικών σημάτων η ποιότητα των εκπεμπόμενων προγραμμάτων υποβαθμίζεται σε σημαντικό βαθμό λόγω της ύπαρξης θορύβου στο κανάλι μετάδοσης, των παρεμβολών που δημιουργούνται από τρίτους και των πολυδιαδρομικών μεταδόσεων, ιδίως στις αστικές περιοχές, μιας και εκεί οι ανακλάσεις σε κτίρια ή σε κινούμενα αντικείμενα μεταξύ πομπού και δέκτη είναι πιο συχνές. Αποτέλεσμα των ανακλάσεων αυτών είναι, εκτός από τη λήψη του απευθείας από τον πομπό μεταδιδόμενου σήματος, η ταυτόχρονη λήψη σημάτων που προέρχονται από αυτές τις ανακλάσεις, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ειδώλων στην εικόνα που βλέπει ο χρήστης άρα και την υποβάθμιση της ποιότητας αυτής.

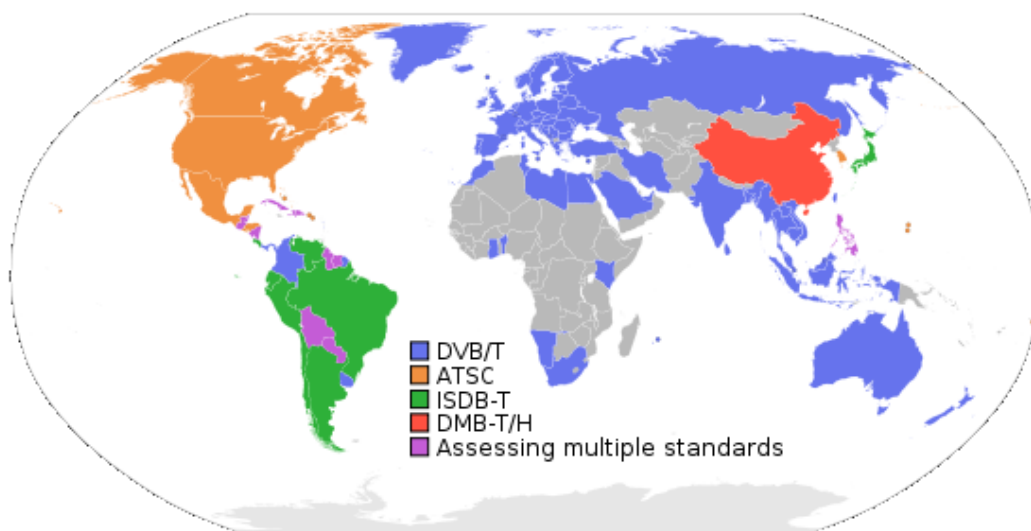
Σε αντίθεση με την αναλογική τηλεόραση, η ψηφιακή τηλεόραση χαρακτηρίζεται από άριστη ποιότητα ήχου και απόλυτη ευκρίνεια εικόνας. Αυτό συμβαίνει επειδή η ψηφιακή μετάδοση αντιμετωπίζει επιτυχώς το θόρυβο, τις παρεμβολές και τις πολυδιαδρομικές μεταδόσεις εξαιτίας της χρήσης μηχανισμών και τεχνικών διόρθωσης σφαλμάτων στα ψηφιακά σήματα πληροφορίας. Οι μηχανισμοί αυτοί και οι τεχνικές διόρθωσης πραγματοποιούνται σε διαδοχικά στάδια πριν την ευρυεκπομπή των ψηφιακών σημάτων στα πλαίσια μιας διαδικασίας, η οποία ονομάζεται <<κωδικοποίηση καναλιού>> και εξασφαλίζει μέχρι ένα ικανοποιητικό ποσοστό την ποιότητα στη μετάδοση της ψηφιακής πληροφορίας.

Επίσης, σημαντικό πλεονέκτημα της ψηφιακής τηλεόρασης αποτελεί η χρήση αποδοτικών τεχνικών συμπίεσης. Η συμπίεση κατά την μετάδοση αποσκοπεί στη μετάδοση μόνο της ωφέλιμης πληροφορίας που απαιτείται για την παρουσίαση εικόνας και ήχου στο δέκτη, προσδίδοντας στο κανάλι τη δυνατότητα να μεταδώσει επιπλέον υπηρεσίες. Μια βασική προϋπόθεση που πρέπει να τηρείται κατά την ψηφιακή μετάδοση είναι η διατήρηση του επιπέδου της ποιότητας της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Η προϋπόθεση αυτή επιτυγχάνεται μέσα από τις τεχνικές συμπίεσης που χρησιμοποιεί η ψηφιακή τηλεόραση. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται το παγκοσμίως αποδεκτό πρότυπο MPEG-2. Αποτέλεσμα της χρήσης αυτών των τεχνικών συμπίεσης είναι η εξοικονόμηση χωρητικότητας στο κανάλι, γεγονός που επιτρέπει τη μετάδοση πλήθους τηλεοπτικών προγραμμάτων και υπηρεσιών σε εύρος ζώνης που μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο από μία αναλογική υπηρεσία. Αυτό απελευθερώνει φάσμα, δηλαδή κανάλια, για άλλες υπηρεσίες το λεγόμενο ψηφιακό μέρος (βλέπε Κεφάλαιο 4).

Με την εισαγωγή της τεχνολογίας της ψηφιακής τηλεόρασης ανακαλύπτουμε και την έννοια της διαδραστικότητας, της οποίας σκοπός είναι η προσαρμογή της παρουσίασης της

πληροφορίας στις ατομικές ανάγκες του κάθε χρήστη. Η πραγματοποίηση διαδραστικών εφαρμογών απαιτεί την ύπαρξη δύο καναλιών επικοινωνίας, ένα για τη μετάδοση σημάτων από τον πάροχο της υπηρεσίας στο χρήστη (κανάλι προώθησης-forward channel) και ένα για τη μετάδοση κατά την αντίστροφη φορά (κανάλι επιστροφής-reverse path). Με την ύπαρξη του καναλιού επιστροφής, ο χρήστης δεν είναι πλέον παθητικός δέκτης μιας υπηρεσίας, αλλά δρα ενεργά σε μια τεχνολογία που μέχρι πρότινος ήταν εξ' ορισμού παθητική.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η ψηφιακή τηλεόραση παρέχει υψηλότερη ποιότητα σήματος, περισσότερες υπηρεσίες στο χρήστη και επιτρέπει την ευρύτερη προγραμματική περιεχομένων τηλεοπτικών προγραμμάτων στο ίδιο εύρος ζώνης. Επομένως, η αντικατάσταση της αναλογικής τηλεόρασης από τη ψηφιακή κρίνεται αναγκαία.

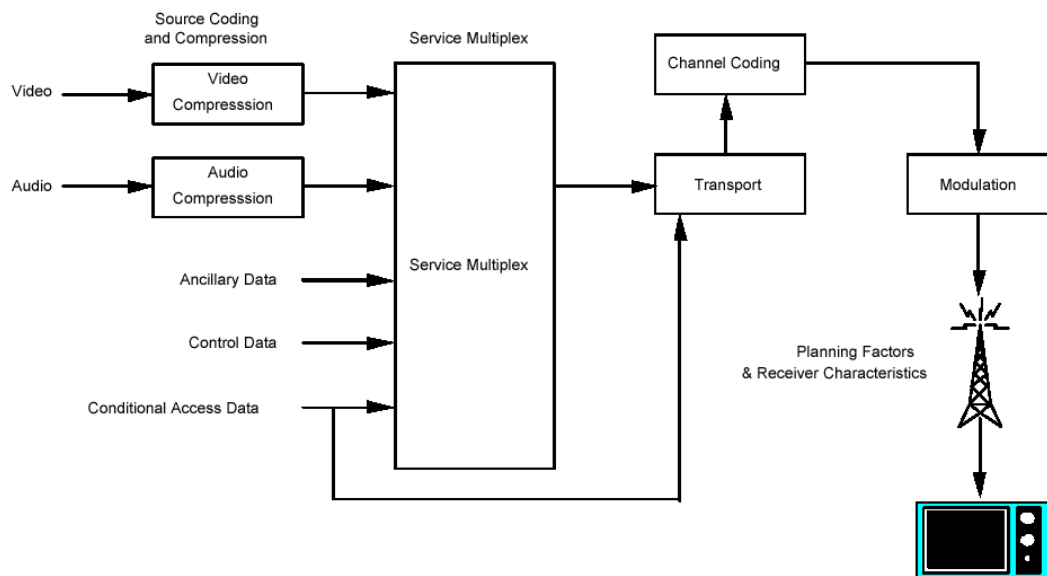


Εικόνα 1.1 Περιοχές που χρησιμοποιούν DVB-T (μπλέ χρώμα)

1.2 Το πρότυπο DVB-T

1.2.1 Μοντέλο ευρυεκπομπής ψηφιακής τηλεόρασης

Το μοντέλο που ακολουθεί αντιπροσωπεύει το επίγειο ψηφιακό μοντέλο ασύρματης ευρυεκπομπής, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ITU-R.



Εικόνα 1.2 Επίγειο ψηφιακό μοντέλο ασύρματης ευρυεκπομπής

Το μοντέλο αυτό έχει τρία υποσυστήματα. Το πρώτο είναι η κωδικοποίηση και συμπίεση πηγής, το δεύτερο η πολυπλεξία δεδομένων και το τρίτο και τελευταίο η RF μετάδοση του σήματος.

Η κωδικοποίηση και συμπίεση πηγής αρχικά ψηφιοποιεί τα αναλογικά σήματα video και ήχου και στη συνέχεια μειώνει στο ελάχιστο δυνατό τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων (bits) που απαιτούνται για την ανάκτηση των τηλεοπτικών και ηχητικών δεδομένων, διατηρώντας όμως το επίπεδο της ποιότητας υψηλό. Το ψηφιακό τηλεοπτικό μοντέλο της ITU-R χρησιμοποιεί το παγκοσμίως αποδεκτό πρότυπο MPEG-2 για την εκτέλεση των διαδικασιών κωδικοποίησης και συμπίεσης.

Στη συνέχεια η διαδικασία της πολυπλεξίας παράγει ένα ρυθμικό μεταφορικό (transport stream), ο οποίος φέρει τα ηχητικά, τηλεοπτικά και συμπληρωματικά δεδομένα. Και γι' αυτή την διαδικασία της πολυπλεξίας χρησιμοποιείται το πρότυπο MPEG-2.

Λίγο πριν την ασύρματη μετάδοση των ψηφιακών δεδομένων, περνάμε από το στάδιο της κωδικοποίησης καναλιού και της διαμόρφωσης των σημάτων. Στο στάδιο της κωδικοποίησης καναλιού και της διαμόρφωσης εφαρμόζονται τεχνικές διόρθωσης σφαλμάτων, κατά τις οποίες προστίθενται στο ρυθμικό μεταφορικό επιπρόσθετες

πληροφορίες, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον δέκτη για να αναδημιουργήσουν τα στοιχεία του λαμβανόμενου σήματος, το οποίο έχει πιθανόν υποστεί αλλοιώσεις, εξαιτίας της εξασθένησης από τη μετάδοση και του θορύβου που παρεμβάλλεται.

Τέλος το ψηφιακό σήμα είναι έτοιμο προς ασύρματη μετάδοση.

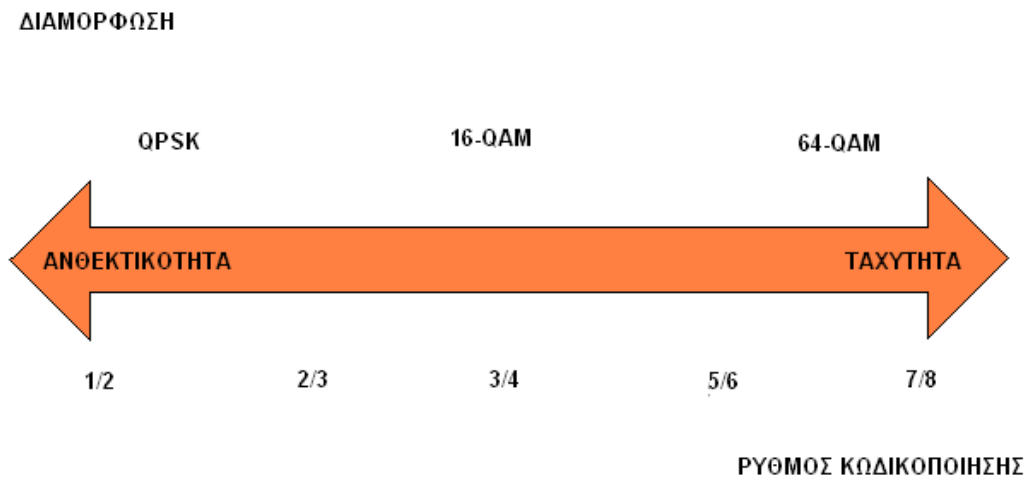
1.2.2 Γενικά χαρακτηριστικά του DVB-T

Το DVB-Terrestrial είναι το επίγειο σύστημα ασύρματης ευρυεκπομπής για τη UHF και VHF περιοχή συχνοτήτων, το οποίο εκδόθηκε από τον ETSI και δημοσιεύτηκε στην αναφορά ETSI/EBU 300 744. Αποτελεί το πιο πολύπλοκο αλλά και το πιο ευέλικτο πρότυπο επίγειας ασύρματης ευρυεκπομπής ψηφιακών προγραμμάτων που είναι διαθέσιμο σε παγκόσμιο επίπεδο σήμερα. Επιπλέον προσφέρει την ταχύτερη μετάδοση δεδομένων για κινητή λήψη σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο ασύρματο δίκτυο. Το DVB-T σχεδιάστηκε ώστε να επιτρέψει τη βέλτιστη χρήση του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων και έχει τέτοια δομή που είναι σε θέση να μεταδίδει πλήθος ψηφιακών τηλεοπτικών προγραμμάτων σε εύρος ζώνης που μέχρι πρόσφατα χρησιμοποιείτο μόνο από μια αναλογική υπηρεσία. Ήδη χρησιμοποιείται από τις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, ενώ τα πλεονεκτήματά του δεν άργησαν να γίνουν αντιληπτά από άλλους οργανισμούς εκτός Ευρώπης που προχώρησαν στην υιοθέτηση του εν λόγω προτύπου.

Το DVB-T σχεδιάστηκε ώστε οι ψηφιακές υπηρεσίες του να λειτουργήσουν σε UHF (470-862MHz) και VHF(174-230MHz). Πράγμα που σημαίνει ότι θα πρέπει να υπάρχει ισχυρή προστασία έναντι των αναλογικών υπηρεσιών που συνυπάρχουν σε αυτές τις συχνότητες. Γι' αυτό τα δεδομένα προς μετάδοση υπόκεινται σε ισχυρή διόρθωση σφαλμάτων που πραγματοποιείται σε στάδια για υψηλότερη αποδοτικότητα. Αυτό γίνεται στο στάδιο της κωδικοποίησης καναλιού.

Ακόμα το DVB-T χρησιμοποιεί το πρότυπο MPEG-2 για κωδικοποίηση και συμπίεση πηγής. Η διαμόρφωση που γίνεται στο συγκεκριμένο πρότυπο είναι πολλαπλών φερόντων στο σχήμα της πολυπλεξίας με ορθογωνική διαίρεση συχνότητας COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Το σχήμα αυτό χρησιμοποιεί ένα μεγάλο αριθμό φερόντων (6817 φέροντα στον 8k τρόπο) καθένα από τα οποία διαμορφώνεται σύμφωνα με τις τεχνικές QPSK, 16-QAM ή 64-QAM. Το σχήμα COFDM επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση μιας συχνότητας από γειτονικούς μεταδότες. Επίσης η μεταδιδόμενη πληροφορία κατανέμεται ομοιόμορφα στο διαθέσιμο φάσμα, οπότε το σήμα έχει μεγάλη ανοχή στον θόρυβο καθώς και σε φαινόμενα πολυδιαδρομικών μεταδόσεων.

Οι ρυθμοί μετάδοσης που ικανοποιούνται με αυτό το πρότυπο μεταβάλλονται ανάλογα με τον τύπο της διαμόρφωσης (QPSK, 16-QAM, 64-QAM), τις τιμές του συστήματος φρουρήσης (guard interval) και του ρυθμού κωδικοποίησης (code rate). Ο σχεδιασμός των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτάται από τις ανάγκες και τις δυνατότητες κάθε παρόχου. Το παρακάτω σχήμα δείχνει το trade-off μεταξύ ταχύτητας και ανθεκτικότητας του σήματος.



Εικόνα 1.3 Trade off μεταξύ ανθεκτικότητας και ταχύτητας

1.2.3 Πλεονεκτήματα του DVB-T

Τα πλεονεκτήματα της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης είναι πολλά και ποικίλουν ανάμεσα σε τεχνικά πλεονεκτήματα και σε πλεονεκτήματα που γίνονται φανερά στον δέκτη/καταναλωτή με την αναβάθμιση των υπηρεσιών που του προσφέρονται.

Το βασικό πλεονέκτημα της ψηφιακής τηλεόρασης είναι η εξοικονόμηση φάσματος η οποία επιτυγχάνεται καθώς τέσσερα συμβατικά κανάλια (αναλογικής μέχρι τώρα τηλεόρασης) χωρούν σε ένα κανάλι των 8 MHz. Το φάσμα είναι ένα πολύτιμο αγαθό για τις σύγχρονες κοινωνίες και η ψηφιακή τηλεόραση το εκμεταλλεύεται με τον καλύτερο τρόπο καθώς λόγω της μικρής ισχύς που χρειάζεται για να εκπέμψει μπορούμε να έχουμε επαναχρησιμοποίηση συχνότητας σε μικρότερες αποστάσεις σε σχέση με την προηγούμενη τεχνολογία της αναλογικής τηλεόρασης.

Ακόμα η μετάβαση στην ψηφιακή εποχή μπορεί να γίνει ομαλά καθώς το πρότυπο DVB-T αξιοποιεί τις ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις τόσο στην εκπομπή, όπου χρησιμοποιεί τους ίδιους επίγειους σταθμούς με την αναλογική τηλεόραση, όσο και στην λήψη, όπου η ίδια κεραία λαμβάνει και τα ψηφιακά τηλεοπτικά προγράμματα. Αυτό σημαίνει ελάχιστο κόστος εφαρμογής της νέας τεχνολογίας. Επί πρόσθετα σε αυτό τα ψηφιακά τηλεοπτικά προγράμματα μπορούν λαμβάνονται και από φορητές και κινητές συσκευές.

Εκτός όμως από τα παραπάνω πολύ σημαντικά τεχνικά πλεονεκτήματα η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση εισάγει περισσότερες υπηρεσίες στον δέκτη με την εμπλουτισμένη ευρυεκπομπή, την διαδραστική ευρυεκπομπή και την πρόσβαση στο διαδίκτυο.

Με τον όρο εμπλουτισμένη ευρυεκπομπή εννοούμε την ψηφιακή ευρυεκπομπή τηλεοπτικών και ηχητικών σημάτων μαζί με εφαρμογές που έχουν εγκατασταθεί στο τερματικό του χρήστη και εξασφαλίζουν τοπική διαδραστικότητα. Υλοποίηση της τεχνικής αυτής παρατηρεί κανείς στην τηλεοπτική βιντεογραφία (teletext) και στους ηλεκτρονικούς

οδηγούς προγράμματος (electronic program guide). Η τηλεοπτική βιντεογραφία είναι ουσιαστικά ένα σύστημα μετάδοσης πληροφοριών (μετεωρολογικές προβλέψεις, δρομολόγια μέσω συγκοινωνίας, προγράμματα τηλεοπτικών σταθμών, σύντομες ειδήσεις κ.α.) μέσω των τηλεοπτικών σημάτων στους δέκτες. Η υπηρεσία αυτή υπήρχε και στην αναλογική τηλεόραση αρκεί να υπήρχε ένας αποκωδικοποιητής στην τηλεόραση του δέκτη ο οποίος θα αποκωδικοποιούσε τις πληροφορίες αυτές από το σήμα που λάμβανε ο δέκτης. Όμως η ψηφιακή μορφή αυτής της υπηρεσίας υπερτερεί καθώς υποστηρίζει πλήθος γραφικών, συνδέσμους προς άλλες σελίδες, δυνατότητα υποστήριξης μεγαλύτερης ποσότητας πληροφορίας, 256 χρώματα αντί για 8, ποικιλία γραμματοσειρών και γραμμάτων, φωτογραφίες και πιο γρήγορη προσπέλαση σελίδων.

Ο ηλεκτρονικός οδηγός προγράμματος προσφέρει στους χρήστες πληροφορίες σχετικά με τα προγράμματα που μεταδίδονται από το εκάστοτε κανάλι. Συγκεκριμένα παρουσιάζει τα τηλεοπτικά προγράμματα που πρόκειται να προβληθούν και λεπτομέρειες που τα αφορούν, όπως ημερομηνία και ώρα προβολής και θέμα που διαπραγματεύονται. Επίσης ενημερώνει τον χρήστη για την έναρξη προγραμμάτων που έχει επιλέξει ή ακόμα ενεργοποιεί έναν εγγραφέα για την εγγραφή των προγραμμάτων, παρέχει πληροφορίες σχετικά με ταινίες που πρόκειται να προβληθούν.

Οι υπηρεσίες όμως της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης δεν περιορίζονται εδώ καθώς προσφέρουν στον χρήστη δυνατότητα διαφορετικού υποτιτλισμού και μεταγλώττισης των προγραμμάτων που παρακολουθεί. Ακόμα προσφέρει ειδικές υπηρεσίες διευκόλυνσης για άτομα με ειδικές ανάγκες (AMEA). Επίσης εισάγεται για πρώτη φορά η έννοια της διαδραστικής τηλεόρασης όπου ο χρήστης μετατρέπεται σε ενεργητικό δέκτη μέσω ενός καναλιού επιστροφής όπου έχουμε μεταφορά δεδομένων από τον χρήστη στο φορέα ευρυεκπομπής. Τέλος προσφέρεται η δυνατότητα παροχής τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας (HDTV) με την μέγιστη δυνατή ποιότητα παρακολούθησης τηλεοπτικών προγραμμάτων.

1.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά (ETSI προδιαγραφές)

1.3.1 Σύστημα μετάδοσης

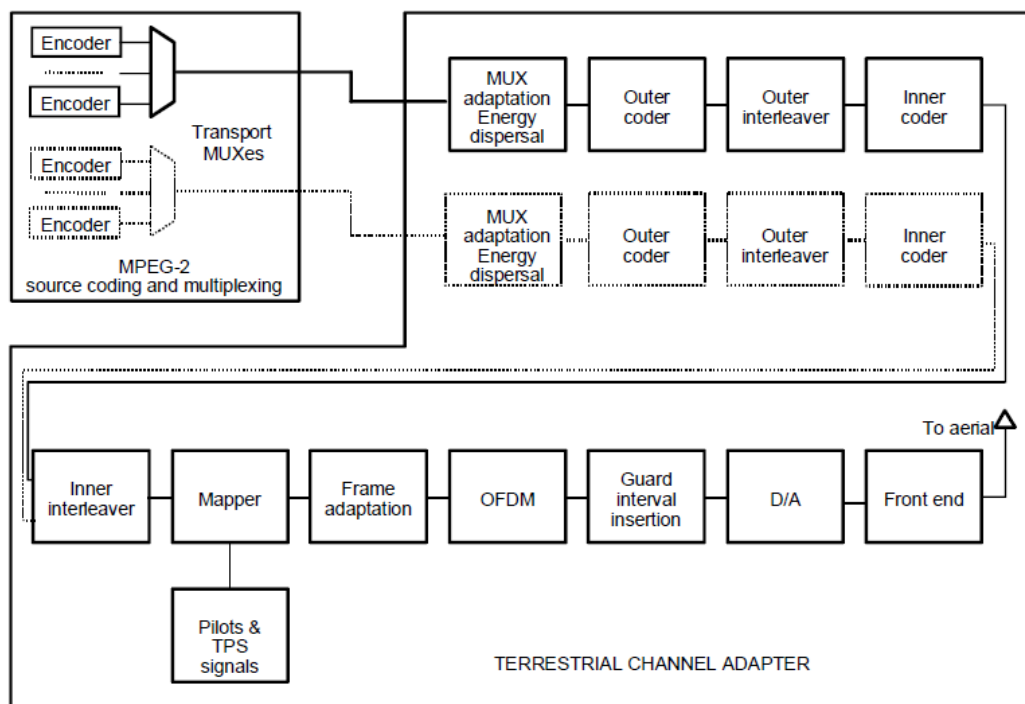
Το σύστημα μετάδοσης ορίζεται ως η διαδικασία που προσαρμόζει το σήμα βασικής ζώνης, που προέρχεται από την έξοδο του MPEG-2 πολυπλέκτη, στα χαρακτηριστικά του επίγειου καναλιού. Στο ρεύμα δεδομένων εφαρμόζονται οι παρακάτω διαδικασίες:

- Αναδιάταξη των bit του ψηφιακού ρεύματος και τυχαιοποίηση για διασπορά ενέργειας (Transport multiplex adaption and randomization for energy dispersal)
- Εξωτερική κωδικοποίηση (Αλγόριθμος Reed-Solomon, outer coding)
- Εξωτερική αναδιάταξη των bytes για προστασία από ριπές λανθασμένων bytes (convolutional interleaving)
- Εσωτερική κωδικοποίηση (συνελικτική) (inner coding)
- Εσωτερική αναδιάταξη των bytes
- Διαμόρφωση βασικής ζώνης (baseband shaping for modulation)

- Διαμόρφωση OFDM και μετάδοση (OFDM modulation)

Στο παρακάτω σχήμα, οι μονάδες που σημειώνονται με διακεκομμένες γραμμές αφορούν στην επιλογή της ιεραρχικής διαμόρφωσης (hierarchical modulation). Στην περίπτωση της ιεραρχικής διαμόρφωσης, το σήμα βασικής ζώνης προϋπάρχει διαιρεμένο σε δύο συρμούς μεταφοράς: α) ένα συρμό υψηλής προτεραιότητας (high priority TS) και β) ένα χαμηλής (low priority TS).

Το διάγραμμα του συστήματος φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 1.4 Μπλοκ διάγραμμα ενός διαμορφωτή DVB-T

Το σύστημα αυτό είναι σχεδιασμένο για υπηρεσίες επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης στις ζώνες συχνοτήτων VHF/UHF, όπου λειτουργούν παράλληλα τα αναλογικά τηλεοπτικά κανάλια. Για το λόγο αυτό, η μορφή του σήματος πρέπει να είναι τέτοια ώστε να προσφέρει επαρκή προστασία απέναντι σε υψηλά επίπεδα ομοδιαυλικής παρεμβολής και παρεμβολής γειτονικού διαύλου καθώς και στην εξασθένιση και τις διαλείψεις λόγω πολλαπλών διαδρομών. Πρέπει, επίσης να χειρίζεται αποδοτικά το φάσμα συχνοτήτων στις ζώνες συχνοτήτων VHF/UHF. Η μορφή του σήματος που εκπληρώνει αυτά τα κριτήρια είναι η ορθογωνική πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplex, OFDM). Το σύστημα OFDM χρησιμοποιεί πολλαπλά φέροντα για τη μετάδοση, έτσι ώστε να αποκτήσει αντοχή απέναντι στις απώλειες πολλαπλών διαδρομών. Οι απώλειες αυτές συμβαίνουν όταν το σήμα από τον πομπό φτάνει στο δέκτη από πολλαπλά μονοπάτια. Τα μονοπάτια αυτά οφείλονται σε ανακλάσεις του σήματος σε βουνά, κτήρια κ.α. με

αποτέλεσμα το σήμα να φτάνει στο δέκτη σε διαφορετικούς χρόνους. Χρησιμοποιώντας πολλαπλά φέροντα, ο ρυθμός συμβόλων ανά φέρον είναι μικρός ή ισοδύναμα η διάρκεια κάθε συμβόλου είναι μεγάλη. Αυξάνοντας τον αριθμό των φερόντων, η καθυστέρηση λόγω πολλαπλών διαδρομών είναι μικρή σε σύγκριση με τη διάρκεια κάθε συμβόλου. Η μείωση της απόδοσης λόγω διασυμβολικής παρεμβολής μπορεί έτσι, να περιοριστεί πάρα πολύ. Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιεί 1705 ή 6817 φέροντα και ονομάζεται 2K OFDM και 8K OFDM.

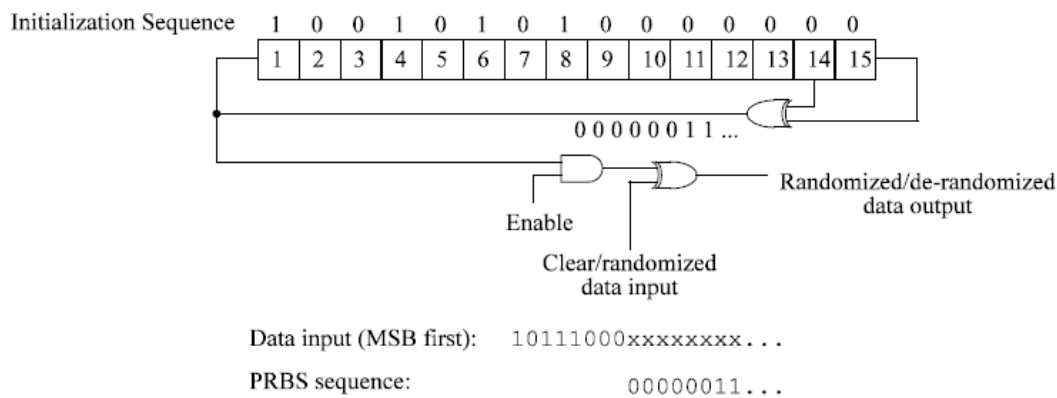
Η απόδοση σε ένα περιβάλλον πολλαπλών διαδρομών μπορεί να βελτιωθεί ακόμα περισσότερο εισάγοντας τα διαστήματα προστασίας που είναι διαστήματα σιωπής μετά την εκπομπή κάθε συμβόλου για χρόνο ίσο με το 1/4, 1/8, 1/16 ή 1/32 του χρόνου ενός συμβόλου. Στο 8K OFDM έχει τιμή από 28 ms έως 224ms, ενώ στο 2K OFDM από 7ms έως 56ms.

1.3.2 Αναδιάταξη των bit του ψηφιακού ρεύματος και τυχαιοποίηση για διασπορά ενέργειας

Το βήμα αυτό, παρόλο που δεν αποτελεί μέρος της διαδικασίας διόρθωσης σφαλμάτων, απαιτείται να πραγματοποιηθεί από το πρότυπο DVB-T πριν τη διαδικασία διόρθωσης, για να επιτευχθεί μια ομοιόμορφα κατανεμημένη ενέργεια μέσα στο κανάλι. Το ρεύμα εξόδου του MPEG-2 πολυπλέκτη οργανώνεται σε πακέτα σταθερού μήκους των 188 bytes. Το πρώτο byte είναι το byte συγχρονισμού και έχει τιμή 47_{HEX}. Για να διασφαλιστεί ότι θα υπάρχουν αρκετές μεταβάσεις από το 0 στο 1 και αντίστροφα, το ρεύμα δεδομένων περνά από μια γεννήτρια δυαδικής ψευδοτυχαίας ακολουθίας, της οποίας το πολυώνυμο είναι το:

$$1+X^{14}+X^{15}$$

Κάθε 8 πακέτα των 188 bytes, φορτώνεται στον καταχωρητή της γεννήτριας η τιμή <<100101010000000>> και, για να μπορέσει η αντίστοιχη γεννήτρια στο δέκτη να συγχρονιστεί, το πρώτο byte συγχρονισμού σε μια ομάδα 8 πακέτων αντιστρέφεται από 47_{HEX} σε B8_{HEX} και περνά όπως είναι από τη γεννήτρια. Έτσι, η περίοδος της ακολουθίας είναι 1503 bytes. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

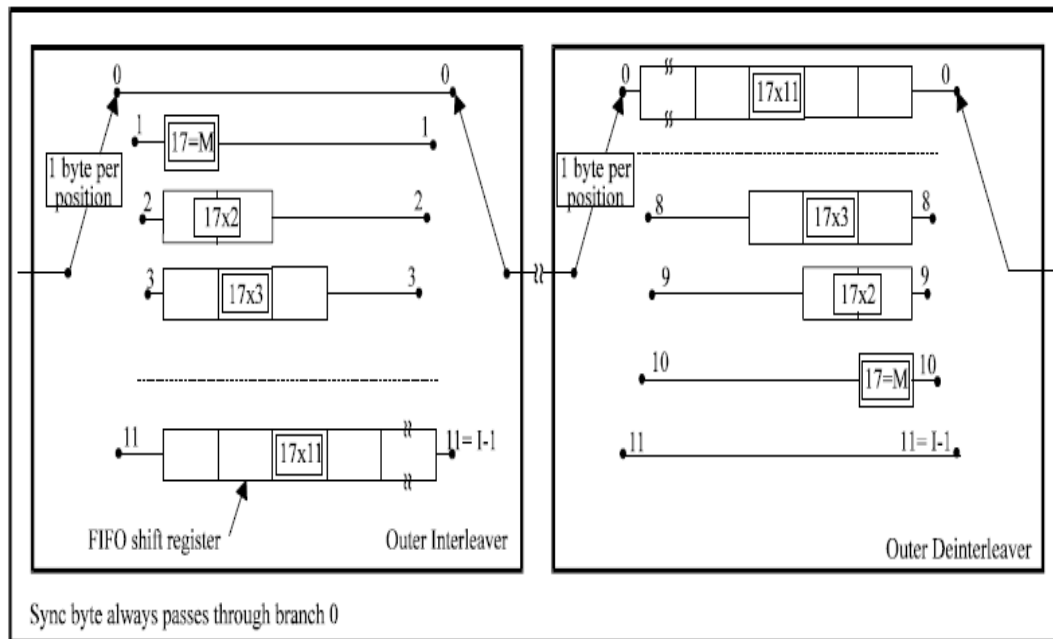


Εικόνα 1.5 Διάγραμμα γεννήτριας ψευδοτυχαίας ακολουθίας

Η διαδικασία αυτή είναι ενεργή ακόμα και όταν δεν υπάρχει ρεύμα εισόδου, έτσι ώστε να αποφεύγεται η εκπομπή αδιαμόρφωτου από το διαμορφωτή.

1.3.3 Εξωτερική κωδικοποίηση (Αλγόριθμος Reed-Solomon)

Σε κάθε πακέτο των 188 bytes εφαρμόζεται ο κώδικας διόρθωσης λαθών Reed-Solomon (204,188,t=8) και παράγεται ένα πακέτο των 204 bytes προστατευμένο από λάθη. Στη συνέχεια πραγματοποιείται μια αναδιάταξη των bytes για προστασία από ριπές λαθών. Αν έχουμε μια ριπή λανθασμένων bytes, είναι πιθανό τα bytes αυτά να είναι περισσότερα από όσα μπορεί να διορθώσει ο κώδικας διόρθωσης λαθών Reed-Solomon (204,188,t=8). Αν, όμως, πραγματοποιηθεί μια αναδιάταξη των bytes, έτσι ώστε γειτονικά bytes κατά τη μετάδοση να ανήκουν σε διαφορετικά πακέτα, τότε τα λανθασμένα bytes θα κατανεμηθούν και θα είναι πιο εύκολη η διόρθωση τους. Η διαδικασία αυτή γίνεται με τον παρακάτω τρόπο: 12 κλάδοι συνδέονται κυκλικά στο ρεύμα εισόδου με ένα μεταγωγέα. Κάθε κλάδος είναι ένας καταχωρητής ολίσθησης FIFO (First In, First Out) με βάθος $17*j$ κύτταρα όπου j ο αριθμός του κλάδου. Κάθε κύτταρο περιέχει ένα byte και οι μεταγωγείς εισόδου και εξόδου είναι συγχρονισμένοι. Για λόγους συγχρονισμού, τα bytes συγχρονισμού οδηγούνται πάντα στον κλάδο 0. Η διαδικασία αυτή, καθώς και η αντίστροφη της στο δέκτη φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 1.6 Διάγραμμα διαδικασίας αναδιάταξης bytes

1.3.4 Συνελικτική και εσωτερική κωδικοποίηση των bytes

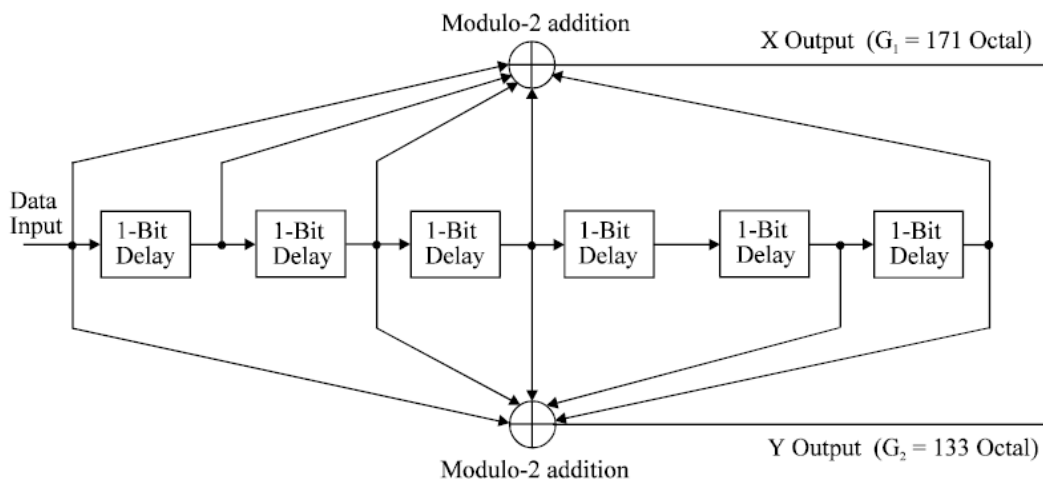
Τη διαδικασία της εξωτερικής κωδικοποίησης ακολουθεί η τεχνική της συνελικτικής κωδικοποίησης, σκοπός της οποίας είναι η αύξηση της απόδοσης της κωδικοποίησης Reed-Solomon. Ο λόγος για τον οποίο απαιτείται αποδοτικότερη προστασία έναντι στα σφάλματα είναι ότι στα κανάλια μετάδοσης η ποιότητα των σημάτων μεταβάλλεται και είναι δυνατόν ένας μεγάλος αριθμός από δυαδικά ψηφία, ο οποίος υπερβαίνει τη δυνατότητα διόρθωσης της κωδικοποίησης RS, να υποστεί αλλοίωση (από πιθανό χτύπημα κεραυνού ή από παρεμβολές ηλεκτρικών συσκευών). Η προστασία κάθε πακέτου μετάδοσης από τέτοιου είδους αλλοιώσεις δεν είναι ιδιαίτερα οικονομική, εφόσον αυτά δε συμβαίνουν αρκετά συχνά. Σε αυτήν την περίπτωση, εφαρμόζεται συνελικτική κωδικοποίηση, σύμφωνα με την οποία τα δεδομένα, αφού κωδικοποιηθούν με την Εμπρόσθια Διόρθωση Σφαλμάτων, τροφοδοτούνται σε μια μνήμη RAM και μεταδίδονται αναδιαταγμένα. Με τη χρήση μιας δεύτερης RAM κατά τη λήψη, τα δεδομένα τοποθετούνται στην αρχική τους δομή. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας της κωδικοποίησης είναι ότι το συσσωμάτωμα των δυαδικών ψηφίων που έχουν υποστεί σφάλμα μετατρέπεται σε ένα μεγάλο αριθμό ενιαίων εσφαλμένων συμβόλων, τα οποία είναι εύκολα διορθώσιμα. Στη συνέχεια γίνεται αναλυτική περιγραφή της λειτουργίας του.

Στο ρεύμα δεδομένων εφαρμόζεται ένας συνελικτικός κώδικας που βασίζεται σε ρυθμό $1/2$ και μήκος 7. Ο συνελικτικός κώδικας παράγει, ανάλογα με το ρυθμό του, περισσότερα bit από τα αρχικά, αλλά δίνει τη δυνατότητα διόρθωσης τόσων bit όση είναι η παράμετρος d .

Το σύστημα επιτρέπει συνελκτικούς κώδικες με ρυθμούς 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 και 7/8. Οι συνελκτικοί κώδικες και η ακολουθία που εκπέμπεται κάθε φορά φαίνεται παρακάτω:

Code Rates r	Puncturing pattern	Transmitted sequence (after parallel-to-serial conversion)
1/2	X: 1 Y: 1	$X_1 Y_1$
2/3	X: 1 0 Y: 1 1	$X_1 Y_1 Y_2$
3/4	X: 1 0 1 Y: 1 1 0	$X_1 Y_1 Y_2 X_3$
5/6	X: 1 0 1 0 1 Y: 1 1 0 1 0	$X_1 Y_1 Y_2 X_3 Y_4 X_5$
7/8	X: 1 0 0 0 1 0 1 Y: 1 1 1 1 0 1 0	$X_1 Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 X_5 Y_6 X_7$

Πίνακας 1.1 Συνελκτικοί κώδικες και ακολουθία που εκπέμπεται

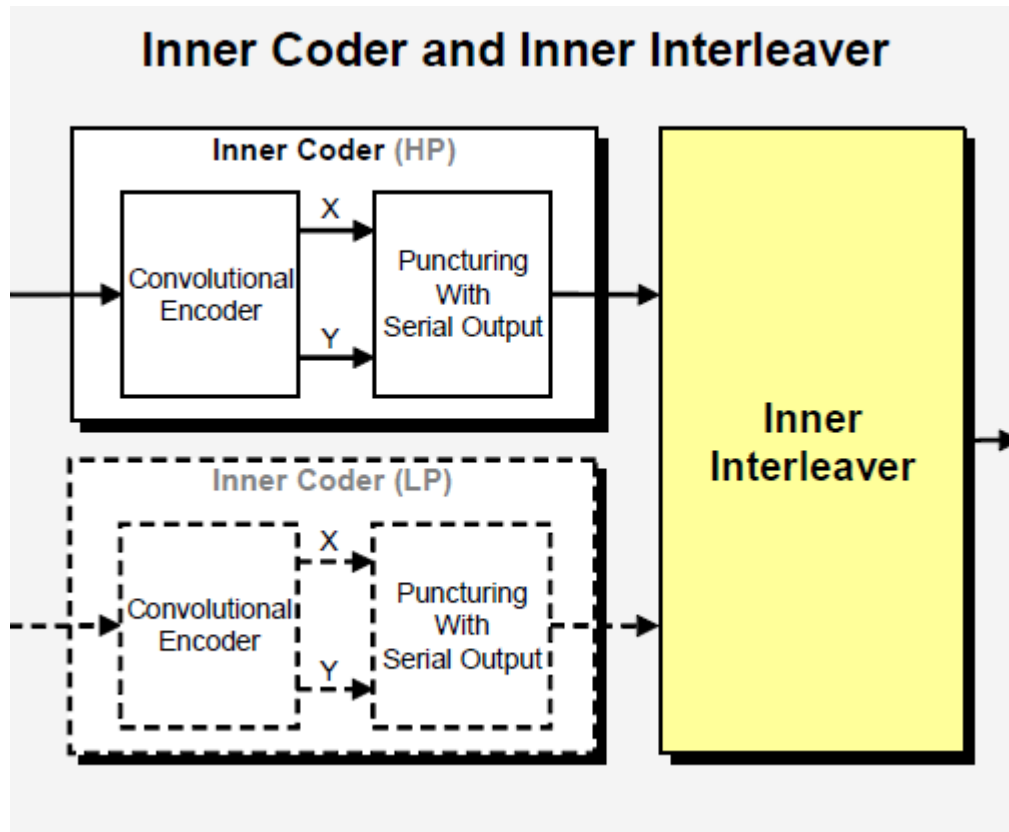


Εικόνα 1.7 Συνελκτική κωδικοποίηση για ρυθμό κωδικοποίησης 1/2

Η εσωτερική κωδικοποίηση ακολουθεί τη συνελκτική διεμπλοκή και την συμπληρώνει αποδοτικά, καθώς διορθώνει άλλου είδους σφάλματα. Ο ισχυρός πλεονασμός που εισάγεται από αυτή (100%, καθώς ο συνελκτικός κωδικοποιητής παράγει δύο ροές εξόδου, καθεμιά με τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης, όπως η ροή εισόδου) επιτρέπει μια πολύ ισχυρή διόρθωση λαθών. Αυτό μπορεί να είναι αναγκαίο για σήματα με πολύ χαμηλό σηματοθορυβικό λόγο (SNR, Signal-to-Noise Ratio) στην είσοδο του δέκτη, αλλά έχει ως αποτέλεσμα τον υποδιπλασιασμό της φασματικής απόδοσης του καναλιού. Ωστόσο, αυτού του τύπου η συνελκτική κωδικοποίηση επιτρέπει ο πλεονασμός που εισάγεται να μειωθεί διαμέσου της διάτρησης (puncturing) της εξόδου του συνελκτικού κωδικοποιητή. Αυτός καθιστά δυνατή

τη μη λήψη όλων των διαδοχικών bits των ακολουθιών εξόδου, αλλά μόνο ένα από τα δύο ταυτόχρονα bits με ένα συγκεκριμένο λόγο διάτρησης (puncturing ratio).

Η εσωτερική κωδικοποίηση των bytes χωρίζεται σε δύο μέρη. Αρχικά, έχουμε αναδιάταξη bit και στη συνέχεια αναδιάταξη συμβόλου. Η διαδικασία της συνελκτικής κωδικοποίησης δίνεται σχηματικά παρακάτω:



Εικόνα 1.8 Διαδικασία της συνελκτικής κωδικοποίησης

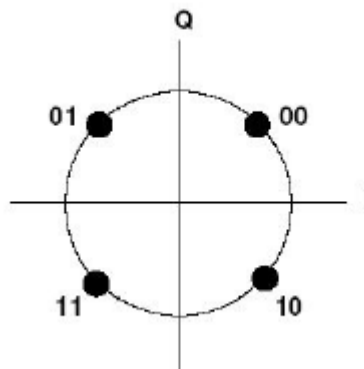
Στην αναδιάταξη bit, η είσοδος αποπολυπλέκεται σε v υπο-ρεύματα, όπου $v=2$ για QPSK, $v=4$ για 16-QAM και $v=6$ για 64-QAM. Μετά από μια διαδικασία, κάθε σύμβολο στην έξοδο του bit interleaving αποτελείται από v bits, ένα bit από κάθε υπο-ρεύμα. Στην αναδιάταξη συμβόλου, σκοπός είναι να αντιστοιγήσουμε τις λέξεις των v bits στα 1512 (2K OFDM) ή 6048 (8K OFDM) ενεργά φέροντα κάθε συμβόλου OFDM.

1.3.5 Διαμόρφωση OFDM και μετάδοση

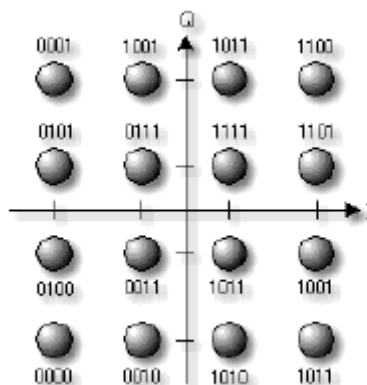
Το σύστημα χρησιμοποιεί μετάδοση OFDM. Κάθε φέρον με δεδομένα διαμορφώνεται κατά QPSK, 16-QAM, 64-QAM, non-uniform 16-QAM, non-uniform 64-QAM.

Η ακριβής συμμετρία των αστερισμών για τους παραπάνω τρόπους διαμόρφωσης εξαρτάται από μια παράμετρο α , η οποία μπορεί να πάρει τις τιμές 1, 2 και 4. Η παράμετρος α είναι η ελάχιστη απόσταση που χωρίζει δύο σημεία αστερισμού για τη μεταφορά διαφορετικών τιμών HP. Η μη-ιεραρχική μετάδοση χρησιμοποιεί τον ίδιο ομοιόμορφο αστερισμό με την περίπτωση όπου $\alpha=1$.

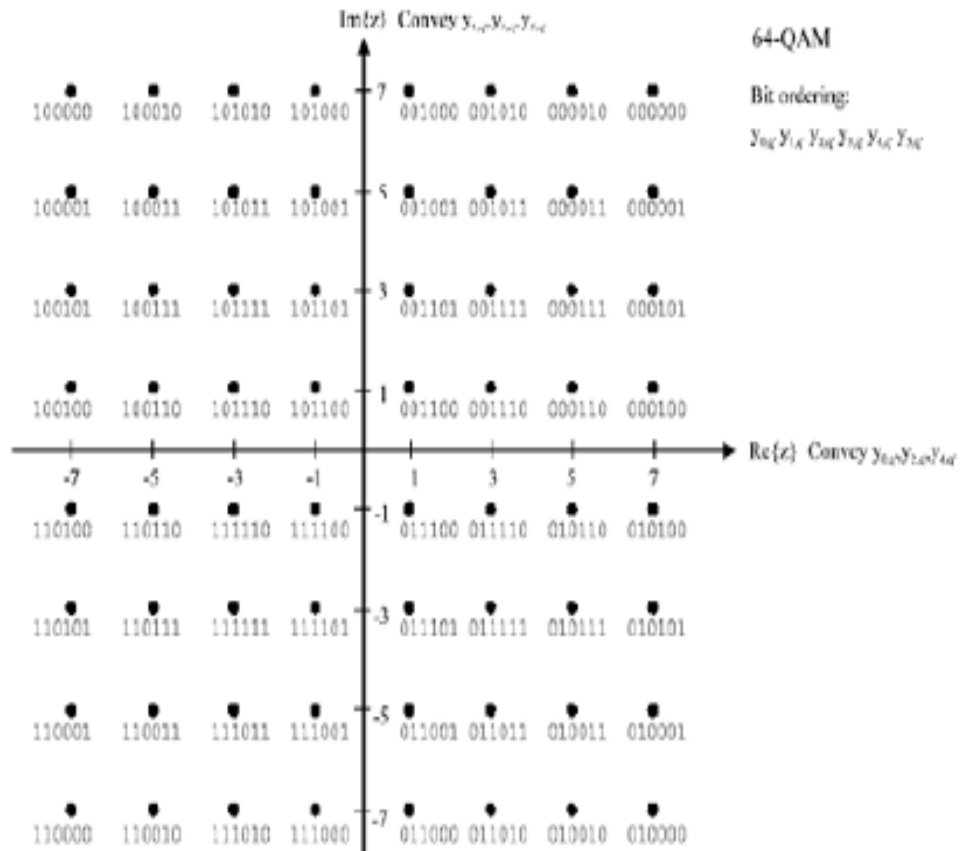
Οι αστερισμοί για καθέναν από τους τρόπους διαμόρφωσης QPSK, 16-QAM, 64-QAM με παράμετρο $\alpha=1$ φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



Εικόνα 1.9 Αστερισμός τρόπου διαμόρφωσης QPSK για $\alpha=1$



Εικόνα 1.10 Αστερισμός τρόπου διαμόρφωσης 16-QAM για $\alpha=1$



Εικόνα 1.11 Αστερισμός τρόπου διαμόρφωσης 64-QAM για $\alpha=1$

1.3.6 Δομή πλαισίου OFDM

Το εκπεμπόμενο σήμα οργανώνεται σε πλαίσια. Κάθε πλαίσιο έχει διάρκεια T_f και αποτελείται από 68 σύμβολα OFDM. Τέσσερα πλαίσια αποτελούν ένα υπερ-πλαίσιο. Κάθε σύμβολο αποτελείται από ένα σύνολο $k=6817$ φερόντων στο $8k$ OFDM και $k=1705$ φερόντων στο $2k$ OFDM και μεταδίδεται με διάρκεια T_s . Αποτελείται από δύο μέρη: ένα χρήσιμο μέρος με διάρκεια T_u και ένα διάστημα εμπιστοσύνης με διάρκεια Δ . Τα σύμβολα σε ένα πλαίσιο OFDM παίρνουν τιμές από 0 έως 67. Όλα τα σύμβολα περιέχουν δεδομένα και πληροφορία αναφοράς. Αφού κάθε 1 σύμβολο OFDM αποτελείται από διαφορετικά διαμορφωμένα φέροντα κάθε σύμβολο μπορεί να θεωρηθεί ότι χωρίζεται σε κύτταρα, καθένα από τα οποία αντιστοιχεί στο αντίστοιχο διαμορφωμένο φέρον.

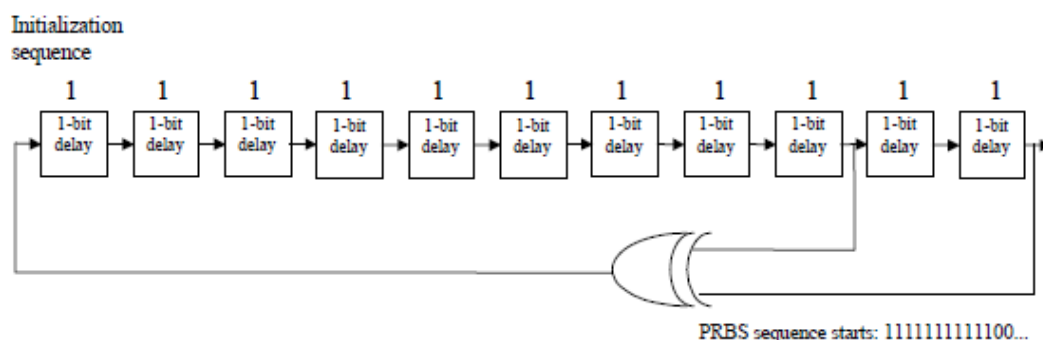
Εκτός από τα δεδομένα που εκπέμπονται το πλαίσιο OFDM περιέχει επίσης και διασκορπισμένα κύτταρα πιλότους, συνεχόμενα πιλοτικά φέροντα και φέροντα πληροφορίας μετάδοσης. Οι πιλότοι χρησιμοποιούνται για συγχρονισμό πλαισίου, συγχρονισμό συχνότητας, χρονικό συγχρονισμό, εκτίμηση καναλιού, αναγνώριση τρόπου μετάδοσης και μπορούν τέλος να ακολουθούν το θόρυβο φάσης.

Τα φέροντα έχουν ενδεικτική k όπου $k \in [0, 1704]$ για 2k OFDM και $k \in [0, 6816]$ για 8k OFDM. Η απόσταση ανάμεσα σε δύο γειτονικά φέροντα είναι $1/T_u$, ενώ το εύρος ζώνης του σήματος είναι $(k-1)/T_u$.

Τα σήματα πιλότοι διαμορφώνονται με πληροφορίες αναφοράς που η εκπεμπόμενη τιμή τους είναι γνωστή στο δέκτη και το επίπεδο ενέργειας τους είναι μεγαλύτερο από αυτή των σημάτων-δεδομένων. Ο αριθμός των χρήσιμων φερόντων δεδομένων είναι 1512 για 2k OFDM και 6048 για 8k OFDM. Η τιμή για την πληροφορία που μεταδίδεται από τους διασκορπισμένους και τους συνεχόμενους πιλότους προέρχεται από μια ψευδοτυχαία δυαδική ακολουθία. Η ακολουθία αυτή αρχικοποιείται, έτσι ώστε το πρώτο bit εξόδου να αντιστοιχεί στο πρώτο ενεργό φέρον ενώ παράγεται τιμή για κάθε φέρον ανεξάρτητα αν είναι πιλότος ή όχι. Το πολυώνυμο της δυαδικής ψευδοτυχαίας ακολουθίας είναι το

$$1+X^2+X^{11}$$

και το διάγραμμα του ακολουθεί στη συνέχεια:



Εικόνα 1.12 Διάγραμμα γεννήτριας ψευδοτυχαίας ακολουθίας

Τα σήματα παραμέτρων μετάδοσης (Transmission Parameter Signaling TPS), από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιούνται για εκπομπή πληροφοριών σχετικών με την κωδικοποίηση του καναλιού και τη διαμόρφωση. Το σήμα αυτό μεταδίδεται παράλληλα σε 17 TPS φέροντα για το 2k OFDM και σε 68 για το 8k OFDM. Κάθε φέρον στο ίδιο σύμβολο περιέχει το ίδιο διαφορετικά κωδικοποιημένο bit πληροφορίας για λόγους προστασίας από λάθη, αφού η πληροφορία που περιέχει αυτό το σήμα είναι ζωτική για το συγχρονισμό του δέκτη και τον ορισμό των παραμέτρων λήψης.

Οι πληροφορίες που περιέχουν τα φέροντα TPS είναι:

- διαμόρφωση που περιλαμβάνει την παράμετρο a της διαμόρφωσης QAM
- πληροφορίες για ιεραρχική μετάδοση
- διάστημα εμπιστοσύνης

- ρυθμοί εσωτερικής κωδικοποίησης
- τρόπος μετάδοσης (2k OFDM ή 8k OFDM)
- αριθμός πλαισίου μέσα στο υπερ-πλαίσιο
- αναγνώριση κελιού

Κάθε OFDM σύμβολο μεταφέρει ένα TPS bit. Κάθε block TPS αποτελείται από 68 bits. Ο ρόλος των κάθε bits περιγράφεται στη συνέχεια:

- 1 bit για αρχικοποίηση
- 16 bits για συγχρονισμό
- 37 bits για πληροφορία (από τα 37 bits, τα 31 χρησιμοποιούνται, τα υπόλοιπα έξι έχουν τιμή μηδέν)
- 14 bits για προστασία από λάθη

2

LTE

2.1 Τεχνολογίες 4^{ης} Γενιάς

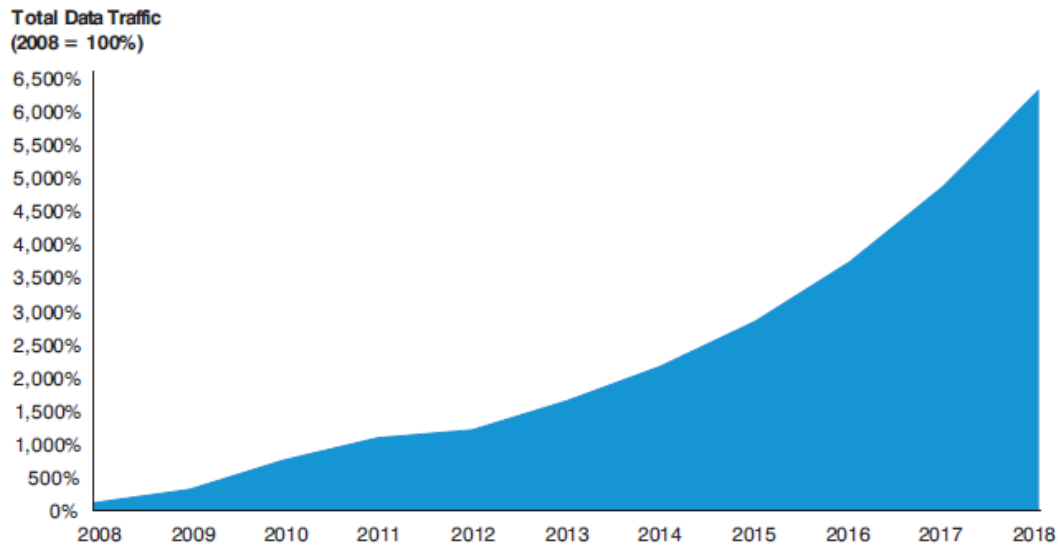
2.1.1 Εισαγωγή

Οι Τεχνολογίες 4^{ης} Γενιάς (4G) αποτελούν τη μελλοντική και πλέον ολοκληρωμένη εξέλιξη στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών. Η ταχέως ανερχόμενη αυτή τεχνολογία, η οποία κάνει χρήση των εφαρμογών του IP, θα είναι σε θέση να μεταδίδει φωνή, δεδομένα και ένα πλήθος εφαρμογών πολυμέσων οπουδήποτε και οποτεδήποτε με πολύ υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης σε σχέση με τις τεχνολογίες των προηγούμενων γενεών.

Καθώς η 2^η γενιά αντικατέστησε πλήρως τα δίκτυα και τις εφαρμογές της πρώτης γενιάς, και η 3^η τα αντίστοιχα της 2^{ης}, η 4G δεν μπορεί να είναι τίποτε άλλο από τον αντικαταστάτη της 3^{ης} γενιάς. Οι διεθνείς οργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για την τυποποίηση και κατοχύρωση των νέων τηλεπικοινωνιακών επιτευγμάτων και ιδεών εικάζουν ότι τα δίκτυα 4G θα τεθούν προς εμπορική εκμετάλλευση γύρω στο 2012-2015.

Δεν υπάρχει επίσημος ορισμός για το τι είναι ακριβώς το 4G. Παρόλα αυτά, υπάρχουν ορισμένοι χαρακτηριστικά που θα πρέπει να ικανοποιούνται. Αυτά τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν τα ακόλουθα: Πρώτον, ότι το 4G θα βασίζεται πλήρως στο IP πρωτόκολλο και δεύτερον, ότι θα είναι σε θέση να δίνει ταχύτητες μεταξύ 100Mbit/s και 1Gbit/s τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους παρέχοντας υψηλή ασφάλεια και αξεπέραστη ποιότητα.

Το σχήμα που ακολουθεί δίνει μια προσεγγιστική εικόνα της αύξησης της κίνησης δεδομένων την επόμενη δεκαετία πράγμα που συνεπάγεται την εισαγωγή νέων πιο «γρήγορων» τεχνολογιών όπως το 4G.



Εικόνα 2.1 Διάγραμμα αύξησης της κίνησης τα επόμενα έτη

2.1.2 Στόχοι της τεχνολογίας 4G

Η Τεχνολογία 4^{ης} Γενιάς αναπτύσσεται προκειμένου να βελτιώσει την ποιότητα παροχής υπηρεσιών (quality of service – QoS) και να θέσει τα θεμέλια για επερχόμενες τεχνολογικές εφαρμογές, όπως η ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση, Multimedia Messaging Service (MMS), video chat, mobile TV, Digital Video Broadcasting κ.ά. Οι στόχοι που θα πρέπει να ικανοποιούνται από το πρότυπο του 4G είναι:

- ένα φασματικά αποδοτικό σύστημα (σε bit/s/Hz)
- υψηλή χωρητικότητα συστήματος (περισσότεροι ταυτόχρονοι χρήστες ανά κυψέλη) και μικρότερο κόστος ανά bit. Η χωρητικότητα για τα 4G συστήματα πρέπει να είναι τουλάχιστον δέκα φορές υψηλότερη από την αντίστοιχη των 3G , ενώ το κόστος ανά bit πρέπει να μειωθεί δραματικά ώστε η χρέωση να μην είναι απαγορευτική.
- Υψηλός ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας. Τα συστήματα 3^{ης} γενιάς προσφέρουν μέχρι 2Mbit/s για περιβάλλοντα εσωτερικού χώρου και τουλάχιστον 144Kbit/s για κινούμενα περιβάλλοντα. Η ελάχιστη ταχύτητα που έχει τεθεί ως στόχο για τα 4G συστήματα θα είναι 1Gbit/s για ακίνητα περιβάλλοντα και 100Mbit/s για κινούμενα οχήματα .
- Καλή χωρική κάλυψη με μεταβλητή ταχύτητα μετάδοσης. Καθώς οι ταχύτητες μετάδοσης αυξάνονται, το απαιτούμενο επίπεδο λαμβανόμενου σήματος θα αυξηθεί ανάλογα. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η επιδιωκόμενη ταχύτητα των συστημάτων 4G

είναι μεγαλύτερη από δύο τάξεις μεγέθους σε σχέση με τα υπάρχοντα συστήματα, η ακτίνα της κυψέλης θα μειωθεί και η κάλυψη στο εσωτερικό των κτιρίων θα υποβαθμιστεί αν δεν προστεθεί ένας μεγάλος αριθμός σταθμών βάσης. Η χρήση συστημάτων μετάδοσης μεταβλητής απόστασης και ταχύτητας είναι αναγκαία για ικανοποιητική κάλυψη εσωτερικών χώρων και μετάβαση σε διαφορετική κυψέλη χωρίς προβλήματα ανεξαρτήτως της τεχνολογίας των συστημάτων (3G, 4G)

- ένας ρυθμός μετάδοσης τουλάχιστον 100Mbit/s μεταξύ δύο οποιονδήποτε σημείων στον κόσμο
- χωρίς διακοπή συνδεσιμότητα και δυνατότητα περιαγωγής σε πολλαπλά δίκτυα
- εξαιρετική ποιότητα παροχής υπηρεσιών QoS για τις εφαρμογές πολυμέσων της επόμενης γενιάς, όπως Multimedia Messaging Service (MMS), video chat, mobile TV, Digital Video Broadcasting. Τα ασύρματα συστήματα χρησιμοποιούν περιορισμένο εύρος συχνοτήτων και μεταδιδόμενη ισχύος και υποφέρουν από συμφόρηση. Επομένως εξαιρετική QoS είναι αναγκαία για την υποστήριξη διαφορετικών εφαρμογών, ιδιαίτερα αυτών που απαιτούν επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.
- ομαλή διασύνδεση με συστήματα 3G, ασύρματα δίκτυα υπολογιστών (WLAN) και σταθερά δίκτυα. Με τη χρήση τεχνολογίας βασισμένης σε πρωτόκολλα Internet (IP) μεταγωγής πακέτων θα είναι δυνατή ομαλή διασύνδεση διαφορετικών τεχνολογιών. Ως αποτέλεσμα ο κάθε χρήστης θα μπορεί να διαλέγει το καλύτερο δίκτυο ανά περίπτωση (ανάλογα με τον χρόνο, χώρο και κόστος)

2.1.3 Σύγκριση της νέας τεχνολογίας (4G) με την προηγούμενη (3G)

Πολλοί είναι εκείνοι που διατείνονται ότι είναι αρκετά πρόωρη η ανάπτυξη και υλοποίηση των συστημάτων 4G, από την στιγμή μάλιστα που δεν έχει ολοκληρωθεί και τελειοποιηθεί η πλήρης εξάπλωση των συστημάτων της προηγούμενης γενιάς, της 3G. Υπάρχει όμως, μια πλειάδα λόγων που καθιστούν επιτακτική την προώθηση της τεχνολογίας 4^{ης} γενιάς, οι οποίοι αναλύονται ακριβώς παρακάτω:

- η απόδοση των 3G συστημάτων δεν κρίνεται ικανοποιητική για μελλοντικές εφαρμογές υψηλής απόδοσης, όπως εφαρμογές πολυμέσων, full-motion video, ασύρματη τηλεδιάσκεψη. Απαιτείται ένα σύστημα, το οποίο να επεκτείνει την ήδη υπάρχουσα χωρητικότητα κατά μία τάξη μεγέθους
- υπάρχουν πολλά πρότυπα που πρέπει ένα 3G σύστημα να ικανοποιήσει προκειμένου να διασυνδεθεί με άλλα δίκτυα. Χρειαζόμαστε παγκόσμια δυνατότητα μετακίνησης και φορητότητα υπηρεσιών
- Το 3G βασίζεται κυρίως στην υλοποίηση ευρείας ζώνης. Χρειαζόμαστε υβριδικά δίκτυα, τα οποία να είναι σε θέση να υλοποιήσουν τόσο ασύρματα LAN (hot spot) όσο και κυψελωτά ευρείας ζώνης δίκτυα

- Χρειαζόμαστε μεγαλύτερο εύρος ζώνης
- Οι ερευνητές έχουν αναπτύξει φασματικά πιο αποδοτικές τεχνικές διαμόρφωσης, οι οποίες δεν μπορούν να συμβαδίσουν με την 3G υλοποίηση
- Χρειαζόμαστε ψηφιακά δίκτυα πακέτων, βασισμένα στην πλήρη και εξελιγμένη μορφή του IP

Ακολουθεί ένας πίνακας στον οποίο γίνεται σύγκριση στις παραμέτρους-κλειδιά των δύο συστημάτων .

	3G (συμπεριλαμβάνεται 2.5G, sub3G)	4G
Major Requirement Driving Architecture	Predominantly voice driven - data was always add on	Converged data and voice over IP
Αρχιτεκτονική δικτύου	Wide area cell-based	Hybrid - Integration of Wireless LAN (WiFi, Bluetooth) and wide area
Ταχύτητα	384 Kbps έως 2 Mbps	20 έως 100 Mbps εν κινήσει
Ζώνη συχνοτήτων	Εξαρτάται από χώρα και ήπειρο (1800-2400 MHz)	Υψηλές ζώνες συχνοτήτων (2-8 GHz)
Εύρος ζώνης	5-20 MHz	100 MHz (ή παραπάνω)
Είδος μεταγωγής	Κυκλώματος και πακέτου	All digital with packetized voice
Τεχνολογίες πρόσβασης	W-CDMA, 1xRTT, Edge	OFDM και MC-CDMA (Multi Carrier CDMA)
Μηχανισμός διόρθωσης λαθών	Convolutional rate 1/2, 1/3	Concatenated coding scheme
Σχεδιαστική υλοποίηση	Optimized antenna design, multi-band adapters	Smarter Antennas, software multiband and wideband radios
IP	including IP 5.0	Όλα τα IP (IP6.0)

Πίνακας 2.1 Σύγκριση χαρακτηριστικών 3G και 4G

2.1.4 Εφαρμογές της τεχνολογίας 4G

Ακολουθούν κάποιες εφαρμογές που βασίζονται στην 4G τεχνολογία και που αν διαδοθούν ενδέχεται να αλλάξουν την καθημερινότητα σε μεγάλο βαθμό αρκετών από εμάς .

- **εικονική πλοήγηση (virtual navigation).** Μια απομακρυσμένη βάση δεδομένων θα περιέχει γραφική αναπαράσταση δρόμων, κτιρίων και τοπογραφικών γνωρισμάτων. Κομμάτια αυτής της βάσης δεδομένων θα μεταδίδονται γρήγορα σε ένα όχημα όπου ένα υπολογιστικό πρόγραμμα θα επιτρέπει στους επιβάτες να προβλέπουν τη

μελλοντική διαδρομή, να επιλέγουν δρόμους με τη μικρότερη κίνηση, να εντοπίζουν αξιοθέατα ή μουσεία ή να επιλέγουν εναλλακτικούς δρόμους σε περιπτώσεις ατυχημάτων.

- **Τηλεϊατρική (telemedicine).** Τα πληρώματα των ασθενοφόρων σε απομακρυσμένες περιοχές θα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ιατρικά αρχεία και να τηλεδιασκέπτονται με γιατρούς, όπως και να μεταδίδουν κρίσιμες πληροφορίες του ασθενούς σε κεντρικά νοσοκομεία .
- **σταθμός πληροφορίας (infostation).** Ένας οδηγός αυτοκινήτου θα μπορεί να λαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό αρχείων ή πολυμέσων από το δίκτυο κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε ένα αυτοκινητόδρομο από και προς το χώρο εργασίας.
- **εφαρμογές διαχείρισης κρίσεων.** Αυτές οι εφαρμογές είναι χρήσιμες σε περιόδους φυσικών καταστροφών όταν ολόκληρος ο τηλεπικοινωνιακός ιστός έχει παραλύσει. η γρήγορη επαναλειτουργία των τηλεπικοινωνιών είναι αναγκαία. Η αυξημένη χωρητικότητα των ασύρματων συστημάτων ευρείας ζώνης 4G τα οποία περιλαμβάνουν υπηρεσίες internet και video θα επιτρέψουν την αποκατάσταση σε διάστημα ωρών σε αντιδιαστολή με τα ενσύρματα συστήματα που θα απαιτούσαν ημέρες ή ακόμα και βδομάδες.
- **εκπαίδευση μέσω Internet.** Η παροχή ενσύρματης πρόσβασης ευρείας ζώνης στο Internet είναι οικονομικά ασύμφορη για κατοίκους αραιοκατοικημένων ή απομακρυσμένων περιοχών. Ασύρματες επικοινωνίες ευρείας ζώνης μπορούν να λύσουν αυτό το πρόβλημα.
- **Κινητά δίκτυα υπολογιστών.** Κατά ανάλογο τρόπο με τα σταθερά δίκτυα υπολογιστών τα κινητά δίκτυα υπολογιστών θα διευκολύνουν οικονομικές συναλλαγές, επιχειρηματικές πράξεις και επιστημονική συνεργασία από απόσταση

2.2 3GPP Long Term Evolution (LTE)

Η πρόσφατη αύξηση που σημειώθηκε στη χρήση κινητών συσκευών και η ανάδειξη νέων εφαρμογών όπως το MMOG (Multimedia Online Gaming), η κινητή τηλεόραση, το Web 2.0 και οι εφαρμογές ρευμάτωσης (streaming) παρακίνησαν το 3rd Generation Partnership Project (3GPP) να προχωρήσει στην υλοποίηση του LTE. Το 3GPP LTE (Long Term Evolution) είναι η ονομασία που αποδόθηκε στην τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία που αναπτύχθηκε υπό την αιγίδα του Third Generation Partnership Project (3GPP) με σκοπό να βελτιώσει το προηγούμενο πρότυπο κινητών τηλεπικοινωνιών UMTS και να διευκολύνει τη μετάβαση σε περισσότερο εξελιγμένες εφαρμογές. Από τους κατ' εκτίμηση 1.8 δισεκατομμύριο ανθρώπους που θα έχουν ευρυζωνικότητα μέχρι το 2012, περίπου τα 2/3 θα είναι κινητοί ευρυζωνικοί καταναλωτές και η πλειοψηφία από αυτούς θα εξυπηρετηθούν από HSPA (High Speed Packet Access) και LTE (Long Term Evolution) δίκτυα. Με το LTE, η εμπειρία του χρήστη θα είναι ακόμα καλύτερη. Θα ενισχύσει περαιτέρω τις πιο απαιτητικές εφαρμογές όπως τη διαδραστική τηλεόραση, τα προηγμένα παιχνίδια ή τις

επαγγελματικές υπηρεσίες. Το LTE προσφέρει διάφορα σημαντικά οφέλη για τους καταναλωτές και τους παρόχους:

- **Απόδοση και χωρητικότητα:** μια από τις απαιτήσεις σε LTE είναι να παρασχεθεί μέγιστος ρυθμός στην κάτω ζεύξη τουλάχιστον 100 Mbit/s. Η τεχνολογία επιτρέπει τις ταχύτητες άνω των 200Mbit/s. Επιπλέον, το RAN (radio access network) round-trip time θα είναι λιγότερο από 10ms. Στην πραγματικότητα, αυτό σημαίνει ότι το LTE - περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία - ήδη καλύπτει τις βασικές 4G απαιτήσεις.
- **Απλότητα:** Το LTE υποστηρίζει εύρη ζώνης φερόντων, κάτω από 5MHz μέχρι 20MHz. Το LTE υποστηρίζει επίσης και FDD (Frequency Division Duplex) και TDD (Time Division Duplex). Δέκα paired και τέσσερις unpaired ζώνες φάσματος έχουν προσδιοριστεί μέχρι τώρα από την 3GPP για το LTE. Και υπάρχουν περισσότερες ζώνες συχνοτήτων. Αυτό σημαίνει ότι ένας πάροχος μπορεί να εισαγάγει το LTE σε 'καινούριες' ζώνες όπου είναι το ευκολότερο να επεκταθούν οι φέρουσες σε 10MHz ή 20MHz, και να επεκτείνει τελικά το LTE σε όλες τις ζώνες.
- **Ευρύ φάσμα των τερματικών:** εκτός από τα κινητά τηλέφωνα, πολλές ηλεκτρονικές συσκευές καταναλωτών και υπολογιστές, όπως τα notebooks, συσκευές παιχνιδιών και φωτογραφικές μηχανές, θα έχουν ενσωματωμένες τις LTE modules.

Σήμερα, οι προδιαγραφές για το LTE περιλαμβάνονται στο 3GPP Release 8, η οποία και καθορίζει την τεχνολογική εξέλιξη των 3GPP κινητών δικτυακών συστημάτων. Το LTE είναι μια από τις αναδυόμενες τεχνολογίες της λεγόμενης 4^{ης} Γενιάς. Βασισμένη στα τεχνολογικά θεμέλια της 3GPP οικογένειας κυψελωτών συστημάτων, η οποία περιλαμβάνει επίσης το GSM, το GPRS, το EDGE, το WCDMA και το HSPA που εξυπηρετούν σχεδόν το 85% του συνόλου των κινητών συνδρομητών, το LTE παρέχει το μονοπάτι για ομαλή μετάβαση σε υψηλότερες ταχύτητες και χαμηλότερους χρόνους αναμονής. Ο πίνακας 2.2 είναι ενδεικτικό της εξελικτικής πορείας της τεχνολογίας έως ότου να φτάσουμε στο πλέον πρόσφατο LTE

	WCDMA (UMTS)	HSPA HSDPA / HSUPA	HSPA+	LTE
Max downlink speed bps	384 k	14 M	28 M	100M
Max uplink speed bps	128 k	5.7 M	11 M	50 M
Latency round trip time approx	150 ms	100 ms	50ms (max)	~10 ms
3GPP releases	Rel 99/4	Rel 5 / 6	Rel 7	Rel 8
Approx years of initial roll out	2003 / 4	2005 / 6 HSDPA 2007 / 8 HSUPA	2008 / 9	2009 / 10
Access methodology	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA / SC-FDMA

Πίνακας 2.2 εξελικτικής πορείας της τεχνολογίας έως το LTE

Το LTE είναι σε θέση να εξασφαλίσει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα για λογαριασμό της 3GPP έναντι των άλλων κυψελωτών τεχνολογιών. Το LTE, του οποίου το δίκτυο πρόσβασης καλείται Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), αναμένεται να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση σε πολλά κρίσιμα μεγέθη του δικτύου, όπως είναι η ρυθμαπόδοση, η χωρητικότητα κυψέλης και τομέα και η λανθάνουσα καθυστέρηση (latency time) του συστήματος, βελτιώνοντας θεαματικά την τελική εμπειρία του χρήστη και προσφέροντάς του συγχρόνως δυνατότητα πλήρους κινητικότητας. Με την ανάδειξη του Internet Protocol, δηλαδή του Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (IP), ως το πρωτόκολλο επιλογής για τη μεταφορά όλων των τύπων κίνησης, το LTE σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει την IP κίνηση και παράλληλα το από άκρο σε άκρο QoS. Η φωνή θα μεταδίδεται κυρίως ως Voice over IP (VoIP), καθιστώντας εφικτή την καλύτερη αλληλεπίδραση με άλλες υπηρεσίες πολυμέσων.

Το LTE έχει θέσει ψηλά τον πήχη όσον αφορά τις απαιτήσεις απόδοσης. Το αδιαφιλονίκητο πλεονέκτημα του LTE οφείλεται στις τεχνολογίες φυσικού στρώματος, όπως είναι η OFDMA, τα συστήματα MIMO και οι έξυπνες κεραίες. Το LTE αποβλέπει στην ελαχιστοποίηση της πολυπλοκότητας των συστημάτων που υλοποιούνται, στην επίτευξη δυναμικής κατανομής φάσματος στο υπάρχον ή σε νέο φάσμα συχνοτήτων και τέλος, στη διαλειτουργικότητα με τις άλλες 3GPP τεχνολογίες πρόσβασης. Ένας ακόμη στόχος της φιλόδοξης αυτής τεχνολογίας είναι να εξασφαλίσει την αρμονική συνύπαρξη των LTE συστημάτων με τα παραδοσιακά δίκτυα τα οποία χρησιμοποιούν τη μεταγωγή κυκλώματος. Με τον τρόπο αυτό, θα είναι δυνατή η σταδιακή αφομοίωση του LTE από τις ήδη υπάρχουσες πλατφόρμες, γεγονός το οποίο θα επιτρέπει στο χρήστη να εκμεταλλεύεται τα οφέλη του προηγμένου LTE χωρίς να απαιτείται η εγκατάσταση ενός ολοκληρωτικά νέου συστήματος.

Πολλές εταιρείες έχουν ήδη υιοθετήσει το Long Term Evolution και εργάζονται εντατικά για την ανάπτυξη και υλοποίησή του. Η εικόνα 2.2 δείχνει τα βήματα τυποποίησης και εξέλιξης του LTE.



Εικόνα 2.2 Εξέλιξη του LTE

2.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά

2.2.1.1 OFDMA

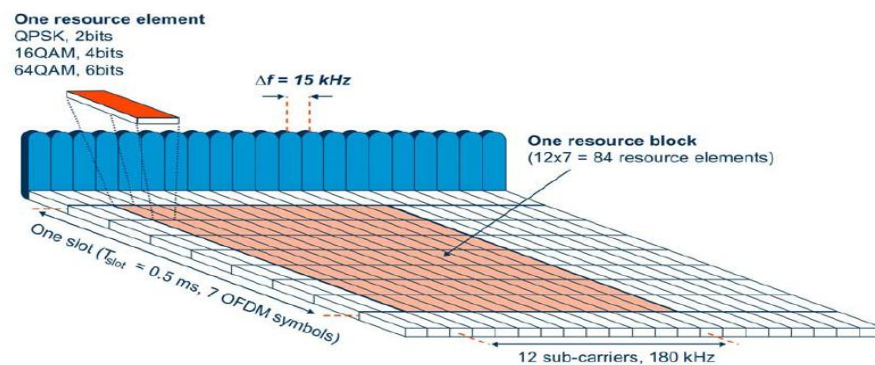
Η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιείται για το φυσικό στρώμα του LTE είναι η Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) με ένα κυκλικό πρόθεμα (Cyclic Prefix-CP) για την κάτω ζεύξη και η Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) με επίσης ένα CP για την άνω. Η τεχνική OFDMA είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε περιπτώσεις διαύλων επιλεκτικών ως προς τη συχνότητα και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Ένα κανάλι που χαρακτηρίζεται από διαλείψεις επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα μετασχηματίζεται σε ένα κανάλι με επίπεδες διαλείψεις χάρη στη χρήση του CP. Επιπρόσθετα, αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά οι πιο κοινοί τύποι RF παραμορφώσεων χωρίς να απαιτούνται σύνθετες τεχνικές εξίσωσης.

Το LTE χρησιμοποιεί την τεχνική πρόσβασης OFDMA για την κάτω ζεύξη, δηλαδή για τη σύνδεση που υλοποιείται από το σταθμό βάσης προς το τερματικό. Η OFDMA ικανοποιεί την απαίτηση του LTE για δυναμική κατανομή φάσματος και κάνει χρήση οικονομικά αποδοτικών λύσεων για την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης.

Η OFDMA χρησιμοποιεί έναν μεγάλο αριθμό υποφερουσών (subcarriers), ο αριθμός των οποίων μπορεί να φτάσει τις 1200. Ο αριθμός των υποφερουσών (subcarriers) εξαρτάται από το διατιθέμενο εύρος ζώνης (από 1.4MHz μέχρι 20MHz), αλλά δεν καταλαμβάνεται το 100% του εύρους ζώνης από αυτές δεδομένου ότι τα CP καταλαμβάνουν ένα μέρος αυτού. Η συγκεκριμένη υλοποίηση μπορεί να απεικονιστεί μέσω ενός πλέγματος χρόνου-συχνότητας, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.3 που ακολουθεί. Στο πεδίο συχνότητας, το διάστημα μεταξύ των υποφερουσών (subcarriers), Δf , είναι 15kHz. Επιπλέον, ο χρόνος διάρκειας ενός OFDMA συμβόλου είναι $1/\Delta f + CP$. Τα OFDMA σύμβολα οργανώνονται σε φασματικές περιοχές (resource blocks). Οι φασματικές αυτές περιοχές (resource blocks)

έχουν ένα συνολικό μέγεθος 180kHz στο πεδίο της συχνότητας και 0.5ms στο πεδίο του χρόνου. Κάθε χρονικό διάστημα μετάδοσης (Transmission Time interval-TTI) του 1ms αποτελείται από δύο σχισμές (Tslot).

Σε κάθε χρήστη κατανέμεται ένα σύνολο φασματικών περιοχών (resource blocks) από το υποτιθέμενο πλέγμα χρόνου-συχνότητας. Όσες περισσότερες φασματικές περιοχές έχει ένας χρήστης στη διάθεσή του και όσο υψηλότερη είναι η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται, τόσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης bit. Πόσες φασματικές περιοχές και ποιες συγκεκριμένα διατίθενται σε κάθε χρήστη σε μια δεδομένη χρονική στιγμή προκύπτει μέσω προηγμένων προγραμματιστικών μηχανισμών, οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τον χρόνο και τη συχνότητα. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι παρόμοιοι με εκείνους που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία HSPA, και καθιστούν εφικτή τη βέλτιστη απόδοση για διαφορετικές υπηρεσίες και σε διαφορετικά περιβάλλοντα μετάδοσης.



Εικόνα 2.3 Το πλέγμα χρόνου-συχνότητας στο LTE

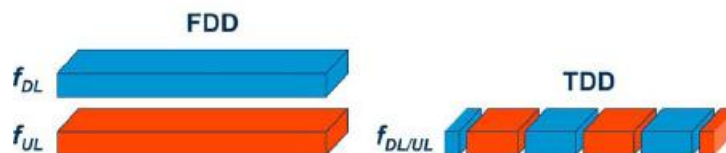
Στην άνω ζεύξη, χρησιμοποιείται η τεχνική Single-Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA), η οποία αποτελεί και μια παραλλαγή της OFDMA. Η SC-FDMA έχει πολλές ομοιότητες με την OFDMA, από τις οποίες ξεχωρίζει η διατήρηση της ορθογωνικότητας συχνότητας μεταξύ των χρηστών της ίδιας κυψέλης με την οποία περιορίζεται το επίπεδο παρεμβολών στο σταθμό βάσης.

Η διαφοροποίηση έγκειται στο ότι η SC-FDMA έχει χαμηλότερες απαιτήσεις ισχύος, γεγονός που παρατείνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Συν τοις άλλοις, η αυξημένη κατανάλωση ισχύος προϋποθέτει την ύπαρξη δαπανηρών ενισχυτών με υψηλές απαιτήσεις για γραμμικότητα, η οποία αυξάνει το κόστος του τερματικού. Η SC-FDMA επιλύει αυτό το πρόβλημα ομαδοποιώντας κατά τέτοιο τρόπο τις φασματικές περιοχές (resource blocks) ώστε να περιορίζεται η ανάγκη για γραμμικότητα, και συνεπώς και η κατανάλωση ισχύος στον αντίστοιχο ενισχυτή. Η χαμηλή κατανάλωση ισχύος βελτιώνει επίσης την κάλυψη και την απόδοση στα σύνορα των κυψελών.

2.2.1.2 Ζώνες συχνοτήτων για FDD και TDD

Το LTE μπορεί να υλοποιηθεί και σε ζώνες κατά ζεύγη (FDD) και σε άζευκτες (TDD). Οι πρώτες υλοποιήσεις που προωθούνται υποστηρίζουν και τις δύο τεχνικές. Γενικά, το FDD είναι αποδοτικότερο και βρίσκει εφαρμογή σε περισσότερες συσκευές και υποδομές, ενώ το TDD θεωρείται ως ένα καλό συμπλήρωμα. Επειδή το hardware του LTE είναι το ίδιο για το FDD και το TDD (εκτός από τα φίλτρα), οι φορείς εκμετάλλευσης του TDD θα είναι σε θέση για πρώτη φορά να απολαύσουν τις οικονομίες κλίμακας που συνοδεύουν τα ευρέως αποδεχτά FDD προϊόντα.

Τα περισσότερα κυψελωτά συστήματα χρησιμοποιούν στις μέρες μας την τεχνική του FDD, και περισσότερο από το 90 τοις εκατό των συχνοτήτων παγκοσμίως ταξινομούνται κατά ζεύγη στις αντίστοιχες ζώνες. Στο FDD, η κίνηση στην άνω και την κάτω ζεύξη διαβιβάζονται ταυτόχρονα σε χωριστές ζώνες συχνότητας. Στο TDD, η μετάδοση στην άνω και την κάτω ζεύξη πραγματοποιούνται ασυνεχώς μέσα στην ίδια ζώνη συχνότητας. Για παράδειγμα, εάν η χρονική αναλογία μετάδοσης μεταξύ της κάτω και της άνω ζεύξης είναι 1/1, τότε η άνω σύνδεση χρησιμοποιείται το μισό χρόνο και τον εναπομείναντα η κάτω. Η μέση ισχύς που διατίθεται σε κάθε ζεύξη είναι η μισή της μέγιστης ισχύος. Δεδομένου ότι η μέγιστη ισχύς περιορίζεται από διάφορες ρυθμιστικές απαιτήσεις, το αποτέλεσμα είναι ότι για την ίδια μέγιστη ισχύ, το TDD θα προσφέρει λιγότερη κάλυψη από το FDD. Στην εικόνα 2.4 που ακολουθεί δείχνει την υλοποίηση των δύο τεχνικών.



Εικόνα 2.4 FDD και TDD υλοποίηση

Μέχρι σήμερα, έχουν καθοριστεί από την 3GPP δεκαπέντε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων για το FDD και έξι για το TDD, οι οποίες προορίζονται για το LTE και οι οποίες φαίνονται στον **πίνακα 2.3** που ακολουθεί. Το LTE αναμένεται να υποστηρίξει εύρη ζώνης από αρκετά μικρότερα των 5MHz έως και τα 20MHz και για τις δύο τεχνικές FDD και TDD. Αυτό σημαίνει ότι ένας φορέας εκμετάλλευσης δικτύων μπορεί να υλοποιήσει το LTE τόσο σε νέες και όσο και σε ήδη υπάρχουσες ζώνες.

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) Operating Band BS Receive UE Transmit	Downlink (DL) Operating Band BS Transmit UE Receive	Duplex Mode	Channel Bandwidths (MHz)	Alias	Region(s)
I (1)	1920 MHz to 1980 MHz	2110 MHz to 2170 MHz	FDD	5, 10, 15, 20	UMTS IMT, "2100"	Japan, Europe, Asia
II (2)	1850 MHz to 1910 MHz	1930 MHz to 1990 MHz	FDD	1.4, 3, 5, 10, 15, 20	PCS, "1900"	Canada, United States, Latin America
III (3)	1710 MHz to 1785 MHz	1805 MHz to 1880 MHz	FDD	1.4, 3, 5, 10, 15, 20	DCS 1800, "1800"	Finland, ^[19] Hong Kong ^{[20][21]}
IV (4)	1710 MHz to 1755 MHz	2110 MHz to 2155 MHz	FDD	1.4, 3, 5, 10, 15, 20	AWS, "1.7/2.1 GHz"	Canada, US, Latin America
V (5)	824 MHz to 849 MHz	869 MHz to 894 MHz	FDD	1.4, 3, 5, 10	Cellular 850, UMTS850	Canada, US, Australia
VI (6)	830 MHz to 840 MHz	875 MHz to 885 MHz	FDD	5, 10	UMTS800	Japan
VII (7)	2500 MHz to 2570 MHz	2620 MHz to 2690 MHz	FDD	5, 10, 15, 20	IMT-E, "2.6 GHz"	EU
VIII (8)	880 MHz to 915 MHz	925 MHz to 960 MHz	FDD	1.4, 3, 5, 10	GSM, UMTS900, EGSM900	EU, Latin America
IX (9)	1749.9 MHz to 1784.9 MHz	1844.9 MHz to 1879.9 MHz	FDD	5, 10, 15, 20	UMTS1700	Canada, US, Japan
X (10)	1710 MHz to 1770 MHz	2110 MHz to 2170 MHz	FDD	5, 10, 15, 20	UMTS, IMT 2000	Brazil, Uruguay, Ecuador, Peru
XI (11)	1427.9 MHz to 1452.9 MHz	1475.9 MHz to 1500.9 MHz	FDD	5, 10, 15, 20	PDC	Japan (Softbank, KDDI, DoCoMo) ^[22]
XII (12)	698 MHz to 716 MHz	728 MHz to 746 MHz	FDD	1.4, 3, 5, 10		
XIII (13)	777 MHz to 787 MHz	746 MHz to 756 MHz	FDD	1.4, 3, 5, 10	Verizon's 700 MHz Block C	
XIV (14)	788 MHz to 798 MHz	758 MHz to 768 MHz	FDD	1.4, 3, 5, 10	700 MHz Block D	
XVII (17)	704 MHz to 716 MHz	734 MHz to 746 MHz	FDD	1.4, 3, 5, 10	AT&T's 700 MHz Block B	
XXXIII (33)	1900 MHz to 1920 MHz		TDD	5, 10, 15, 20		
XXXIV (34)	2010 MHz to 2025 MHz		TDD	5, 10, 15		
XXXV (35)	1850 MHz to 1910 MHz		TDD	1.4, 3, 5, 10, 15, 20		
XXXVI (36)	1930 MHz to 1990 MHz		TDD	1.4, 3, 5, 10, 15, 20		
XXXVII (37)	1910 MHz to 1930 MHz		TDD	5, 10, 15, 20		
XXXVIII (38)	2570 MHz to 2620 MHz		TDD	5, 10		EU
XXXIX (39)	1880 MHz to 1920 MHz		TDD	5, 10, 15, 20		
XL (40)	2300 MHz to 2400 MHz		TDD	10, 15, 20	IMT-2000	China

Πίνακας 2.3 FDD και TDD ζώνες συχνοτήτων

2.2.1.3 Μερικά ακόμα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος LTE

- Προηγμένες τεχνικές κεραιών:** Η τεχνική Multiple Input-Multiple Output (MIMO) αυξάνει τη μέγιστη ρυθμαπόδοση με την εκπομπή και τη λήψη πολλαπλών ρευμάτων πληροφορίας κάνοντας χρήση του ίδιου φάσματος. Η MIMO εκμεταλλεύεται τα αποτελέσματα της διάδοσης πολλαπλών διαδρομών, φαινόμενο το οποίο παρατηρείται ευρέως στα ασύρματα περιβάλλοντα. Η MIMO χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές εκπομπής και λήψης προκειμένου να βελτιώσει σημαντικά τις εναέριες διεπαφές. Συγκεκριμένα αυτό που κάνει είναι να διαβιβάζει το ίδιο ρεύμα πληροφοριών μέσω πολλών κεραιών ταυτόχρονα, το οποίο συνιστά σημαντική βελτίωση σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνικές στις οποίες χρησιμοποιείται μια και μόνο κεραία μετάδοσης για την κάλυψη της κυψέλης. Η MIMO εκμεταλλεύεται επίσης τη χωρική πολυπλεξία, κατά την οποία διαφορετικά ρεύματα πληροφοριών διαβιβάζονται ταυτόχρονα μέσω διαφορετικών κεραιών, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό το ρυθμό μετάδοσης για τον τελικό χρήστη και τη χωρητικότητα της κυψέλης.

Επιπλέον, όταν ο δίαυλος μετάδοσης είναι γνωστός στον πομπό, η MIMO μπορεί επίσης να εφαρμόσει την τεχνική της διαμόρφωσης λοβού ακτινοβολίας στοιχειοκεραίας (beam-forming) προκειμένου να αυξήσει ακόμα περισσότερο το ρυθμό μετάδοσης και τη φασματική απόδοση του συστήματος. Δεν υπάρχει μια λύση κεραιών που να καλύπτει κάθε ενδεχόμενο. Συνεπώς, κάθε οικογένεια κεραιών είναι διαθέσιμη για να ικανοποιεί συγκεκριμένες προδιαγραφές. Για παράδειγμα, οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης μπορούν να επιτευχθούν με τις πολλαπλές κεραιές όπως είναι οι 2x2 και 4x4, ενώ η εκτεταμένη κάλυψη μπορεί να επιτευχθεί με διαμόρφωση λοβού ακτινοβολίας στοιχειοκεραίας (beam-forming)

- **Δυναμική αρχιτεκτονική δικτύου βασισμένη στο πρωτόκολλο IP:** Ένα χαρακτηριστικό των αποκαλούμενων 4G δικτύων όπως είναι το LTE είναι ότι βασίζονται πλήρως στο TCP/IP πρωτόκολλο, το βασικό πρωτόκολλο του Διαδικτύου, με το οποίο υλοποιούνται υψηλότερου επιπέδου υπηρεσίες όπως υπηρεσίες φωνής, βίντεο και μηνύματα. Αυτό που προσφέρει το LTE σε σχέση με τις τεχνολογίες προηγούμενων γενεών είναι η μετάβαση σε ένα επίπεδο IP κεντρικό δίκτυο με μια απλουστευμένη αρχιτεκτονική και ανοικτές διεπαφές. Μάλιστα, ένα σημαντικό τμήμα της εργασίας τυποποίησης αφιερώθηκε από την 3GPP στη μετατροπή της υπάρχουσας δικτυακής αρχιτεκτονικής σε ένα σύστημα που θα υλοποιείται αποκλειστικά με το πρωτόκολλο IP. Στην πρωτοβουλία αυτή αποδόθηκε από την ίδια την 3GPP η ονομασία Systems Architecture Evolution (SAE), η οποία αργότερα εξελίχθηκε σε Evolved Packet Core - (EPC). Η αρχιτεκτονική SAE/EPC επιτρέπει την παροχή υπηρεσιών με τρόπο δυναμικό και παράλληλα εξασφαλίζει απλουστευμένη αλληλεπίδραση με σταθερά και κινητά δίκτυα, τα οποία δεν υπακούν στην τυποποίηση της 3GPP. Το EPC είναι βασισμένο στα πρωτόκολλα TCP/IP - όπως η μεγάλη πλειοψηφία των σημερινών σταθερών δικτύων παρέχοντας έτσι υπηρεσίες φωνής, βίντεο, πολυμέσων και μηνυμάτων και κάνει χρήση της μεταγωγής πακέτων. Αναλυτική περιγραφή της αρχιτεκτονικής ενός LTE δικτύου θα δοθεί σε επόμενη παράγραφο. Η χρησιμοποίηση της IP δικτύωσης ως βάσης για την παροχή υπηρεσιών εξασφαλίζει μέγιστη ευελιξία και αποσυνδέει τα επίπεδα χρήστη και ελέγχου, γεγονός που απλοποιεί σημαντικά το δίκτυο και βελτιώνει την scalability. Με τη χρησιμοποίηση του παραπάνω πρωτοκόλλου επιτυγχάνονται τα ακόλουθα:
 - ✓ Βέλτιστη δρομολόγηση της κίνησης
 - ✓ Μεταφορά βασισμένη στο IP
 - ✓ Αρραγή κινητικότητα
 - ✓ Απλοποίηση του δικτύου
- **Ευελιξία φάσματος:** Ένα βασικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας LTE είναι η δυνατότητα που προσφέρει για υλοποίηση σε scalable εύρη ζώνης που κυμαίνονται από 1.25 MHz ως 20 MHz. Επιπλέον, μπορεί να λειτουργήσει σε όλες τις 3GPP ζώνες συχνότητας και να κάνει χρήση των συχνοτήτων ανά ζεύγη αλλά και άζευκτες. Η πραγματική απόδοση που μπορεί να επιτευχθεί με το LTE εξαρτάται από το εύρος ζώνης που διατίθενται για τις υπηρεσίες, και όχι από την επιλογή του ίδιου του φάσματος. Αυτό δίνει στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύου μεγάλη ευελιξία στις εμπορικές και τεχνολογικές στρατηγικές τους. Όταν υλοποιείται στις

υψηλότερες συχνότητες, το LTE αυξάνει σημαντικά τη χωρητικότητα των δικτύων, ενώ στις χαμηλότερες συχνότητες παρέχει οικονομικά συμφέρουσα κάλυψη. Τα LTE δίκτυα, υπό αυτές τις συνθήκες θα μπορούσαν να επεκταθούν σε οποιεσδήποτε ζώνες εναρμονίζονται με τα 3GPP πρότυπα. Αυτές περιλαμβάνουν τις βασικές IMT-2000 ζώνες συχνότητας (1.9-2 GHz) και τις ζώνες επέκτασης (2.5 GHz), καθώς επίσης και τις συχνότητες 850-900 MHz, 1800 MHz και τέλος, το φάσμα AWS (1.7 GHz -2.1 GHz). Υπάρχουν, ωστόσο, και συχνότητες κάτω από τα 5 GHz, οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί από την ITU ως ενδεχομένως κατάλληλες για τις IMT υπηρεσίες όπως είναι το LTE. Ενώ η εκμετάλλευση των συχνοτήτων πάνω από τα 5 GHz για την παροχή εξαιρετικά υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης μέσω των LTE δικτύων είναι εφικτή, οι προκλήσεις που τίθενται αφορούν στην παροχή ευρείας και εθνικής κάλυψης με ρεαλιστικό κόστος. Η ευελιξία του LTE να λειτουργεί σε ένα scalable εύρος ζώνης επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύου να επεκτείνουν το LTE στις υπάρχουσες κατανομές φάσματός τους. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω του αναδασμού και ανακατανομής του φάσματος, το οποίο αποτελεί μια οικονομικά αποδοτική επιλογή για την κάλυψη των αυξημένων απαιτήσεων κίνησης.

- **Μειωμένη λανθάνουσα καθυστέρηση (latency time):** Εκτός από τη βελτίωση που έχει επέλθει στους ρυθμούς μετάδοσης, η μείωση της λανθάνουσας καθυστέρησης (latency time) θα αναβαθμίσει ακόμα περαιτέρω την εμπειρία του χρήστη. Στα 3.5G δίκτυα, ο χρήστης υπομένει μια καθυστέρηση 2 ή περισσότερων δευτερολέπτων κατά την πραγματοποίηση της πρώτης του σύνδεσης και έπειτα μια λανθάνουσα καθυστέρηση των 50ms. Το LTE, όντας βασισμένο στο πρωτόκολλο IP και έχοντας επίπεδη αρχιτεκτονική, θα έχει αρκετά ταχύτερη αρχική σύνδεση πακέτων, της τάξης των 50ms, και στη συνέχεια μια λανθάνουσα καθυστέρηση των 5ms.

Τέλος ο παρακάτω πίνακας μπορεί να προσφέρει μια συνολική εικόνα της επίδοσης του LTE.

PARAMETER	DETAILS
Peak downlink speed 64QAM (Mbps)	100 (SISO), 172 (2x2 MIMO), 326 (4x4 MIMO)
Peak uplink speeds (Mbps)	50 (QPSK), 57 (16QAM), 86 (64QAM)
Data type	All packet switched data (voice and data). No circuit switched.
Channel bandwidths (MHz)	1.4, 3, 5, 10, 15, 20
Duplex schemes	FDD and TDD
Mobility	0 - 15 km/h (optimised), 15 - 120 km/h (high performance)
Latency	Idle to active less than 100ms Small packets ~10 ms
Spectral efficiency	Downlink: 3 - 4 times Rel 6 HSDPA Uplink: 2 -3 x Rel 6 HSUPA
Access schemes	OFDMA (Downlink) SC-FDMA (Uplink)
Modulation types supported	QPSK, 16QAM, 64QAM (Uplink and downlink)

Πίνακας 2.4 Επίδοση του LTE

3

CDMA2000

3.1 Εισαγωγή

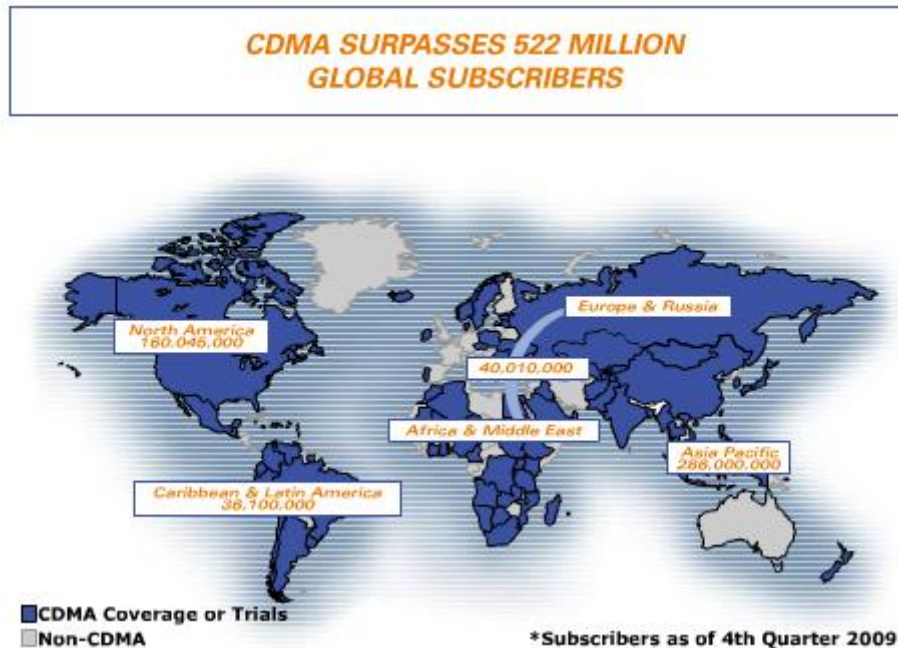
Το CDMA2000 αντιπροσωπεύει μια οικογένεια του IMT-2000 (3G) προτύπου που παρέχουν υψηλής ποιότητας φωνή και ευρυζωνικές υπηρεσίες δεδομένων πάνω από ασύρματα δίκτυα. Το CDMA2000 στηρίζεται στα έμφυτα πλεονεκτήματα των τεχνολογιών CDMA και εισάγει κάποιες αυξήσεις όπως το Orthogonal Frequency Division Multiple (OFDM), προηγμένους μηχανισμούς ελέγχου και σηματοδοσίας, από άκρη σε άκρη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) και νέες τεχνολογίες κεραιών όπως τύπου πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εξόδων (MIMO) και beam forming για να αυξήσει την ρυθμαπόδοση (throughput) των δεδομένων και την ποιότητα υπηρεσίας, ενώ βελτιώνει σημαντικά την ικανότητα των δικτύων και μειώνει το κόστος παράδοσης.

Το σύνολο των προτύπων που περιλαμβάνει το CDMA2000 είναι:

- CDMA2000 1X
- CDMA2000 1XEV-DO (Evolution-Data Optimized) Rel. 0
- CDMA2000 1XEV-DO Rev. A
- CDMA2000 1XEV-DO Rev. B

Στηριγμένο στην αρχή της προς τα πίσω συμβατότητας (backward compatibility), η πορεία εξέλιξης του CDMA2000 έχει παράσχει ευνοϊκά οικονομικά στους διαχειριστές των δικτύων, σημαντικά πλεονεκτήματα στην αγορά και στην εισαγωγή νέων υπηρεσιών.

Το πρώτο CDMA2000 1X εμφανίστηκε στην αγορά το 2000, ως το πρώτο πρότυπο του IMT-2000 που ήταν εμπορικά διαθέσιμο. Σήμερα το CDMA2000 EV-DO κατέχει ηγετική θέση στις τεχνολογίες 3G περίπου σε μισό δισεκατομμύριο χρήστες παγκοσμίως.



Εικόνα 3.1 Παγκόσμιος χάρτης CDMA

3.2 CDMA2000 1X

Το CDMA2000 1X (IS-2000) είναι μια τεχνολογία IMT-2000 (3G), που σχεδιάστηκε για να μεταφέρει υψηλής ποιότητας φωνή και υψηλής ταχύτητας δεδομένα. Αυτή είναι μια αποδοτική ασύρματη τεχνολογία για επικοινωνία διαμέσου φωνής με μεταγωγή κυκλώματος και υποστηρίζει ταχύτητες πακέτων δεδομένων έως 153.6 kbps σε ένα μονό 1.25 MHz κανάλι.

Το CDMA2000 1X ήταν η πρώτη 3G (IMT-2000) τεχνολογία που εμφανίστηκε τον Οκτώβρη του 2000.

3.2.1 Χαρακτηριστικά του CDMA2000 1X:

- **Ικανότητα φωνής:** Σήμερα, το CDMA2000 1X υποστηρίζει 33-40 ταυτόχρονες φωνητικές κλήσεις ανά τομέα σε ένα μονό 1.25 MHz FDD κανάλι. Χρησιμοποιώντας ένα καινούριο codec (EVRC-B) μπορεί να διαχειριστεί έως και 55 ταυτόχρονες φωνητικές κλήσεις. Με περαιτέρω αύξηση του δέκτη και μικρές αλλαγές στην ραδιοδιαμόρφωση, το 1X Advanced θα τετραπλασιάσει την ικανότητα φωνής των CDMA2000 1X συστημάτων.
- **Υψηλής ταχύτητας δεδομένα:** το CDMA2000 1X υποστηρίζει αμφίδρομη επικοινωνία (up and downlink) με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων έως 153.6 kbps δίνοντας ένα μέσο όρο ρυθμαπόδοσης δεδομένων χρήστη 80-100 kbps σε εμπορικά δίκτυα χρησιμοποιώντας ένα 1.25 MHz FDD κανάλι.

- **Φασματική αποδοτικότητα:** το CDMA2000 1X μπορεί να προσφέρει μέχρι 0.180 bit/sec/MHz πάνω από ένα κανάλι 5 MHz FDD channel.
- **Μέση λανθάνουσα καθυστέρηση (Latency):** 250 msec από κόμβο σε κόμβο ping, RTT.
- **Εφαρμογές:** το CDMA2000 1X υποστηρίζει μετάδοση φωνής με μεταγωγή κυκλώματος, short messaging service (SMS), κατέβασμα ringtone, multimedia messaging service (MMS), παιχνίδια, υπηρεσίες εντοπισμού γεωγραφικής θέσης με βάση το GPS, κατέβασμα μουσικής και βίντεο.
- **Προς τα πίσω συμβατότητα (Backwards Compatibility):** το CDMA2000 1X είναι προς τα πίσω συμβατό με συστήματα και συσκευές 2G cdmaOne (IS-95A/B).

3.3 CDMA2000 1xEV-DO Release 0

Το CDMA2000 1xEV-DO Release 0 (Rel. 0) σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε έτσι ώστε να δίνει υπηρεσίες ευρυζωνικών δικτύων μεταφοράς δεδομένων. Υποστηρίζει ταχύτητες ευρυζωνικού κατεβάσματος δεδομένων μέχρι 2.4 Mbps σε ένα 1.25 MHz κανάλι. Εμπορικά άρχισε να κάνει την εμφάνισή του το 2002, και ήταν η πρώτη κινητή ευρυζωνική υπηρεσία που εμφανίστηκε παγκοσμίως.

3.3.1 Χαρακτηριστικά του CDMA2000 1xEV-DO Rel. 0:

- **Ευρυζωνική μεταφορά δεδομένων:** Το CDMA2000 1xEV-DO Rel. 0 υποστηρίζει ένα μέγιστο ρυθμό μέχρι 2.4 Mbps σε ζεύξη προώθησης (forward link) και 153 kbps στην ζεύξη επιστροφής (reverse link) μέσα σε ένα μονό 1.25 MHz FDD κανάλι. Σε εμπορικά δίκτυα, το Rel. 0 δίνει ένα μέσο όρο ρυθμαπόδοσης δεδομένων 300-700 kbps στην ζεύξη προώθησης (forward link) και 70-90 kbps στην ζεύξη επιστροφής (reverse link). Τέλος επιτυγχάνει μια συνολική ρυθμαπόδοση δεδομένων μέχρι 3.150 kbps στην κάτω ζεύξη και 900 kbps στην άνω ζεύξη μέσα σε ένα κανάλι 5 MHz FDD.
- **Φασματική αποδοτικότητα:** το Rel. 0 παρέχει 0.630 bit/sec/MHz στη κάτω ζεύξη και 0.180 bit/sec/MHz στην άνω ζεύξη πάνω από ένα κανάλι 5 MHz FDD.
- **Μέση λανθάνουσα καθυστέρηση (Latency):** 110 msec από κόμβο σε κόμβο ping, RTT.
- **Εμπειρία χρήστη:** το Rel. 0 προσφέρει ένα «πάντα ανοικτό» εμπειρία χρήστη και ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων και στις δύο κατευθύνσεις συγκρινόμενες με τα υπάρχοντα DSL δίκτυα.
- **Συνδεσιμότητα IP:** επηρεάζεται από την εφαρμογή του Internet Protocol (IP), και ως εκ τούτου υποστηρίζει συνδέσεις δικτύου βασισμένες σε IP και εφαρμογές λογισμικού.
- **Εφαρμογές:** Υποστηρίζει εφαρμογές ευρυζωνικής μετάδοσης δεδομένων όπως το ευρυζωνικό διαδίκτυο, κατέβασμα μουσικής MP3, παιχνίδια 3D, ευρυεκπομπή

τηλεόρασης, ραδιόφωνο κ.α. Σε πολλές χώρες έχει εμφανιστεί ως εναλλακτικό του DSL.

- **Προς τα πίσω συμβατότητα (Backwards Compatibility):** Για να ολοκληρωθεί η αναβάθμιση από το 1X στο EV-DO Rel. 0, η μόνη τροποποίηση στα δίκτυα CDMA2000 που πρέπει να γίνει είναι η προσθήκη μιας κάρτας καναλιού EV-DO στο σταθμό βάσης 1X και η αύξηση της ικανότητας του Packet Data Serving Node (PDSN). Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι συσκευές CDMA2000 1xEV-DO περιλαμβάνουν ένα CDMA2000 1X modem για να είναι συμβατές με συστήματα CDMA2000 1X και cdmaOne systems.

3.4 CDMA2000 1xEV-DO Revision A

Το CDMA2000 1xEV-DO Rev. A είναι μια εξέλιξη 1xEV-DO Rel. 0 το οποίο αυξάνει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων τόσο στην ζεύξη προώθησης (forward link) όσο και επιστροφής (reverse link) για να υποστηρίξει μια μεγάλη ποικιλία συμμετρικών, ευαίσθητων στην καθυστέρηση, πραγματικού χρόνου, voice over IP (VoIP) και άλλων εφαρμογών. Επίσης ενσωματώνει την τεχνική πολυπλεξίας Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) για να επιτρέπει multimedia broadcast and multicasting services (MBMS).

Οι πιο συμμετρικές ταχύτητες στην ζεύξη του Rev. A σε σχέση με άλλες τεχνολογίες επιτρέπουν στους χρήστες να στέλνουν μεγαλύτερα αρχεία, email με επισυνάψεις, υψηλής ανάλυσης φωτογραφίες και βίντεο από την κινητή συσκευή. Με τη χαμηλή λανθάνουσα καθυστέρηση του δικτύου, την ποιότητα υπηρεσίας και την αρχιτεκτονική του δικτύου που βασίζεται σε IP, το Rev. A είναι ικανό να υποστηρίξει εφαρμογές ευαίσθητες στον χρόνο, όπως το Voice over IP (VoIP), Push-to-Talk (PTT) και βιντεοκλήσεις. Το Rev. A ξεκίνησε τον Οκτώβρη του 2006.

3.4.1 Χαρακτηριστικά του CDMA2000 1xEV-DO Rev. A:

- **Προηγμένη ευρυζωνική μεταφορά δεδομένων:** Το CDMA2000 1xEV-DO Rev. A υποστηρίζει ένα μέγιστο ρυθμό μέχρι 3.1 Mbps σε ζεύξη προώθησης (forward link) και 1.8 Mbps στην ζεύξη επιστροφής (reverse link) μέσα σε ένα μονό 1.25 MHz FDD κανάλι. Σε εμπορικά δίκτυα, το Rev. A δίνει ένα μέσο όρο ρυθμαπόδοσης δεδομένων 600-1400 kbps στην ζεύξη προώθησης (forward link) και 500-800 kbps στην ζεύξη επιστροφής (reverse link). Τέλος επιτυγχάνει μια συνολική ρυθμαπόδοση δεδομένων μέχρι 3840 kbps στην κάτω ζεύξη και 1500 kbps στην άνω ζεύξη μέσα σε ένα κανάλι 5 MHz FDD.
- **Υψηλότερη φασματική αποδοτικότητα:** Η αύξηση του ρυθμού κβαντοποίησης του Rev. A τόσο στην ζεύξη προώθησης (forward link) όσο και επιστροφής (reverse link) επιτρέπει μια πιο αποδοτική χρήση των πόρων της ζεύξης, καλύτερη χρησιμοποίηση των δικτύων και μικρότερο κόστος παράδοσης. Το Rev. A

υποστηρίζει μέχρι 0.768 bit/sec/MHz και 0.300 bit/sec/MHz στην ζεύξη προώθησης (forward link) και στην ζεύξη επιστροφής (reverse link) αντίστοιχα μέσα σε ένα κανάλι 5 MHz FDD.

- **Αυξημένη ικανότητα:** Και στην ζεύξη προώθησης (forward link) και στην ζεύξη επιστροφής (reverse link), το Rev. A επιτρέπει στους διαχειριστές να υποστηρίζουν περισσότερους χρήστες και να βελτιώνουν το κόστος των υπηρεσιών φωνής, δεδομένων και πολυμέσων βασισμένο σε IP.
- **Συμμετρία:** Αυξάνοντας την ταχύτητα της πάνω ζεύξης, το Rev. A είναι η πρώτη εμπορικά διαθέσιμη ασύρματη τεχνολογία που προσφέρει πραγματικά μια σύγχρονη ευρυζωνική εμπειρία. Η συμμετρία είναι σημαντική για χρήστες που στέλνουν δεδομένα περίπου με ίδιο ρυθμό με τον οποίο λαμβάνουν δεδομένα.
- **Χαμηλή μέση λανθάνουσα καθυστέρηση (Latency):** Κάτω από 50 msec από κόμβο σε κόμβο ping, RTT. Ιδανικό για εφαρμογές ευαίσθητες σε καθυστέρηση.
- **Προηγμένη ποιότητα υπηρεσίας:** υποστηρίζει την προτεραιότητα και την παράδοση των πακέτων ανάλογα με την εφαρμογή και το προφίλ του χρήστη. Αυτοί οι μηχανισμοί εξασφαλίζουν μια υψηλής ποιότητας εμπειρία χρήστη.
- **All-IP:** Τα δίκτυα all-IP Rev. A παρέχουν στους διαχειριστές ευελιξία υπηρεσιών και υψηλότερες αποδοτικότητες εύρους ζώνης, το οποίο μεταφράζεται σε καλύτερο έλεγχο και σημαντική μείωση κόστους.
- **Προηγμένες υπηρεσίες:** Προσφέρονται υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, συμμετρικές ζεύξεις δεδομένων και υπηρεσίες ευαίσθητες στην καθυστέρηση όπως VoIP, βιντεοδιάσκεψη, 3D παιχνίδια με πολλούς παίκτες online κ.α.
- **Προς τα πίσω συμβατότητα (Backwards Compatibility):** Υποστηρίζει τις υπάρχουσες εφαρμογές και συσκευές του Rel. 0. Το Rev. A είναι προς τα πίσω συμβατό με συστήματα CDMA2000 1X και cdmaOne.

3.5 Multicarrier EV-DO και EV-DO Revision B

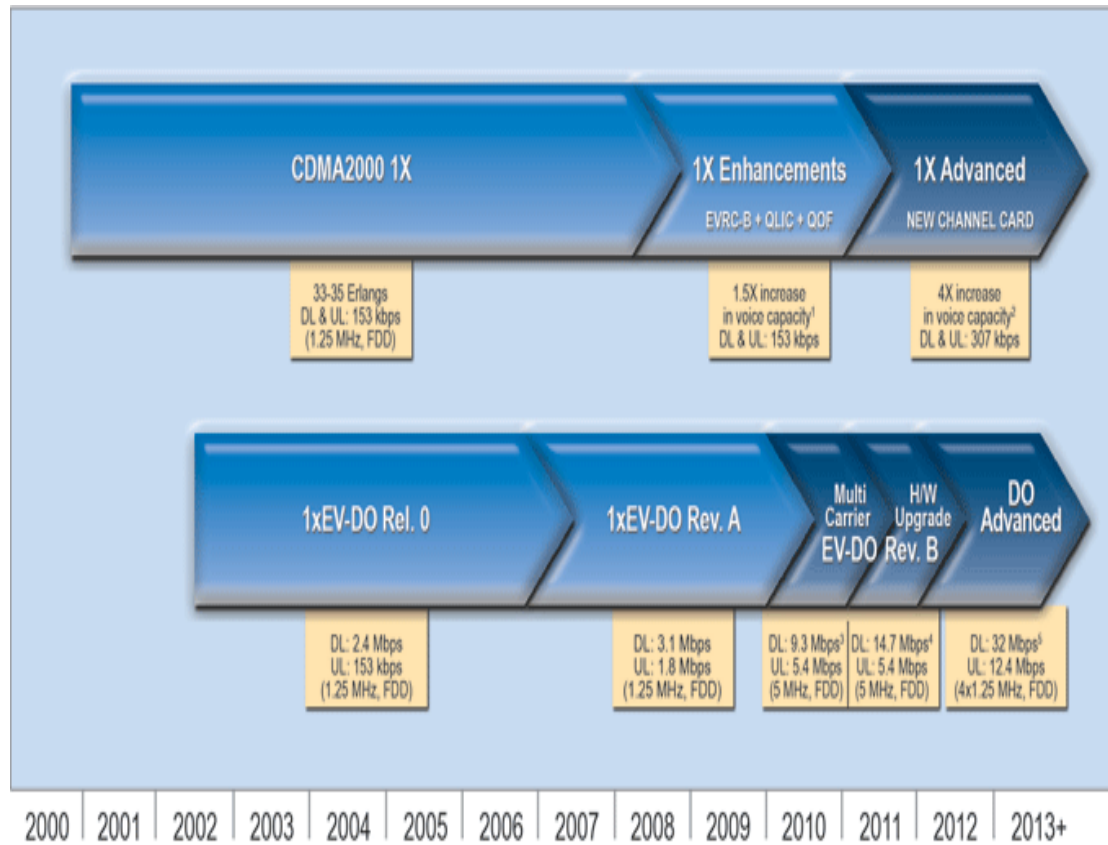
Το Multicarrier EV-DO και EV-DO Revision B (Rev. B) είναι το εξελικτικό βήμα του CDMA2000 1XEV-DO Rev. A το οποίο αυξάνει περαιτέρω τα ευρυζωνικά πλεονεκτήματα του χρήστη και την ικανότητα του δικτύου μέσα από μια αναβάθμιση του λογισμικού και του υλικού αντίστοιχα. Μέσω της συνάθροισης πολλαπλών 1.25 MHz Rev. A καναλιών, το βασισμένο στο λογισμικό Multicarrier EV-DO επιτρέπει η κίνηση δεδομένων να ρέει μέσα από ένα μεγαλύτερο εύρος ζώνης βελτιώνοντας τους ρυθμούς μετάδοσης και τις καθυστερήσεις του χρήστη τόσο στην πάνω όσο και στην κάτω ζεύξη, καθώς επίσης αυξάνει την ικανότητα του συστήματος διαμέσου των αποδοτικών ζεύξεων. Με την επιλογή μιας νέας κάρτας καναλιού, το EV-DO Rev. B αυξάνει περαιτέρω τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στην κάτω ζεύξη σε 14.7 Mbps σε ένα κανάλι 5 MHz και αυξάνει την ικανότητα της πάνω ζεύξης μέχρι 65% μέσω τεχνικών όπως της μείωσης των παρεμβολών.

Το Rev. B εκδόθηκε από την Third Generation Partnership Project 2 (3GPP2) και είναι εμπορικά διαθέσιμο πολύ πρόσφατα μόλις το 2009.

3.5.1 Χαρακτηριστικά του Multicarrier EV-DO και EV-DO Revision B:

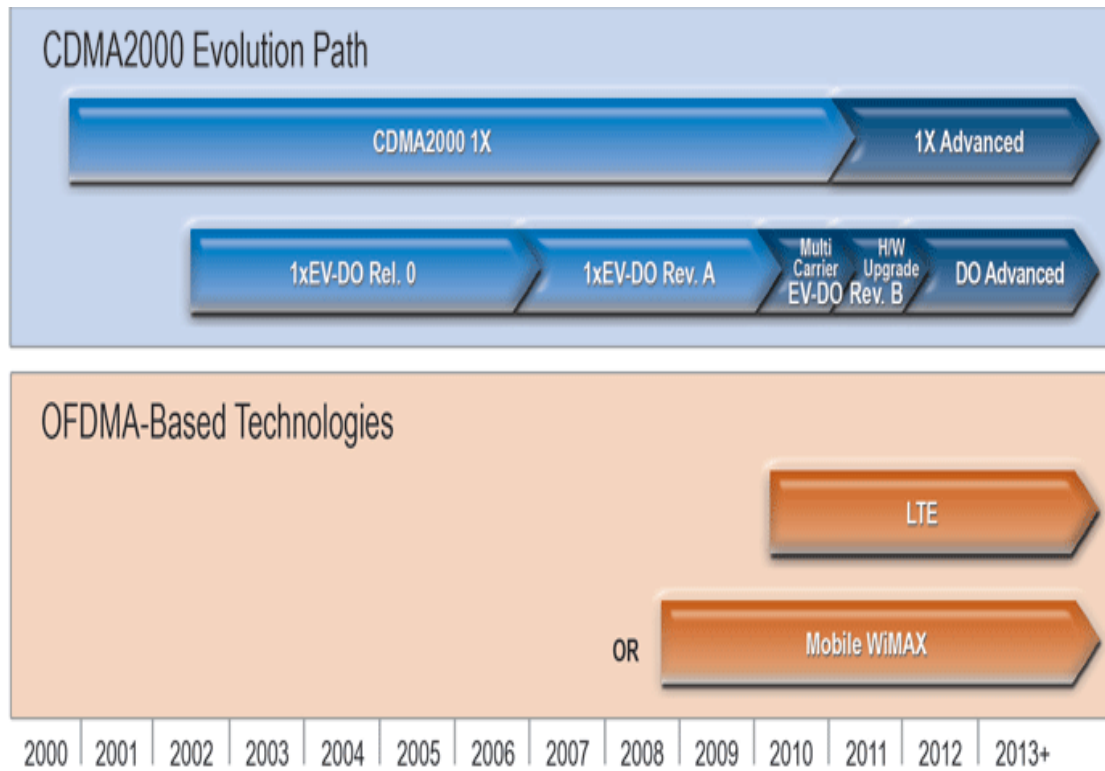
- **Ευρυζωνικές ταχύτητες:** Το Multicarrier EV-DO και Rev. B έχει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης που είναι ανάλογος του συνολικού αριθμού φερουσών. Το πρότυπο υποστηρίζει την άθροιση έως 15 καναλιών σε ένα εύρος ζώνης 20 MHz, αν και το συνηθισμένο είναι η άθροιση 3 φερουσών σε ένα κανάλι 5 MHz. Σε αυτή την εφαρμογή, η βελτίωση του λογισμικού του Multicarrier EV-DO δίνει ένα μέγιστο ρυθμό δεδομένων στην κάτω ζεύξη 9.3 Mbps και στην άνω ζεύξη 5.4 Mbps και με μια βελτίωση του υλικού του Rev. B ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης στην κάτω ζεύξη αυξάνεται σε 14.7 Mbps.
- **Υψηλότερη φασματική αποδοτικότητα:** Ένα άλλο πλεονέκτημα της αύξησης του εύρους ζώνης είναι η μεγαλύτερη αποδοτικότητα του φάσματος και του δικτύου. Η εφαρμογή του Multicarrier επιτρέπει υψηλούς συνολικούς ρυθμούς μετάδοσης με λιγότερη ενέργεια ανά bit το οποίο με την σειρά του μειώνει τις παρεμβολές και αυξάνει την αποδοτικότητα του φάσματος. Σε ένα κανάλι 5 MHz με βελτίωση υλικού, το Rev. B επιτυγχάνει αποδοτικότητα φάσματος 0.840 bit/sec/MHz και 0.486 bit/sec/MHz στην ζεύξη προώθησης (forward link) και στην ζεύξη επιστροφής (reverse link) αντίστοιχα.
- **Πολύ χαμηλή μέση λανθάνουσα καθυστέρηση (Latency):** Κάτω από 35 milliseconds από κόμβο σε κόμβο, RTT. Ιδανικό για εφαρμογές ευαίσθητες σε καθυστέρηση.
- **Προηγμένη ποιότητα υπηρεσίας:** υποστηρίζει την προτεραιότητα και την παράδοση των πακέτων ανάλογα με την εφαρμογή και το προφίλ του χρήστη. Αυτοί οι μηχανισμοί εξασφαλίζουν μια υψηλής ποιότητας εμπειρία χρήστη.
- **All-IP:** Τα δίκτυα all-IP Rev. A παρέχουν στους διαχειριστές ευελιξία υπηρεσιών και υψηλότερες αποδοτικότητες εύρους ζώνης, το οποίο μεταφράζεται σε καλύτερο έλεγχο και σημαντική μείωση κόστους.
- **Προς τα πίσω συμβατότητα (Backwards Compatibility):** Υποστηρίζει τις υπάρχουσες εφαρμογές και συσκευές του Rel. 0 και Rev. A.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα σχήμα με την εξελικτική πορεία του CDMA2000:



Εικόνα 3.2 εξελικτική πορεία του CDMA2000

Και σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες που βασίζονται σε OFDM:



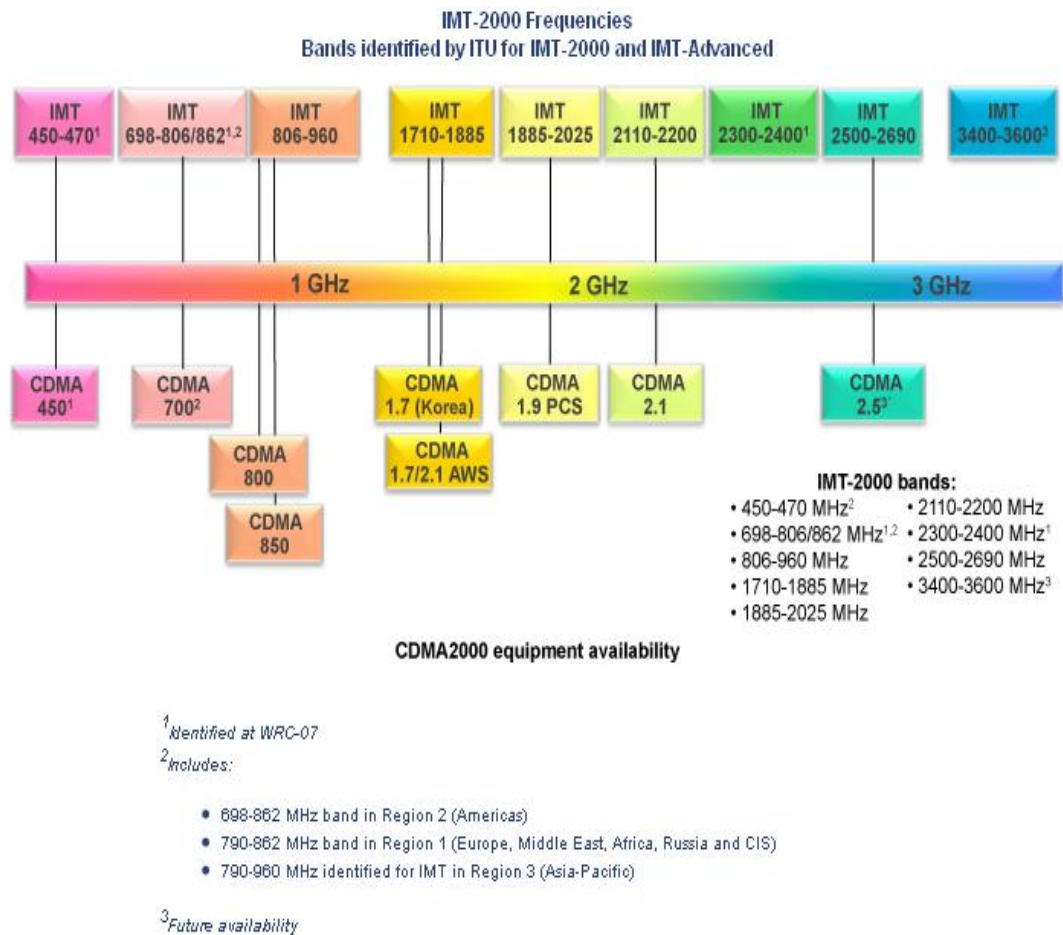
Εικόνα 3.3 Το CDMA2000 σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες που βασίζονται σε OFDM

3.6 Φάσμα cdma2000

Το cdma2000 λειτουργεί σε ένα σχετικά μικρό ποσό φάσματος, 1.25 MHz, στις περισσότερες μπάντες συχνοτήτων που έχουν σχεδιαστεί από την International Telecommunication Union (ITU) για τα συστήματα IMT-2000. Το μικρό μέγεθος 1.25 MHz καναλιού επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία ανάθεσης φάσματος σε αυξητικά κανάλια καθώς απαιτείται μεγαλύτερη χωρητικότητα και διευκολύνει τις in-band επεκτάσεις που απαιτούν το καθάρισμα του φάσματος.

Επίσης το CDMA2000 1X, το EV-DO Rel. 0 και το Rev. A λειτουργούν σε ένα 2 x 1.25 MHz FDD κανάλι, συγκρινόμενα με άλλες 3G τεχνολογίες οι οποίες απαιτούν ένα πολύ μεγαλύτερο 2 x 5 MHz κανάλι. Χρησιμοποιώντας ένα στενότερο ραδιοκανάλι, οι διαχειριστές του φάσματος επωφελούνται από την μεγαλύτερη ευελιξία και τις βελτιωμένες οικονομικές αποδοτικότητες στη διαχείριση των λιγοστών πόρων φάσματός τους. Το EV-DO Rev. B επιτρέπει στους διαχειριστές να αθροίζουν πολλαπλά 1.25 MHz κανάλια, μέχρι 15 κανάλια σε 20 MHz φάσματος, παραδίδοντας έτσι την επόμενη γενιά multi-mega-bits-per-second μεταφοράς δεδομένων και απαιτητικές εφαρμογές εύρους ζώνης οικονομικότερα.

Αυτή την περίοδο, οι υποδομές του δικτύου και οι συσκευές των χρηστών σε cdma2000 είναι διαθέσιμες στις περισσότερες IMT-2000 μπάντες συχνοτήτων που έχουν σχεδιαστεί από την International Telecommunication Union (ITU), συμπεριλαμβανομένου των 450 MHz, 700 MHz, 800 MHz, 1700 MHz, 1900 MHz, AWS και 2100 MHz μπάντες.



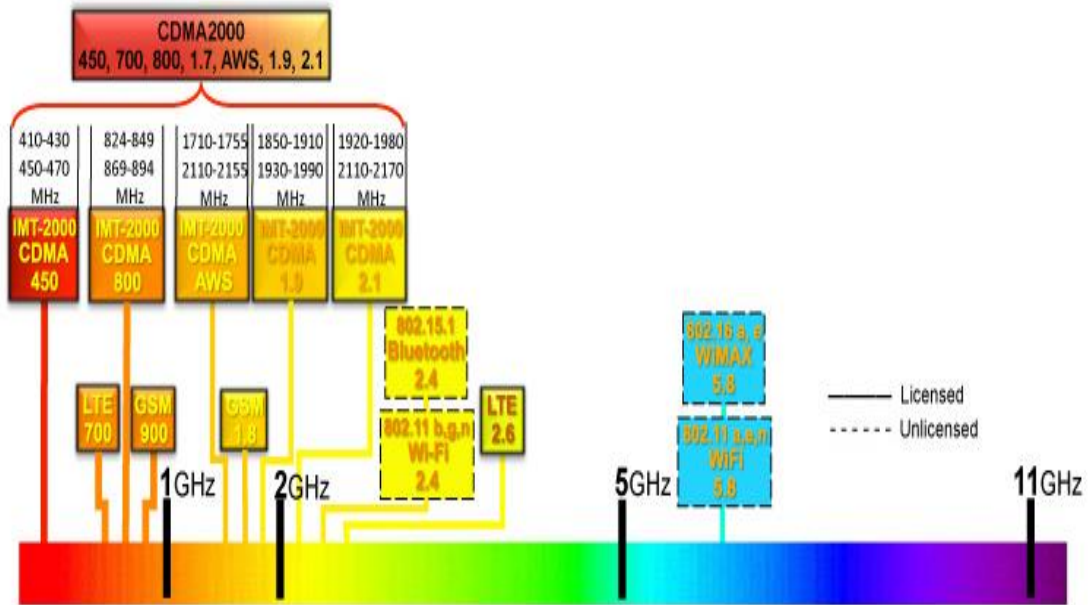
Εικόνα 3.4 Κατανομή συχνοτήτων στα IMT-2000

Σε πολλές περιπτώσεις, η ανάθεση συχνότητας είναι τόσο σημαντική όσο η ευρυζωνική επιλογή τεχνολογίας.

Η χρησιμοποίηση των ζωνών χαμηλότερης συχνότητας είναι προτιμητέα για τις απαιτητικές σε εύρος ζώνης επεκτάσεις δικτύων. Τα χαρακτηριστικά διάδοσης των χαμηλότερων (θερμότερων) ζωνών συχνότητας επιτρέπουν τις μεταδόσεις RF να ταξιδεύουν σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Αυτό παρέχει μεγαλύτερες περιοχές κάλυψης και λιγότερες κυσέλες απαιτούν λιγότερες συνδέσεις backhaul έτσι έχουμε χαμηλότερο κόστος. Ακόμα οι ζώνες χαμηλότερης συχνότητας επιτρέπουν καλύτερη εισχώρηση του σήματος μέσα σε κτήρια, καλύτερη κινητή απόδοση, λιγότερη κατανάλωση ενέργειας και υψηλότερους μέσους όρους ρυθμαπόδοσης δεδομένων σε περιβάλλοντα μη οπτικής επαφής (non-line-of-sight (NLOS)).

Αυτό γίνεται όλο και σημαντικότερο καθώς το εύρος ζώνης για τις backhaul συνδέσεις πρέπει να αυξηθεί για να συμβαδίσει με την αυξανόμενη ζήτηση για τις κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες.

Spectrum: Bandwidth-Intensive Networks



The warmer (lower) licensed frequencies are best! Greater range (larger coverage areas), less cell sites, less backhaul connections, better in-building penetration, better mobile performance, less power consumption, higher average data throughputs in an NLOS environment

Εικόνα 3.5 φάσμα CDMA-2000

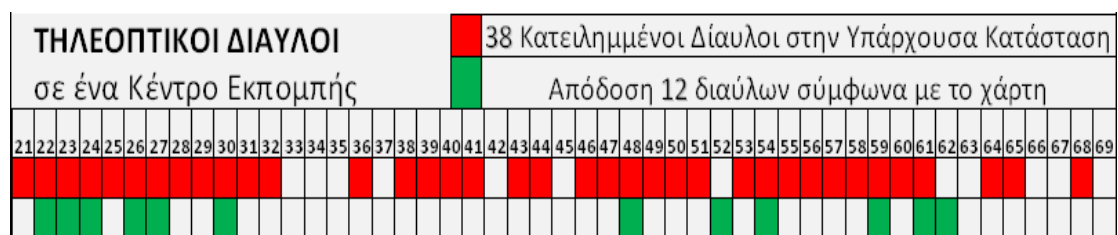
4

Ψηφιακό μέρισμα

4.1 Εισαγωγή

Με την πλήρη μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή επίγεια τηλεόραση απελευθερώνεται φάσμα στις συχνότητες VHF και UHF. Αυτό συμβαίνει λόγω της αποδοτικότερης χρησιμοποίησης του φάσματος από τα συστήματα ψηφιακής ευρυεκπομπής. Το φάσμα που απελευθερώνεται λέγεται ψηφιακό μέρισμα.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει σε ένα κέντρο εκπομπής τους τηλεοπτικούς διαύλους, που είναι κατειλημμένοι, όπως είναι τώρα η κατάσταση και όπως θα γίνει μετά την πλήρη μετάβαση:



Εικόνα 4.1 Τηλεοπτικοί δίαυλοι πριν και μετά την ψηφιακή μετάβαση σε ένα Κέντρο εκπομπής

Το ψηφιακό μέρισμα μπορεί να αποτελείται από:

- Μεμονωμένοι δίαυλοι από ολόκληρο το φάσμα που διατίθενται δυναμικά όπου και όποτε είναι ελεύθεροι

- Συνεχόμενο τμήμα φάσματος διαθέσιμο αποκλειστικά σε νέες κινητές υπηρεσίες ευρυεκπομπής (πχ 790-862 MHz)

Με τους μεμονωμένους διαύλους κάθε χώρα μπορεί να κατανέμει το φάσμα 470-862 MHz μεταξύ τηλεόρασης και άλλων υπηρεσιών σύμφωνα με τις ανάγκες της. Τα πλεονεκτήματα αυτού του τρόπου είναι ότι έχει μεγάλη ευελιξία και ότι μπορεί να βρει άμεση εφαρμογή σε χώρες που έχει ολοκληρωθεί η μετάβαση στην ψηφιακή τηλεόραση. Όμως παρουσιάζει και αρκετά μειονεκτήματα όπως η μη αποδοτική χρήση του φάσματος καθώς χρειάζονται μεγάλες ζώνες προστασίας μεταξύ τηλεόρασης και άλλων υπηρεσιών. Επίσης υπάρχουν και σοβαρά προβλήματα παρεμβολών μεταξύ όμορων κρατών.

Από την άλλη μεριά, η ευρωπαϊκή ένωση προτείνει να δεσμευτεί η ζώνη 790-862 MHz (δηλαδή τα κανάλια UHF 61-69) ως ψηφιακό μέρισμα, δηλαδή συνεχόμενο τμήμα φάσματος, για όλες τις ευρωπαϊκές χώρες.

Αυτός ο τρόπος συγκεντρώνει αρκετά πλεονεκτήματα καθώς κάνει αποδοτική τη χρήση του φάσματος. Επίσης κάνει οικονομία κλίμακας για επενδυτές και κατασκευαστές υλικού. Τέλος με το συνεχόμενο φάσμα σε μια ζώνη συχνοτήτων έχουμε το πλεονέκτημα της ενιαίας κατανομής για όλες τις ευρωπαϊκές χώρες.

Όμως χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα κανάλια (61-69) ως ψηφιακό μέρισμα έχει το μειονέκτημα ότι ίσως χρειαστεί σε ορισμένες χώρες να γίνουν τροποποιήσεις στους χάρτες συχνοτήτων ώστε να εξαιρεθούν τα συγκεκριμένα κανάλια από τηλεοπτική χρήση. Ακόμα για να εφαρμοστεί η στρατηγική αυτή θα πρέπει να έχει ολοκληρωθεί η μετάβαση στην ψηφιακή τηλεόραση.

Το ψηφιακό μέρισμα για να εφαρμοστεί στην ευρωπαϊκή ένωση ενιαία πρέπει να ξεπεραστούν ορισμένα κρίσιμα σημεία. Αρχικά πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ιδιαιτερότητες κάθε χώρας που καθιστούν δύσκολη την ποσοτικοποίηση του φάσματος. Ακόμα τα όρια του ψηφιακού μέρισματος δεν είναι ίδια για όλες τις ευρωπαϊκές χώρες. Ωστόσο πολλές ευρωπαϊκές χώρες έχουν δηλώσει το μέρος του φάσματος που θα διαθέσουν ως ψηφιακό μέρισμα.

Country	Spectrum for Mobile	Analogue Switch Off
Austria	790-862	by end 2010
Belgium (Flemish)	Uncertain	2008 deadline being delayed
Belgium (Walloon)	Uncertain	Uncertain
Bulgaria		
Cyprus	Uncertain	2011
Czech Republic	Uncertain, should follow ECC guidelines	2011-2012
Denmark	8 MHz in total	Oct-09
Estonia	Uncertain	Feb-Mar 2010
Finland	790-862	Completed
France	790-854	In November 2011
Germany	See notes	end-2008
Greece	No Decision	No Decision
Hungary	790-862	2012-2015
Ireland	Uncertain	2012
Italy	0	2012
Latvia	0	In December 2011
Lithuania	No Decision	2012
Luxembourg	No Decision	2012
Malta	8 MHz in total	end-2010
Netherlands	Uncertain	Completed
Poland		
Portugal	0	2012
Romania	790-862	Starting 2009
Slovakia		
Slovenia	0	2011
Spain	0	by April 2010
Sweden	790-862	Completed
United Kingdom	790-854 (550-630)	2011
Non-EU states:		
Croatia	790-862	by end-2012
Norway	790-862	2009
Switzerland	790-862	2008

Πίνακας 4.1 Ημερομηνίες μετάβασης και φάσμα για κινητές επικοινωνίες για διάφορες χώρες

Τα οφέλη από τον καθορισμό των ορίων του μερίσματος είναι πολλά και ποικίλουν. Αρχικά όσο περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες ξεκαθαρίζουν το φάσμα και διατίθεται σε νέες υπηρεσίες, τόσο οι κατασκευαστές μειώνουν τις τιμές στον εξοπλισμό - δικτύου και τερματικό με αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος εξοπλισμού. Επίσης με τον καθορισμό των ορίων του φάσματος έχουμε μικρότερους περιορισμούς στη χρήση του, για παράδειγμα ευκολότερη επίτευξη συμφωνιών με τις γειτονικές χώρες για την ίδια χρήση του φάσματος. Τέλος υπάρχει και αυξημένος ανταγωνισμός καθώς η διάθεση φάσματος για κινητές επικοινωνίες ανοίγει την αγορά και μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερες τιμές και καλύτερη ποιότητα.

4.2 Υπηρεσίες για χρήση του ψηφιακού μερίσματος

Το φάσμα που θα απελευθερωθεί με την πλήρη μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση και κυρίως η μπάντα συχνοτήτων 790-862 MHz θα διατεθεί σε καινούριες υπηρεσίες. Το ποιες υπηρεσίες θα είναι αυτές είναι αντικείμενο πολλών συζητήσεων σε παγκόσμιο επίπεδο.

Οι επίδοξες υπηρεσίες που θα μπορούσαν να καταλάβουν το συγκεκριμένο φάσμα είναι:

- Περισσότερη ψηφιακή τηλεόραση (digital terrestrial tv DTT) ή υψηλής ευκρίνειας τηλεόραση (HDTV)
- Κινητά ευρυζωνικά δίκτυα
- Κυβελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών. Το φάσμα σε αυτές τις συχνότητες είναι καλό για την κάλυψη αγροτικών περιοχών με μικρό κόστος.
- Ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση (WIMAX). Το φάσμα και εδώ είναι καλό για την κάλυψη αγροτικών περιοχών με μικρό κόστος.
- Χαμηλής ισχύος χρήση, όπως για παράδειγμα ασύρματα μικρόφωνα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν 'έξυπνες' συσκευές σε 'white spaces'.
- Υπηρεσίες δημόσιας ασφάλειας. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για Πανευρωπαϊκά συστήματα ασφάλειας.

Γίνεται φανερό, λοιπόν, από τις υπηρεσίες που μπορούν να διατεθούν στις συχνότητες που πριν ήταν κατειλημμένες από την αναλογική τηλεόραση ότι η μετάβαση από την αναλογική τηλεόραση στην ψηφιακή και η απελευθέρωση του φάσματος είναι πολύ σημαντικά για την ανάπτυξη και την προσφορά υπηρεσιών στον πολίτη.

4.3 Η θέση της C.E.P.T.

Η CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) προτείνει την λύση της εναρμονισμένης ζώνης συχνοτήτων για ολόκληρη την ευρωπαϊκή ζώνη.

Οι ομάδες εργασίας της CEPT έχουν ήδη προχωρήσει σε τεχνικές μελέτες για ένα τέτοιο ενδεχόμενο (Draft CEPT Report 30), από τις οποίες έχουν προκύψει :

- Περιορισμοί ισχύος και λόγοι προστασίας ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα παρεμβολών μεταξύ ψηφιακής τηλεόρασης και άλλων υπηρεσιών
- Κατάτμηση της ζώνης 790-862 MHz σε διαύλους των 5 MHz, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ομοιόμορφα στην ευρωπαϊκή ζώνη από ευρυζωνικές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες.
- Περιορισμοί ισχύος εκπομπής υπηρεσιών που θα λειτουργήσουν στο ψηφιακό μέρισμα :

Case	Frequency range	Condition on base station in-block EIRP, P dBm/{10 MHz}	Maximum mean out-of-block EIRP	Measurement bandwidth
A	For DTT frequencies where broadcasting is protected	$P \geq 59$	0 dBm	8 MHz
		$44 \leq P < 59$	(P-59) dBm	8 MHz
		$P < 44$	-15 dBm	8 MHz
B	For DTT frequencies where broadcasting is subject to an intermediate level of protection	$P \geq 59$	10 dBm	8 MHz
		$44 \leq P < 59$	(P-49) dBm	8 MHz
		$P < 44$	-5 dBm	8 MHz
C	For DTT frequencies where broadcasting is not protected	No conditions	22 dBm	8 MHz

Πίνακας 4.2 Ισχύς εκπομπής υπηρεσιών

- Κατάτμηση σε διαύλους των 5 MHz, ανάλογα με τον τρόπο διαχωρισμού άνω και κάτω ζεύξης (FDD, TDD) :

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)					

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)												

Εικόνα 4.2 Σχήμα κατάτμησης του ψηφιακού μερίσματος

Το βασικό τεχνικό υπόβαθρο είναι έτοιμο για την λειτουργία άλλων υπηρεσιών στο φάσμα που θα χαρακτηριστεί ως ψηφιακό μέρισμα. Εκκρεμεί, όμως, το κανονιστικό πλαίσιο από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU).

Τέλος όλες οι εμπλεκόμενες πλευρές (τηλεοπτικοί πάροχοι, τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι και ρυθμιστικές αρχές) συμφωνούν ότι πρέπει να ολοκληρωθεί η μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση πριν αποδοθεί προς χρήση οποιοδήποτε ψηφιακό μέρισμα. Αυτό αναμένεται να συμβεί στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες έως το 2015 το αργότερο, ενώ η Ευρωπαϊκή ένωση προτρέπει τις χώρες μέλη να έχουν ολοκληρώσει την μετάβαση έως το 2012.

Παρακάτω φαίνονται κάποιες ημερομηνίες για ορισμένες χώρες για ψηφιακή μετάβαση:

Country	Launch date	Compression format	Completion of ASO
UK	1998	MPEG-2	2012
Sweden	1999	MPEG-2	Completed
Spain	2000/ 2005	MPEG-2	2010
Finland	2001	MPEG-2	Completed
Switzerland	2001	MPEG-2	Completed
Germany	2002	MPEG-2	Completed
Belgium (Flemish)	2002	MPEG-2	Completed
NL	2003	MPEG-2	Completed
Italy	2004	MPEG-2	2012
France	2005	MPEG-2/MPEG-4 AVC	2011
Czech Republic	2005	MPEG-2	2011
Denmark	2006	MPEG-2/MPEG-4 AVC	Completed
Estonia	2006	MPEG-4 AVC	2010
Austria	2006	MPEG-2	2010
Slovenia	2006	MPEG-4 AVC (TBC)	2011
Norway	2007	MPEG-4 AVC	Completed
Lithuania	2008	MPEG-4 AVC	2012
Hungary	2008	MPEG-4 AVC	2011
Ukraine	2008	MPEG-4 AVC	2014
Latvia	2009	MPEG-4 AVC	2010
Portugal	2009	MPEG-4 AVC	2012
Croatia	2009	MPEG-2	2011
Poland	2009	MPEG-4 AVC	2013
Slovakia	2009	MPEG-2	2012
Ireland	2010	MPEG-4 AVC	2012
Russia	TBC	MPEG-4 AVC	2015

Πίνακας 4.3 Ημερομηνίες για πλήρη μετάβαση σε διάφορες χώρες

4.4 Ψηφιακό μέρισμα στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα την συγκεκριμένη χρονική στιγμή υπάρχουν τηλεοπτικοί σταθμοί εθνικής, περιφερειακής και τοπικής εμβέλειας. Η ΕΡΤ εκπέμπει ήδη 4 ψηφιακά προγράμματα και οι 8 ιδιωτικοί σταθμοί εθνικής εμβέλειας εκπέμπουν ψηφιακά προγράμματα σε ορισμένες περιοχές.

Οι περιφερειακοί και οι τοπικοί σταθμοί είναι όλοι ιδιωτικοί και ο αριθμός τους διαφέρει ανάλογα με τις περιοχές, με μέγιστο την ύπαρξη 11 νομίμως λειτουργούντων τηλεοπτικών σταθμών σε μερικές περιοχές. Υπάρχουν ακόμα 2 εθνικά προγράμματα συνδρομητικής τηλεόρασης. Αφού επιτευχθεί η μετάβαση στην ψηφιακή τηλεόραση, όλοι οι αναλογικοί εθνικοί και περιφερειακοί σταθμοί θα έχουν δικαίωμα για χωρητικότητα στο ψηφιακό δίκτυο. Ενδέχεται να υπάρξει και ανάγκη για φιλοξενία ή εξυπηρέτηση τοπικών σταθμών αλλά αυτό δεν έχει αποσαφηνιστεί ακόμα.

Με την πλήρη μετάβαση, λοιπόν, θα έχουμε απελευθέρωση κάποιου φάσματος το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως ψηφιακό μέρισμα και σύμφωνα με την ευρωπαϊκή ένωση θα πρέπει οι χώρες να εναρμονιστούν στις συχνότητες 790-862 MHz (δηλαδή τα κανάλια(61-69).

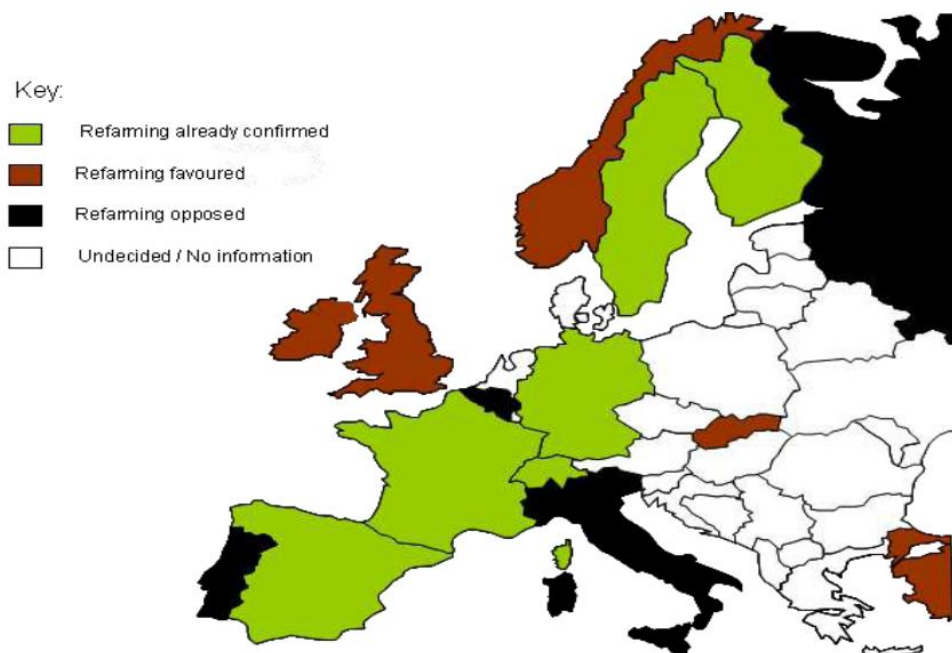
Στην Ελλάδα σύμφωνα με τον εθνικό κανονισμό κατανομής ζωνών συχνοτήτων τα κανάλια 67, 68, 69 UHF δεν αποτελούν τμήμα του φάσματος ευρυεκπομπής γιατί δεσμεύονται για χρήση από τις ένοπλες δυνάμεις και δεν αποτελούν ψηφιακό μέρισμα. Επίσης έχει ληφθεί μέριμνα ώστε τα ανωτέρω κανάλια να μην περιλαμβάνονται στον χάρτη συχνοτήτων της ψηφιακής τηλεόρασης που εκπονήθηκε από το Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών.

Άρα το ψηφιακό μέρισμα στην Ελλάδα, στην περίπτωση της εναρμονισμένης ζώνης συχνοτήτων, θα αποτελείται από τα κανάλια 61-66 UHF. Όμως η Ελλάδα έχει ήδη κατοχυρώσει στην ITU ψηφιακές καταχωρήσεις για ψηφιακή τηλεόραση εντός των συχνοτήτων του ψηφιακού μερίσματος.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι το ψηφιακό μέρισμα στην Ελλάδα είναι ακόμα πεδίο συζητήσεων και προτάσεων. Δεν έχει ληφθεί κάποια απόφαση και δεν θα μπορούσε να συμβεί διαφορετικά καθώς για να νοείται ψηφιακό μέρισμα θα πρέπει να έχει γίνει πλήρη ψηφιακή μετάβαση έτσι ώστε να γνωρίζουμε τις ανάγκες για φάσμα.

4.5 Ψηφιακό μερίσμα στις Ευρωπαϊκές χώρες

Αν και διαφαίνεται αυξημένη υποστήριξη για την πρόκριση εναρμονισμένης Ευρωπαϊκής ζώνης ψηφιακού μερίσματος, η τάση αυτή δεν είναι καθολική. Μερικές χώρες, όπως η Ιταλία και το Βέλγιο, έχουν ιδιαίτερα προβλήματα λόγω της εκτεταμένης χρήσης των διαύλων 61-69 για ψηφιακή τηλεόραση. Το παρακάτω σχήμα δείχνει, ανά χώρα, για το εναρμονισμένο φάσμα συχνοτήτων, αν έχει ήδη αποφασιστεί η εφαρμογή του, αν υπάρχει υποστήριξη γι' αυτό ή αν υπάρχει αντίρρηση.



Εικόνα 4.3 Χάρτης εναρμονισμένου φάσματος συχνοτήτων για την Ευρώπη

Στα 13 από τα 27 κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης λειτουργούν επί του παρόντος στρατιωτικά συστήματα σ' αυτήν την ζώνη συχνοτήτων. Ωστόσο, μόνον τρεις χώρες (Βέλγιο, Γαλλία, Γερμανία) έχουν συγκεκριμένα ζητήσει προστασία γι' αυτές τις υπηρεσίες στην Συνθήκη της Γενεύης του 2006 (GE-06) και εκτιμάται ότι η παρουσία στρατιωτικών υπηρεσιών δεν θα περιορίσει την εθνική εξάπλωση της ψηφιακής τηλεόρασης ή άλλων εμπορικών υπηρεσιών σ' αυτή την ζώνη συχνοτήτων σε κανένα από τα ως άνω κράτη.

Ένας άλλος σημαντικός 'χρήστης' των τηλεοπτικών συχνοτήτων UHF είναι οι υπηρεσίες για την κάλυψη ειδικών γεγονότων (PMSE, Program Making and Special Events), οι οποίες κάνουν χρήση ασύρματων μικροφώνων και προσωρινών ραδιοζεύξεων σε συχνότητες που δεν χρησιμοποιούνται τοπικά από τηλεοπτικούς σταθμούς. Οι ειδικές αυτές υπηρεσίες, μετά την ψηφιακή μετάβαση, θα έχουν πιθανώς λιγότερες ευκαιρίες να μοιράζονται συχνότητες με την τηλεόραση.

Η απελευθέρωση επιπρόσθετων συχνοτήτων πέραν του ψηφιακού μερίσματος θα ήταν δελεαστική για υπηρεσίες PMSE ή για υπηρεσίες σταθερής ευρυζωνικής πρόσβασης, οι οποίες βασίζονται στις οικονομίες κλίμακας ή στην διεθνή περιαγωγή σε μικρότερο βαθμό

από τις κινητές υπηρεσίες και, επομένως, εξαρτώνται λιγότερο από την ύπαρξη εναρμονισμένου φάσματος συχνοτήτων. Προς το παρόν, μόνο η Μεγάλη Βρετανία έχει δεσμευτεί ρητά να απελευθερώσει πρόσθετο φάσμα, πέραν της προτεινόμενης εναρμονισμένης ζώνης συχνοτήτων, για άλλες υπηρεσίες. Πρόσφατα όμως, και η Ιρλανδία έκανε παρόμοια πρόταση και εκτιμάται ότι και άλλες χώρες θα αναλάβουν ανάλογες πρωτοβουλίες αφού οριστικοποιήσουν τα σχέδια τους για την μετάβαση στην ψηφιακή τηλεόραση.

4.6 ‘Αξία’ του φάσματος

Ένδειξη της δυναμικής αξίας του ψηφιακού μερίσματος απεικονίζεται στο αποτέλεσμα της πρόσφατης δημοπρασίας του ψηφιακού μερίσματος στην Γερμανία, που απέφερε στην χώρα για το φάσμα περί τα 800 MHz γύρω στα 4 δις Ευρώ από παρόχους κινητής τηλεφωνίας.

Ακόμα η δημοπρασία παρόμοιου φάσματος στις ΗΠΑ απέφερε σχεδόν \$20 δις σε προσφορές από εδραιωμένους παρόχους κινητής τηλεφωνίας.

Η διαθεσιμότητα φάσματος κάτω από την συχνότητα του 1 GHz είναι εξαιρετικά ελκυστική για δύο λόγους: η κάλυψη συγκριτικά με τις συχνότητες σε υψηλότερες ζώνες είναι πολύ μεγαλύτερη και, επίσης, υπάρχει σημαντικό διαθέσιμο εύρος συχνοτήτων, το οποίο σχεδόν διπλασιάζει το διαθέσιμο φάσμα κάτω από 1 GHz για τις κινητές κυψελοειδείς επικοινωνίες.

5

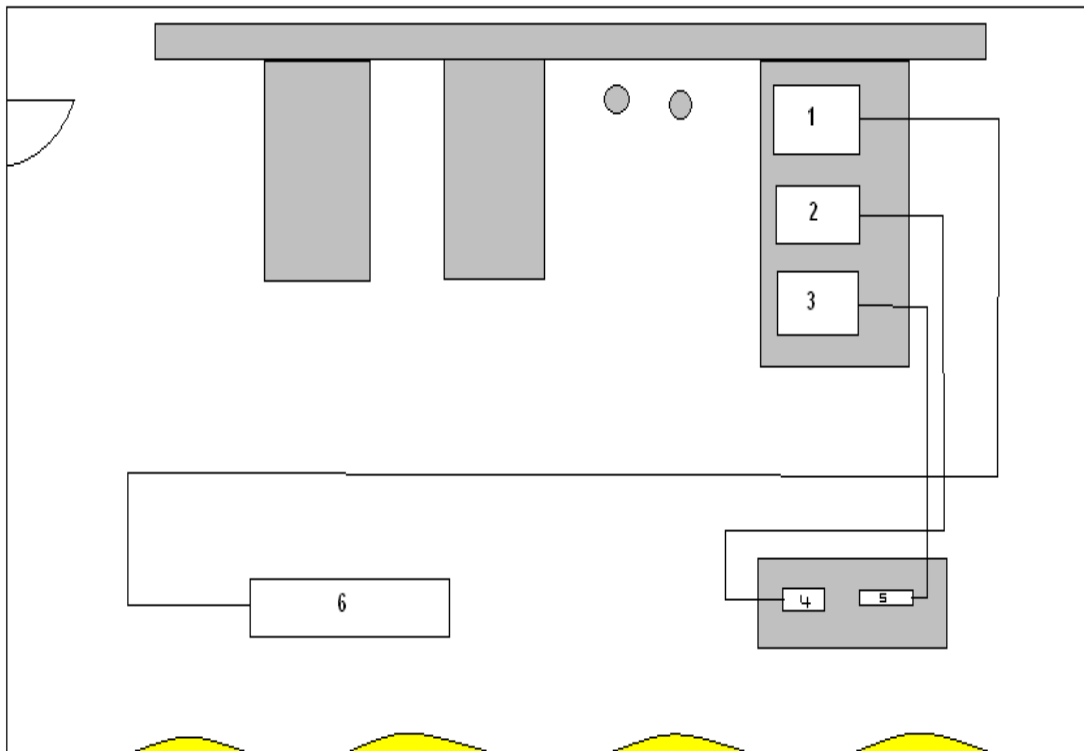
Πείραμα μελέτης παρεμβολής

5.1 Γενικά για το πείραμα

Στα προηγούμενα κεφάλαια είδαμε σε θεωρητικό επίπεδο τα πρότυπα της ψηφιακής τηλεόρασης (DVB-T) καθώς επίσης και διάφορα πρωτόκολλα και τεχνολογίες κινητής επικοινωνίας. Στη συνέχεια στο ψηφιακό μέρος κάναμε λόγο για απελευθέρωση ορισμένων συχνοτήτων από την τηλεόραση και διάθεση αυτών σε κινητές υπηρεσίες (εκτός των άλλων).

Σε αυτό το κεφάλαιο, λοιπόν, θα μελετήσουμε με πειραματικό τρόπο τις παρεμβολές που μπορεί να υπάρχουν ανάμεσα στις δύο τεχνολογίες (ψηφιακή τηλεόραση και κινητή τηλεφωνία) και πόσο επηρεάζει η εκπομπή σημάτων κινητής τηλεφωνίας την λήψη επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης.

Οι μετρήσεις διεξήχθησαν στο χώρο του εργαστηρίου Ασυρμάτου και Επικοινωνίας Μεγάλων Αποστάσεων. Η διάταξη των οργάνων και των κεραιών ήταν ως εξής:

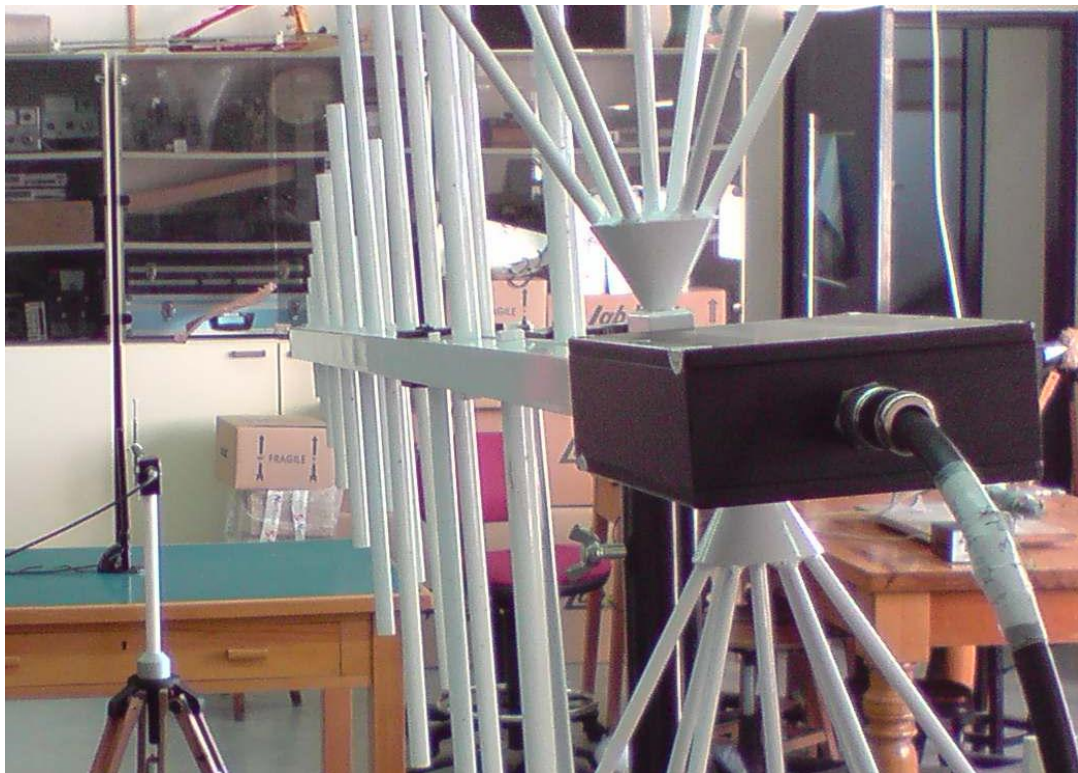


Εικόνα 5.1 Διάταξη χώρου πειράματος

- Στην **θέση 1** βρίσκεται η γεννήτρια σημάτων που παράγαγε σήματα, ανάλογα με τα πρωτόκολλα που κάθε φορά ήταν εγκατεστημένα σε αυτή, σε διάφορες συχνότητες και ισχύς.
- Η γεννήτρια σημάτων στην συνέχεια τροφοδοτούσε την κεραία, στην **θέση 6**, που εξέπεμπε τα σήματα στον χώρο (βέλτιστα προσανατολισμένη ως προς τις άλλες κεραίες σε απόσταση 3,7 m από τις άλλες κεραίες)
- Στην **θέση 5** βρισκόταν η κεραία λήψης τηλεοπτικού σήματος (βέλτιστα προσανατολισμένη να λαμβάνει τηλεοπτικό σήμα) που μετέφερε το σήμα στον δέκτη **στην θέση 3**.
- Στην **θέση 2** βρισκόταν ένας αναλυτής φάσματος (spectrum analyzer) που συνδεδεμένος με την κεραία στην **θέση 4** μετρούσε την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στην θέση 4.
- Οι κεραίες (θέση 4 και 5) βρίσκονταν πάνω σε ένα τραπέζι όπως και τα όργανα. Η κεραία στην θέση 6 στηριζόταν σε μια βάση. Επίσης μέσα στο χώρο (με γκρι χρώμα) υπήρχαν και άλλα τραπέζια, καρέκλες και άλλα αντικείμενα. Τέλος τα παράθυρα του χώρου ήταν στο κάτω μέρος όπως φαίνεται στο διάγραμμα.



Εικόνα 5.2 Πάγκος με τα όργανα μετρήσεων



Εικόνα 5.3 η κεραία της γεννήτριας και οι κεραίες αναλυτή φάσματος και δέκτη στο βάθος



Εικόνα 5.4 σύνδεση κεραιών με όργανα μετρήσεων

5.2 Χαρακτηριστικά οργάνων και κεραιών

Στις συγκεκριμένες μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν τα εξής όργανα:

Γεννήτρια



Η γεννήτρια (θέση 1) που παρήγαγε τα σήματα που ουσιαστικά δημιουργούσαν την παρεμβολή στον δέκτη ήταν η Agilent MXG Vector Signal Generator N5182A.

Χαρακτηριστικά γεννήτριας: συχνότητες (100 KHz έως 3 GHz), ισχύς στην έξοδο (-110dBm - +17dBm), διαμόρφωση (PSK,QAM,FSK,MSK,ASK), δημιουργία σημάτων αναφοράς (LTE FDD, LTE TDD, cdma2000 κ.α.)

Η γεννήτρια παρήγαγε σήματα των πρωτοκόλλων LTE FDD, LTE TDD και cdma2000 σε διάφορες συχνότητες (690MHz-715MHz) και διάφορες ισχύς (-40dBm έως 17dBm).

Αναλυτής φάσματος




Ο αναλυτής φάσματος (θέση 2) εμφάνιζε στην οθόνη του την μετρούμενη τιμή του πεδίου στο σημείο που βρισκόταν η κεραία του (θέση 4 και 5) και η κεραία του δέκτη του τηλεοπτικού σήματος και ήταν ο Agilent E4403b ESA-L Spectrum Analyzer.

Χαρακτηριστικά αναλυτή φάσματος: συχνότητες (9 kHz-3.0 GHz)

Δέκτης τηλεοπτικού σήματος



DVB-T	ath 31 dig C: 48
	F: 690.00 MHz
	VIDEO:
	MPEG-2 2864kb/s
	MP@ML 544x576i 16:9
	25Hz VPID: 512 TSID: 1
	AUDIO:
	MPEG-2 L-2 192kb/s
	APID: 640 LANGUAGE: gre
	NETW.:
DTV OSD: OFF (FREE)	ERT
	CINE+
	NID: 65330 SID: 1

Ο δέκτης τηλεοπτικού σήματος (θέση 3) ήταν ο Promax-Tv Explorer II+.

Χαρακτηριστικά Promax-Tv Explorer II+:

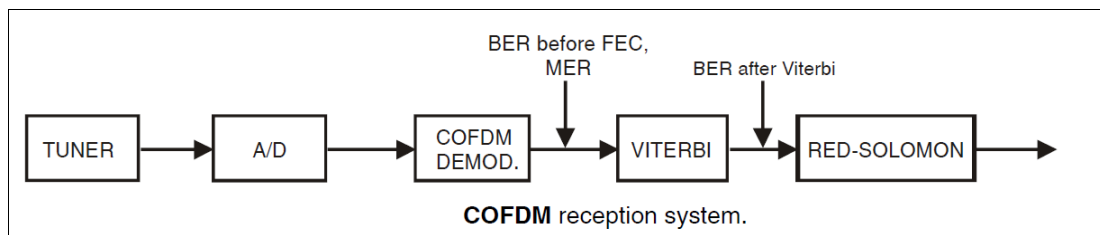
- Κάλυψη επίγειων, δορυφορικών, καλωδιακών και κινητών σημάτων
- Λειτουργίες τηλεόρασης (Αναλυτής φάσματος, μετρήσεις, αποκωδικοποιητής σήματος)

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 5.1 χαρακτηριστικά δέκτη promax

- Συντονισμός (από κανάλι ή συχνότητα)
- Αυτόματος προσδιορισμός τύπος σήματος
- Αυτόματη ρύθμιση του επιπέδου αναφοράς
- Διάγραμμα αστερισμού DVB-T / DVB-H / DVB-C / DVB-S / DVB-S2
- Οθόνη 6.5" LCD TFT 16:9
- Αυτόματες μετρήσεις και αναφορές μετρήσεων
- Επιπλέον λειτουργίες (κρυπτογραφημένα κανάλια, καταγραφή και αναπαραγωγή βίντεο, 1GB εσωτερική μνήμη, αυτόματες αναβαθμίσεις μέσω ιντερνέτ κ.α.)

Ο δέκτης λάμβανε το σήμα σε κεντρική συχνότητα 690MHz (686-694MHz) στο κανάλι 48 UHF που εκπέμπει η EPT το ψηφιακό μπουκέτο της (συγκεκριμένα cine+). Μέσω της κεραίας (θέση 6) προκαλούσαμε παρεμβολή και ο δέκτης μετρούσε την ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος. Τα μεγέθη που μετρούσε ο δέκτης ήταν:



Εικόνα 5.5 διάγραμμα λήψης δέκτη

- **Ένταση καναλιού:** Η ένταση καναλιού μετριέται υποθέτοντας ότι η φασματική πυκνότητα ισχύος είναι ομοιόμορφη σε όλο το εύρος ζώνης καναλιού.
- **C/N:** Είναι ο λόγος του φέροντος σήματος προς τον θόρυβο. Το επίπεδο του θορύβου μετριέται στη συχνότητα φθορύβου=φσυντονισμού $\pm \frac{1}{2}$ *Εύρος ζώνης καναλιού.
- **MER:** ρυθμός λαθών διαμόρφωσης (modulation error ratio) Ο ρυθμός λαθών διαμόρφωσης ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος των μεταδιδόμενων συμβόλων(P_{Signal}) του αστερισμού προς την ισχύς του σφάλματος διαμόρφωσης(P_{Error}). Το σφάλμα διαμόρφωσης είναι η διανυσματική διαφορά μεταξύ του ιδανικού συμβόλου και του μεταδιδόμενου
- **CBER BER:** Μέτρηση (Bit error rate, ρυθμός λανθασμένων bit: Ο ρυθμός λανθασμένων bit εκφράζει το πόσο συχνά λαμβάνουμε ένα λανθασμένο bit στην εισερχόμενη ροή δεδομένων) για το ψηφιακό σήμα πριν την διόρθωση λαθών (BER before FEC)
- **VBER BER:** Μέτρηση (Bit error rate) για το ψηφιακό σήμα μετά την διόρθωση λαθών (BER after Viterbi).
- **Noise margin:** η μέτρηση δείχνει ένα διαθέσιμο περιθώριο ασφάλειας σύμφωνα με το επίπεδο MER που μετριέται που επιτρέπει την υποβάθμιση σημάτων μέχρι να φτάσει στην οριακή τιμή του QEF (Quasi-Error-Free).

Κεραία τηλεοπτικού δέκτη

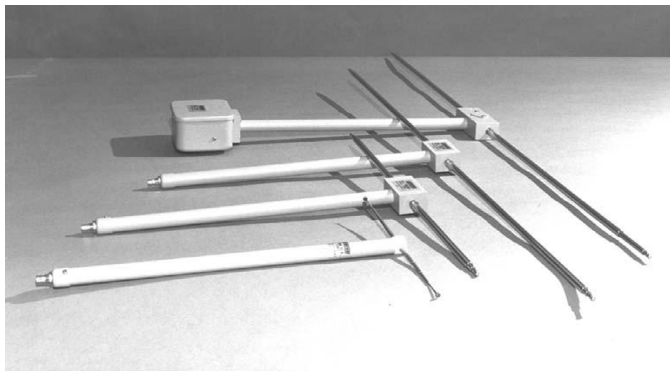


Η κεραία που χρησιμοποιούσε ο δέκτης Promax-Tv Explorer II+ (θέση 5) ήταν η MELICONI - AD-Elegance.

Χαρακτηριστικά κεραίας:

- Βέλτιστη ενίσχυση του ψηφιακού σήματος χάριν της προηγμένης τεχνολογίας “Digital Vision”
- Μπορεί να τροφοδοτηθεί απευθείας μέσω του αποκωδικοποιητή ή μέσω αντάπτορα 230/240V
- Ευφυής ισχύς: Ενίσχυση βαθμονομημένη στο βέλτιστο επίπεδο των 20 dB
- Πολύ καθαρό σήμα: τα πρόσθετα φίλτρα εξαλείφουν την παρεμβολή από τα σήματα που είναι παρόντα στο περιβάλλον
- Άριστη απόδοση: εξαιρετικά - χαμηλός παράγοντας θορύβου (<3.5 dB)

Κεραία αναλυτή φάσματος

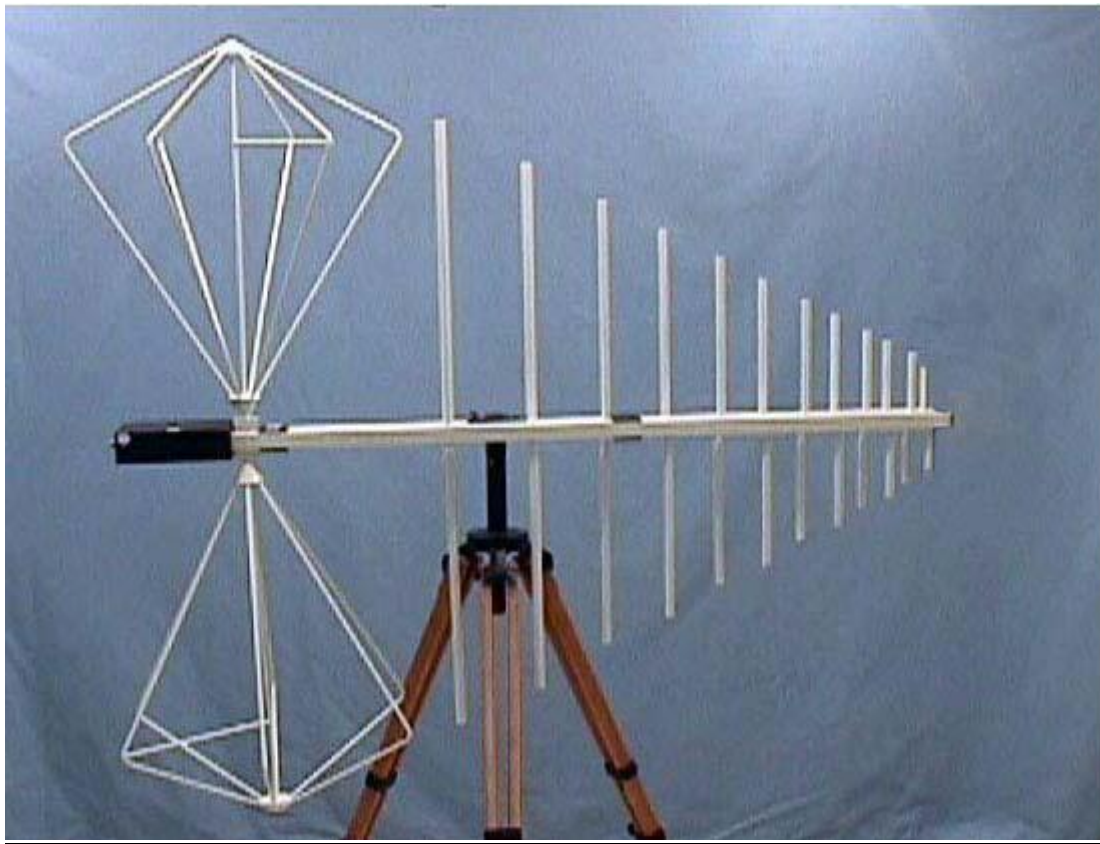


Η κεραία που χρησιμοποιούσε ο αναλυτής φάσματος (θέση 4) ήταν ένα δίπολο Electro-Metrics Tunable Dipole Antenna EM-6927

Χαρακτηριστικά δίπολου:

- 400 - 1000 MHz
- Βάρος: 227g
- Μήκος: 46,7cm
- Διάμετρος ράβδου: 13mm
- Σύνθετη αντίσταση εισόδου: 50 Ohms
- Συνδετήρας: Τύπος BNC
- VSWR: Τυπικά μικρότερη από 1,6:1
- Μέγιστη συνεχής ισχύς: 20W

Κεραία γεννήτριας



Η κεραία που χρησιμοποιούσε η γεννήτρια για να παρεμβάλει στον δέκτη ήταν η electro-metrics EM-6917C-1 Antenna Biconical.

Χαρακτηριστικά κεραίας:

- Περιοχή συχνοτήτων: 30 MHz - 1 GHz
- Σύνθετη αντίσταση: 50 Ohms
- VSWR: <2.0:1
- Ισχύς: 1000W, μέγιστο
- Συνδετήρας: τύπου N, θηλυκό
- Μήκος: 1,45m
- Πλάτος: 1,02m
- Ύψος: 12,7cm
- Βάρος: 4,5 Kg

Λογισμικό γεννήτριας

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε (και ήταν εγκατεστημένο σε έναν υπολογιστή ο οποίος συνδεόταν με την γεννήτρια) για να περάσουν στην γεννήτρια τα διάφορα πρωτόκολλα (LTE FDD, LTE TDD, CDMA2000) ήταν το Agilent Signal Studio for LTE FDD, LTE TDD, CDMA2000.

5.3 Διαδικασία μετρήσεων

Αφού είδαμε την διάταξη και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις σε αυτήν την ενότητα θα περιγραφεί η διαδικασία που ακολουθήθηκε ώστε να παρθούν οι μετρήσεις.

Η διαδικασία ξεκινούσε εγκαθιστώντας το πρωτόκολλο της κινητής υπηρεσίας (π.χ. LTE FDD) στην γεννήτρια μέσω του υπολογιστή. Η αρχική συχνότητα παρεμβολής ήταν πάντα η κεντρική συχνότητα του καναλιού της τηλεόρασης δηλαδή τα 690 MHz. Γι' αυτή την συχνότητα παίρναμε μια μέτρηση πεδίου από τον αναλυτή φάσματος. Στην συνέχεια με δοκιμές, για την ίδια πάντα συχνότητα, ισχύων παρεμβολής βρισκόταν η μέγιστη ισχύς παρεμβολής στην οποία μπορούσαμε να δούμε εικόνα καθαρή στον δέκτη τηλεοπτικού σήματος. Σε αυτή την ισχύ και συχνότητα ο δέκτης promax έπαιρνε μετρήσεις για τα μεγέθη που αναλύσαμε παραπάνω και τις αποθήκευε, ενώ καταγράφαμε την τιμή του πεδίου από τον αναλυτή φάσματος. Ακολουθώντας μειώναμε την ισχύ της παρεμβολής κατά 1 dBm και ακολουθούσαμε την ίδια διαδικασία με πριν (δηλαδή μετρήσεις από promax και καταγραφή πεδίου από αναλυτή φάσματος). Αυτό γινόταν, από την στιγμή που θα δούμε καθαρή εικόνα, για άλλες 9 φορές μειώνοντας κατά 1 dBm πάντα την ισχύ παρεμβολής.

Στην συνέχεια αυξάναμε την συχνότητα κατά 1 MHz και κάναμε πάλι την ίδια διαδικασία παίρνοντας με τον ίδιο τρόπο τις μετρήσεις αφού πρώτα βρίσκαμε την ισχύ που είχαμε καθαρή εικόνα στον δέκτη όπως πριν.

Η γεννήτρια μπορούσε να δώσει μέγιστη ισχύς παρεμβολής 17 dBm. Οι μετρήσεις λοιπόν συνεχίζονταν με την ίδια διαδικασία αυξάνοντας κατά 1 MHz την συχνότητα κάθε φορά μέχρι να φτάσουμε σε κάποια συχνότητα στην οποία δίνοντας ισχύς παρεμβολής 17 dBm θα βλέπαμε καθαρή εικόνα στον δέκτη. Και σε αυτήν την συχνότητα παίρναμε μετρήσεις όπως πριν και σταματούσαμε.

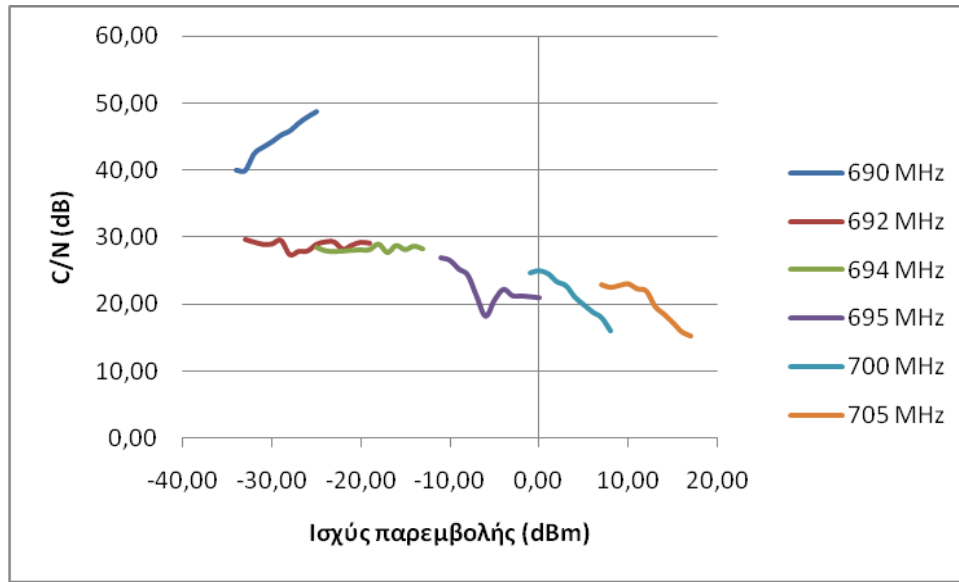
Αυτή ήταν η γενική διαδικασία που ακολουθήθηκε για κάθε πρωτόκολλο (LTE FDD, LTE TDD, CDMA2000) εγκαθιστώντας κάθε φορά το κατάλληλο πρωτόκολλο από τον υπολογιστή στην γεννήτρια.

5.4 Αποτελέσματα μετρήσεων

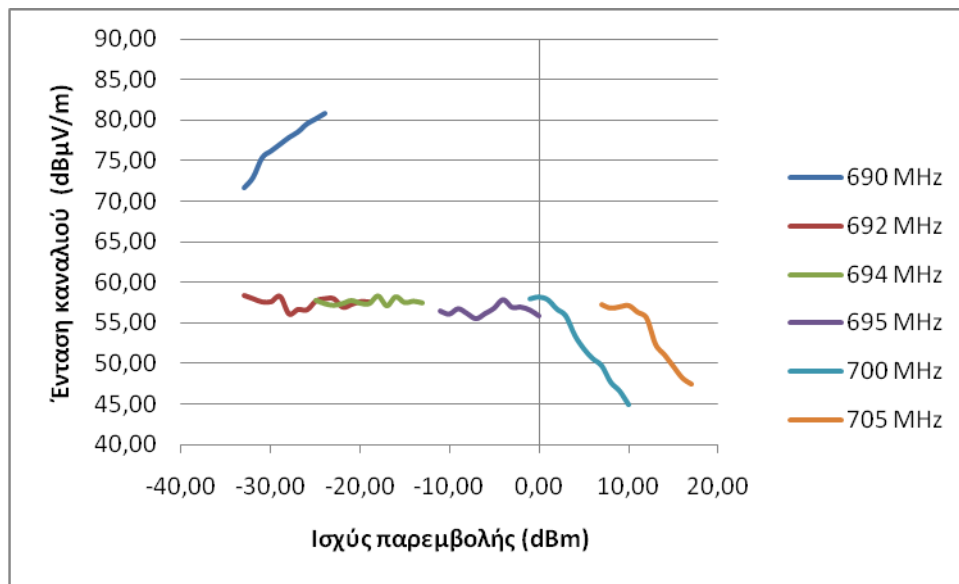
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίνονται στην συνέχεια σε διαγράμματα. Υπενθυμίζεται εδώ ότι ο δέκτης μας ήταν συντονισμένος να λαμβάνει τηλεοπτικό σήμα στην συχνότητα 690 MHz (686-694 MHz) ενώ εμείς παρεμβάλλαμε μέσω της γεννήτριας σε διάφορες συχνότητες, ισχύς και για 3 διαφορετικές τεχνολογίες κινητής (LTE FDD, LTE TDD, CDMA2000).

Παρεμβολή με LTE FDD

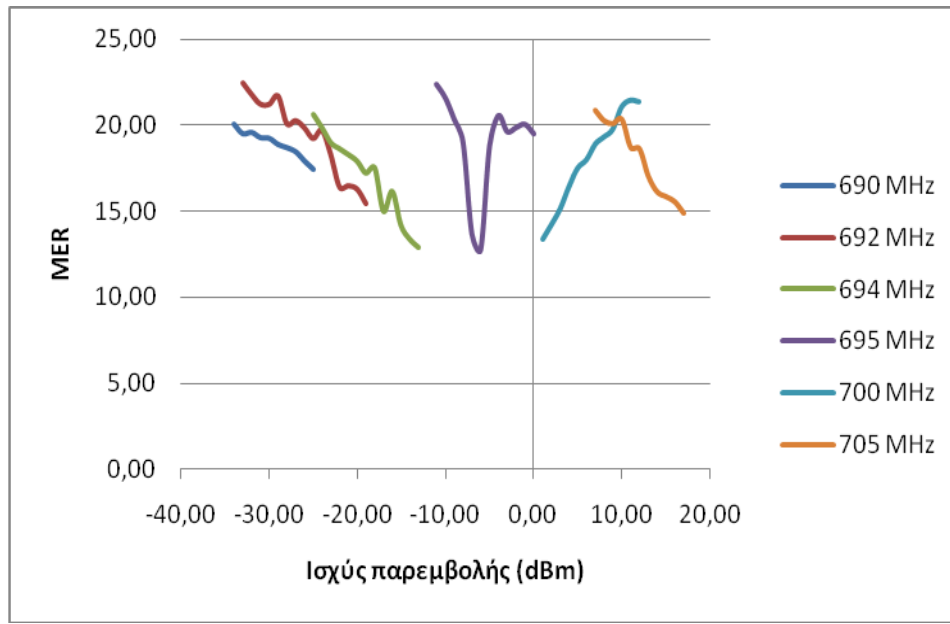
C/N:



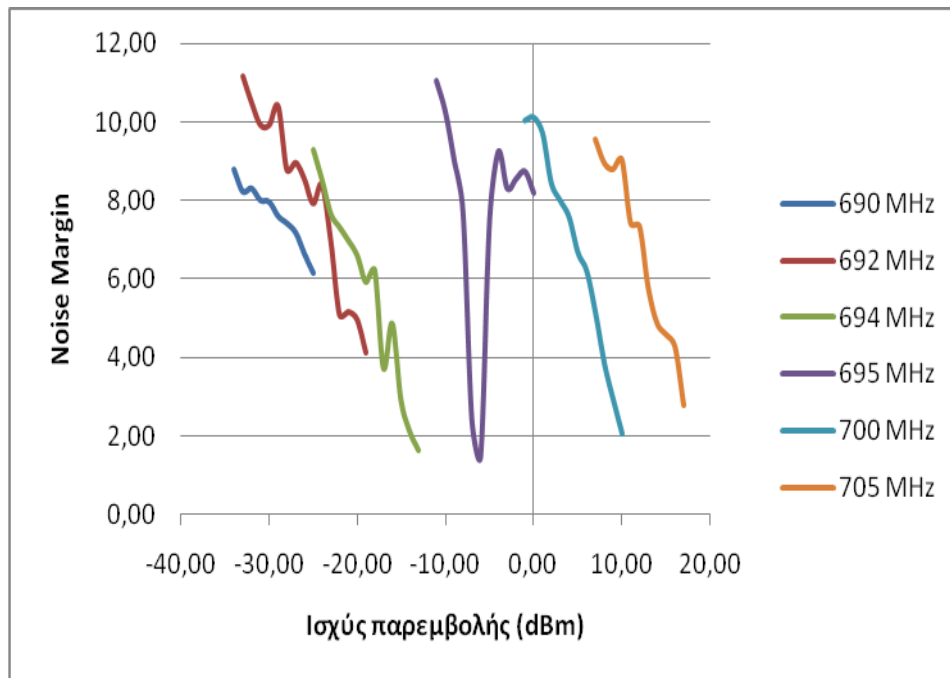
Ένταση καναλιού:



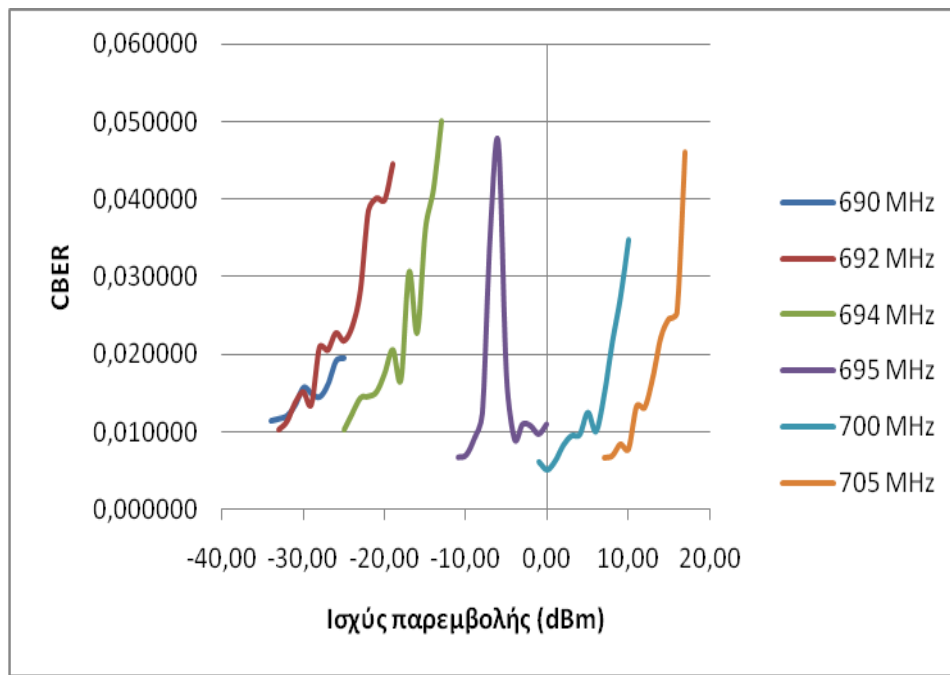
MER:



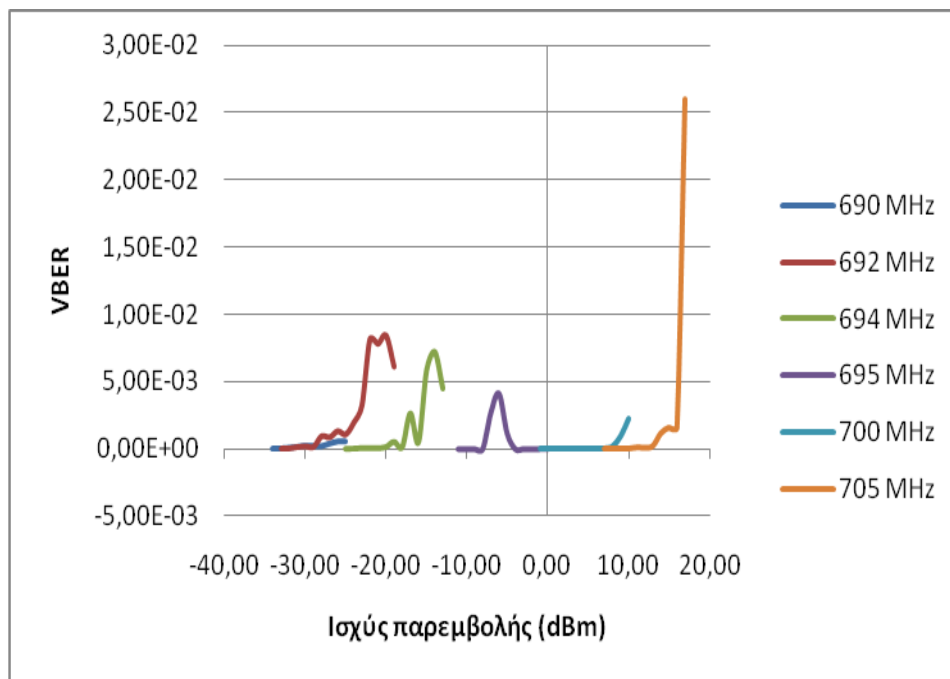
Noise Margin:



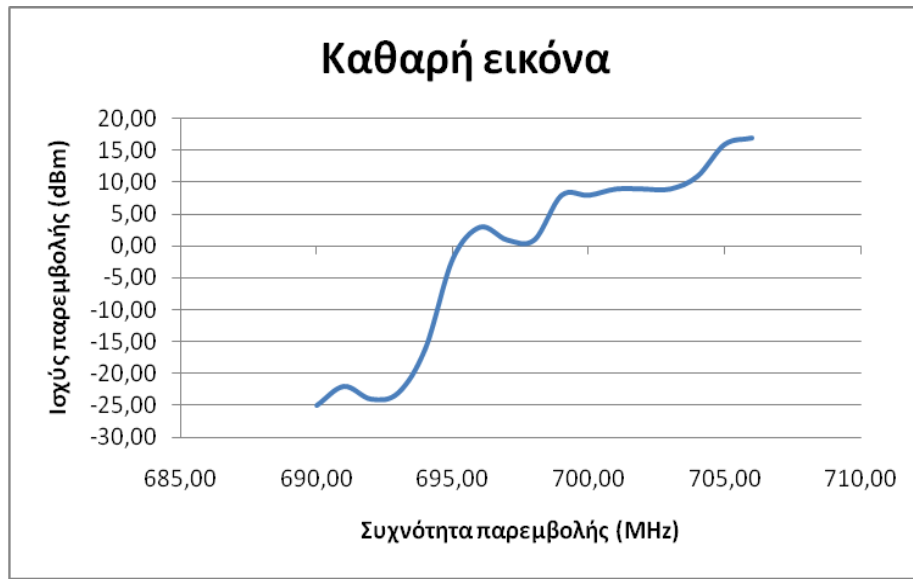
CBER:



VBER:

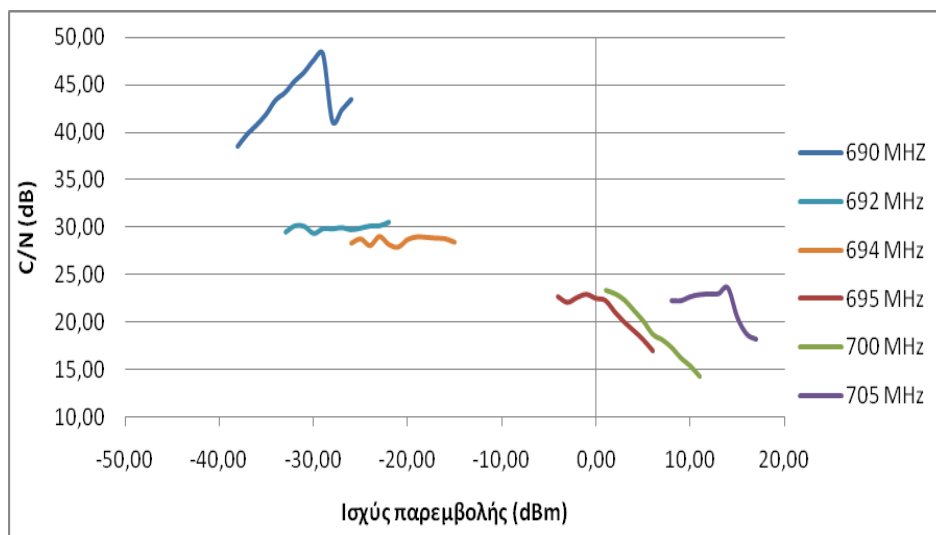


Μέγιστη ισχύς παρεμβολής για κάθε συχνότητα που έχουμε καθαρή εικόνα:

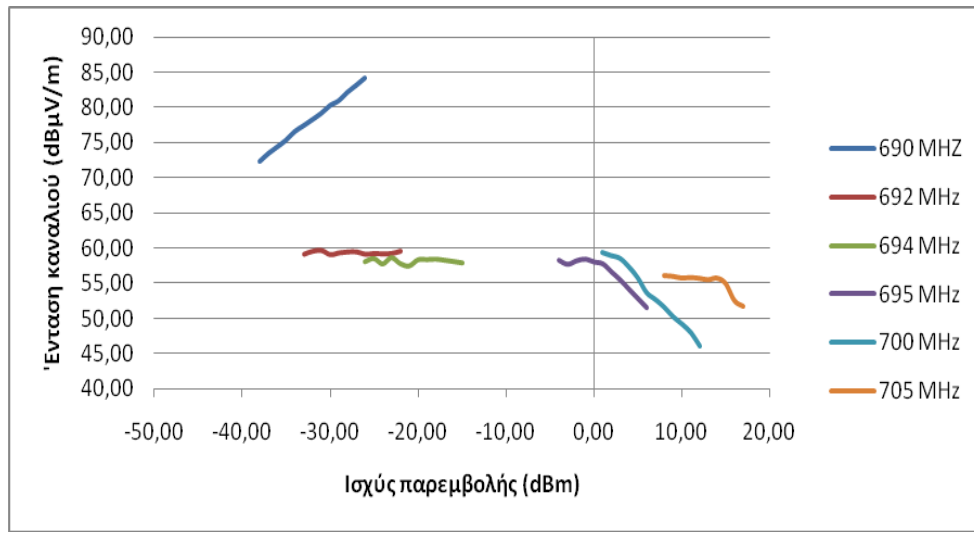


Παρεμβολή με LTE TDD

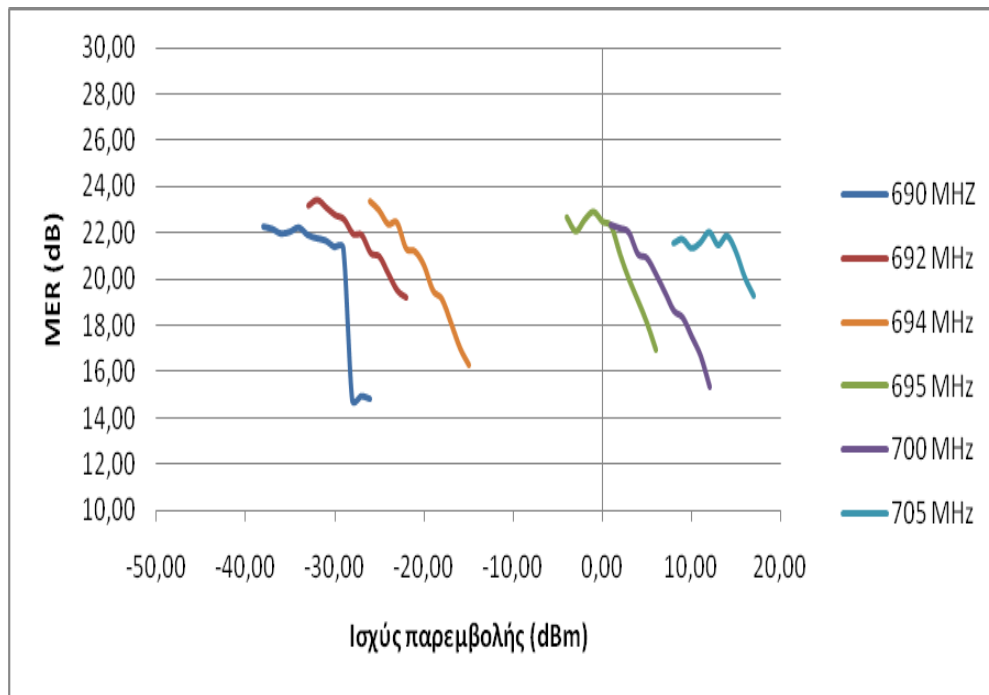
C/N:



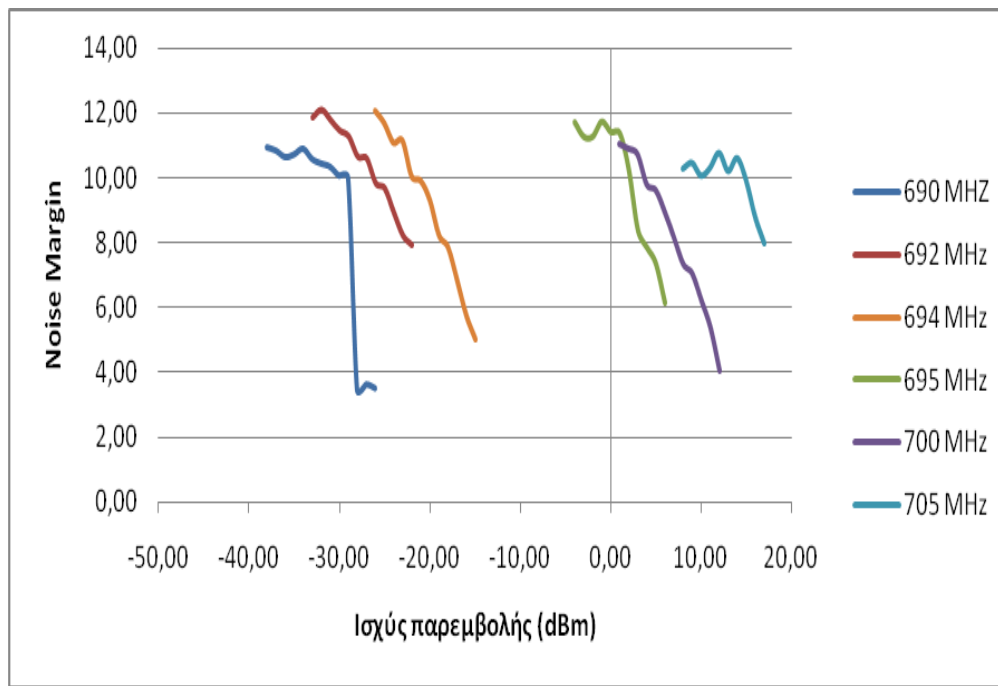
Ένταση καναλιού:



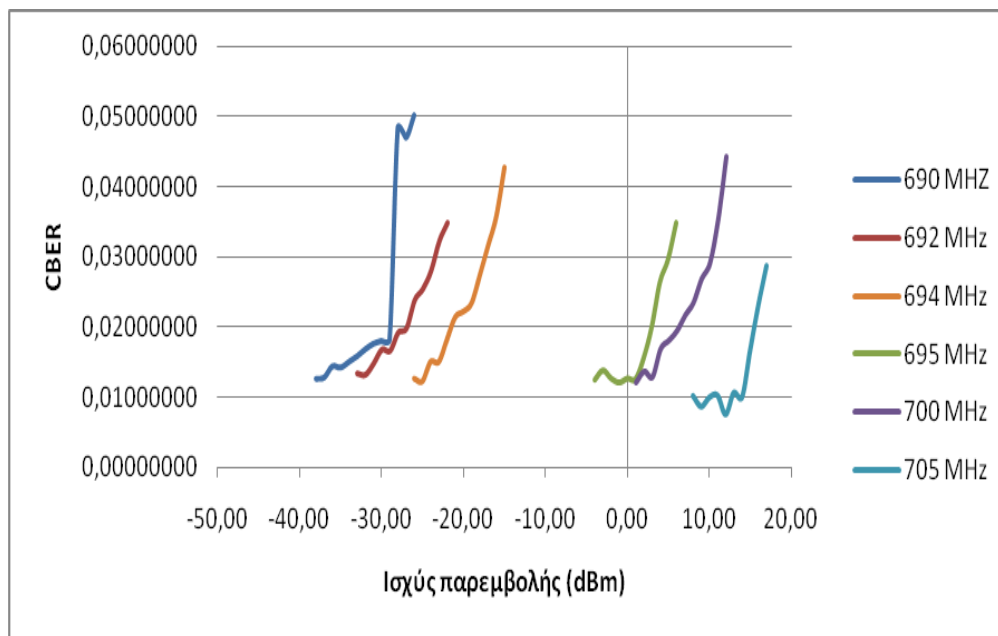
MER:



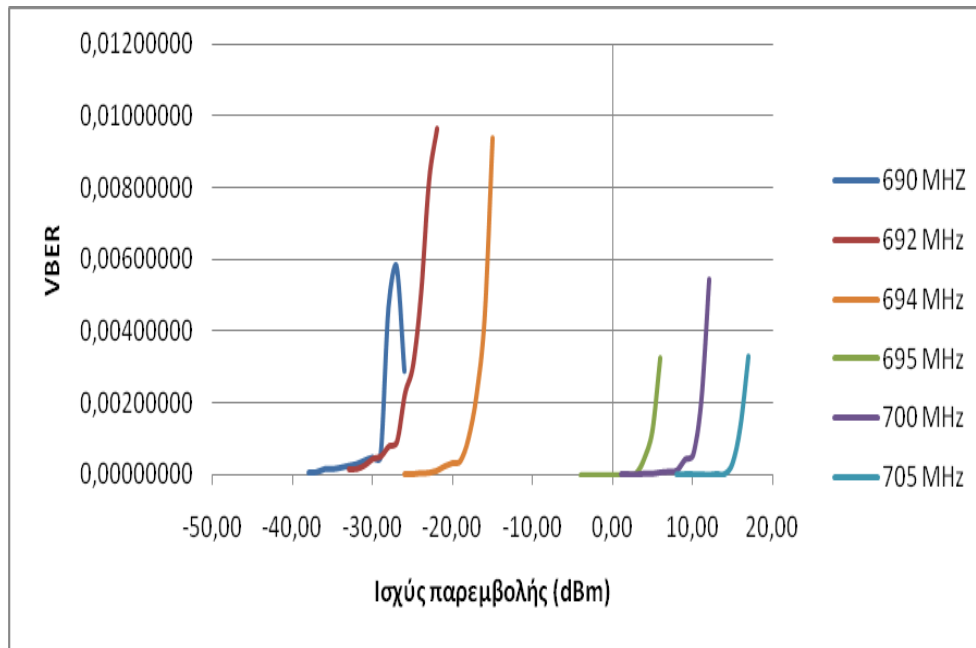
Noise Margin:



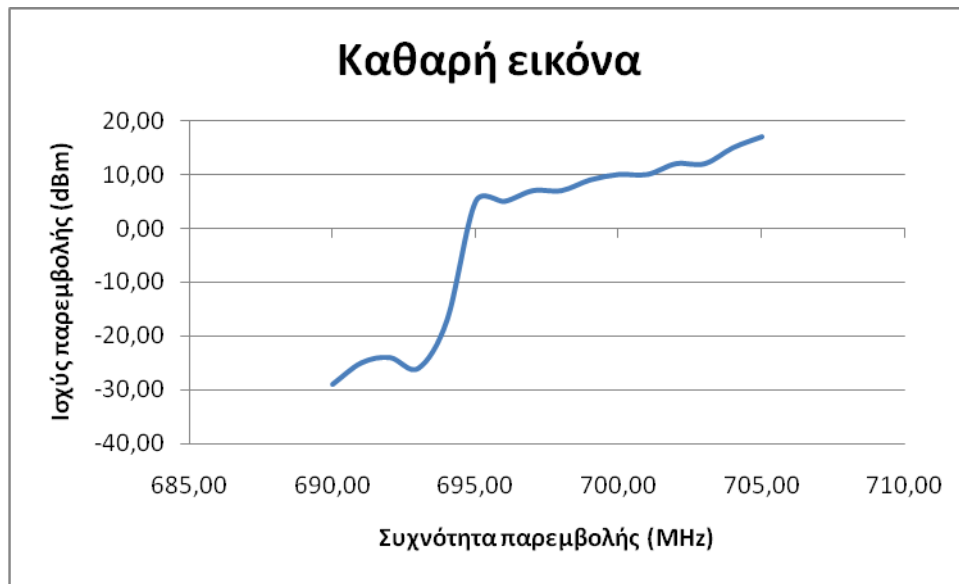
CBER:



VBER:

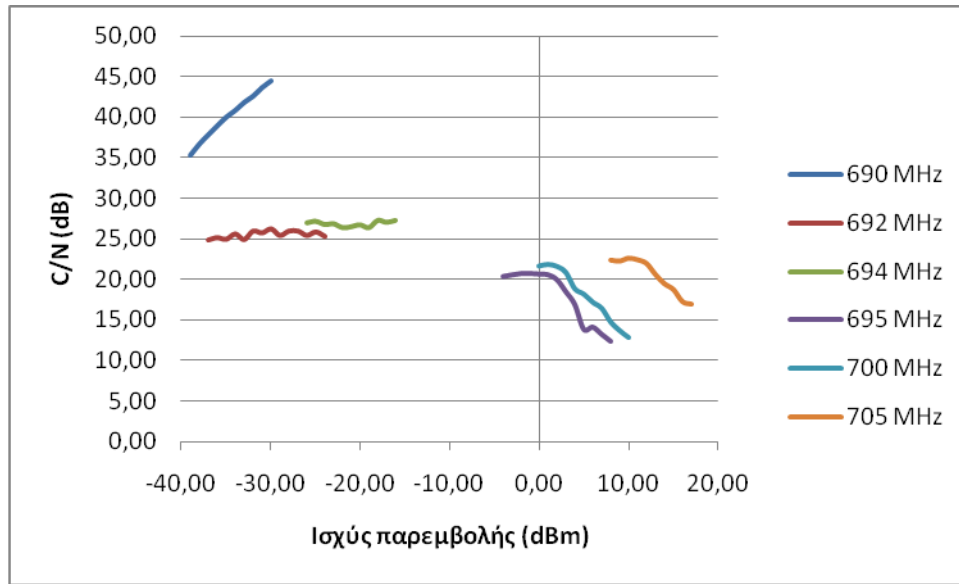


Μέγιστη ισχύς παρεμβολής για κάθε συχνότητα που έχουμε καθαρή εικόνα:

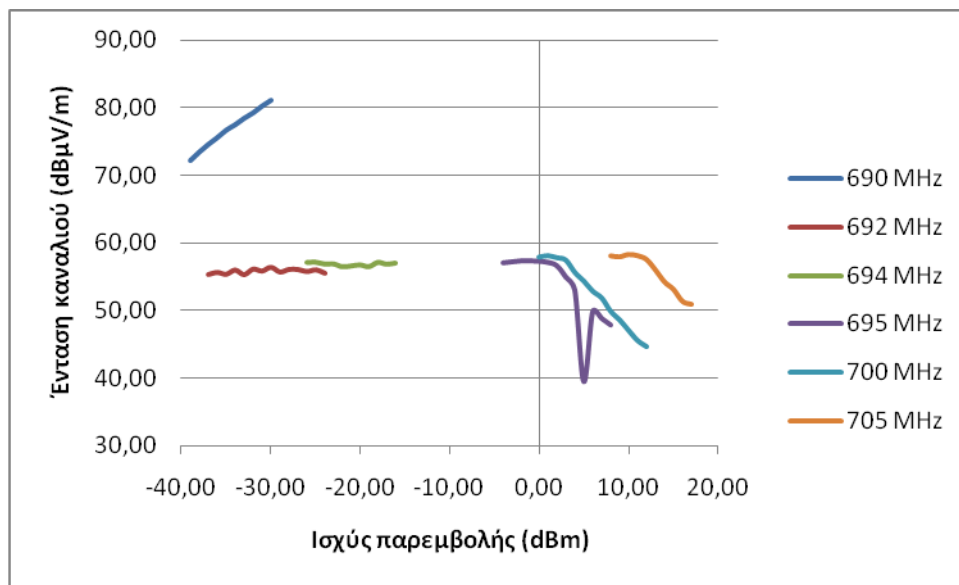


Παρεμβολή με CDMA2000:

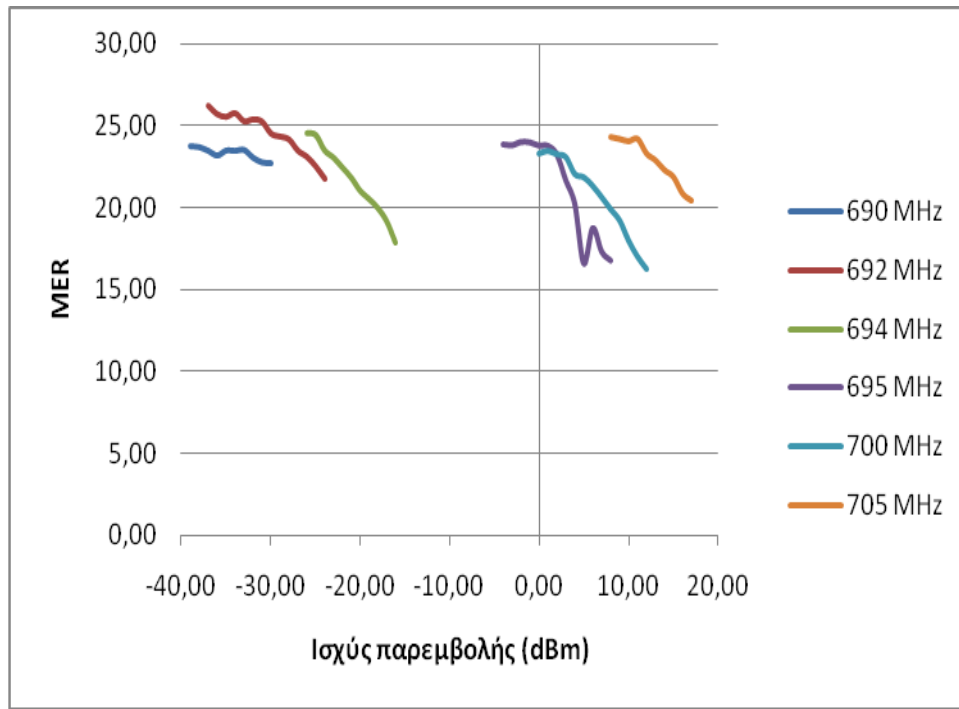
C/N:



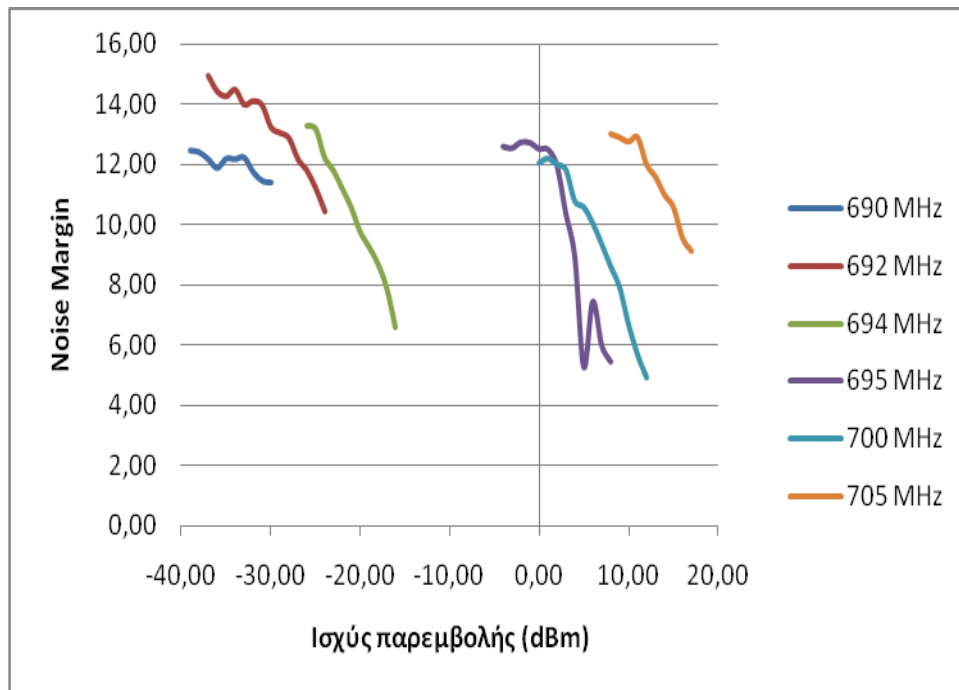
Ένταση καναλιού:



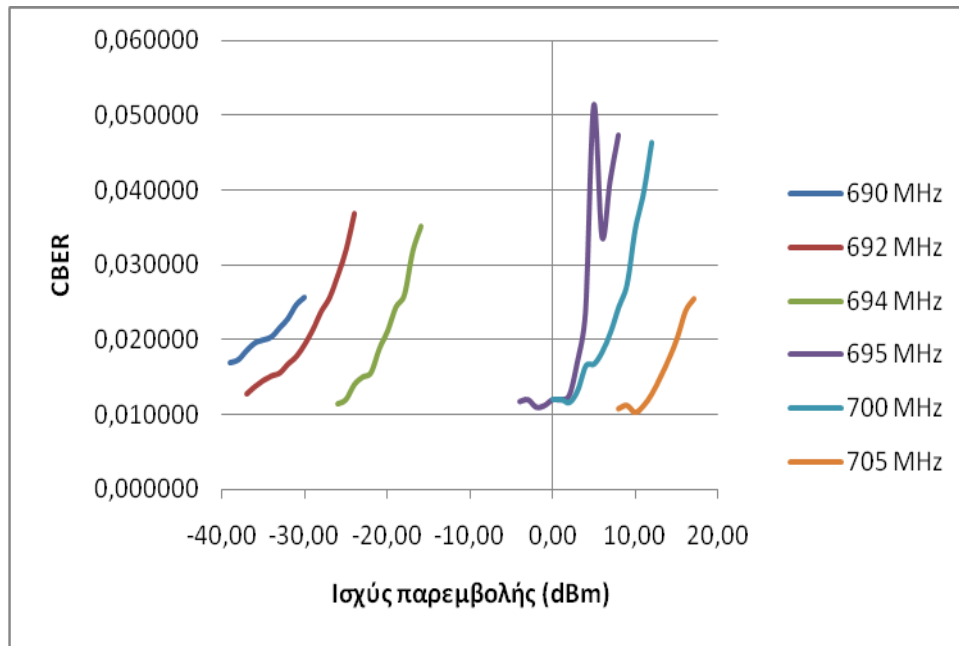
MER:



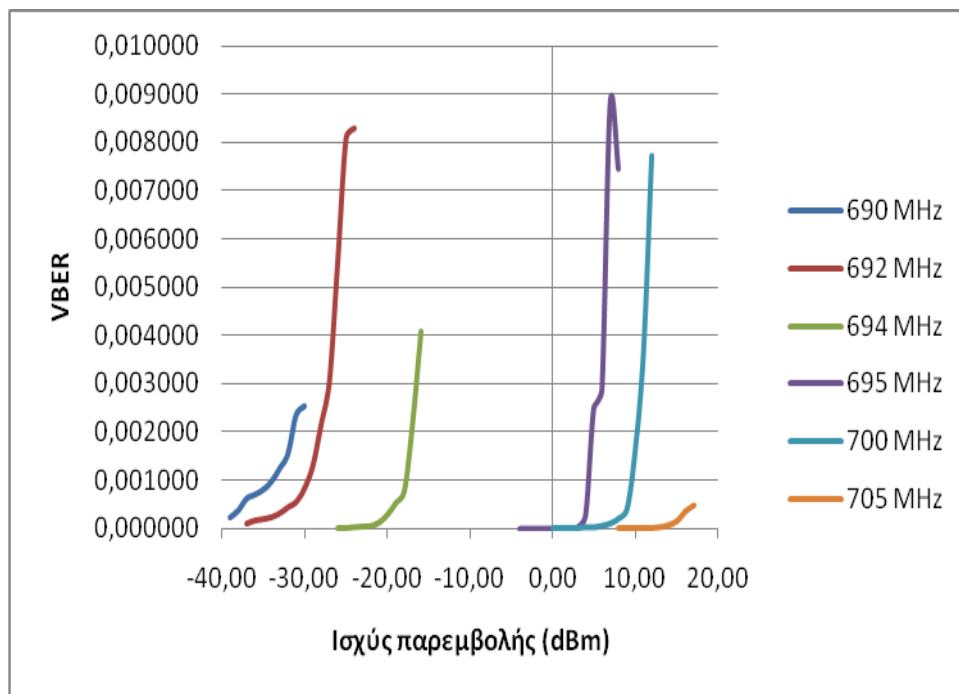
Noise Margin:



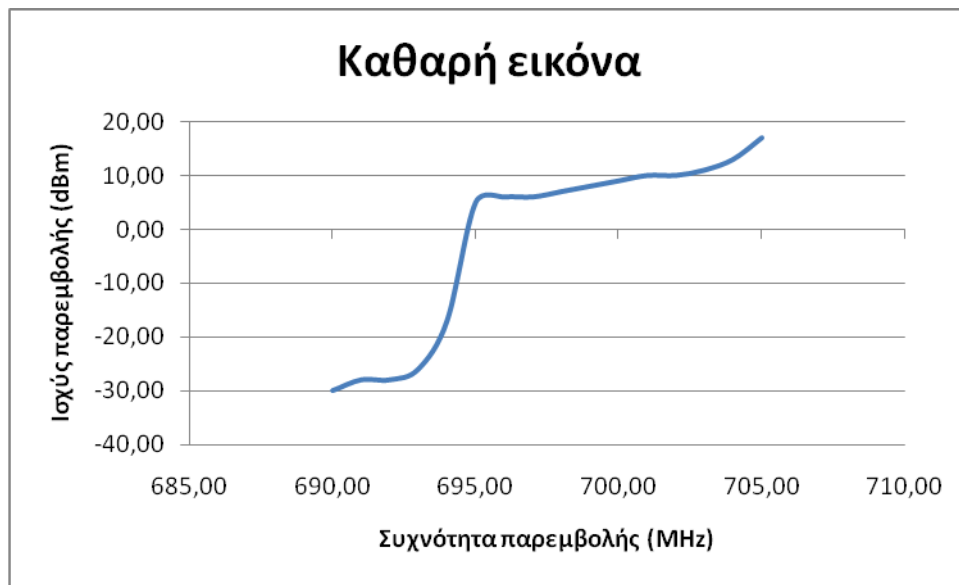
CBER:



VBER:



Μέγιστη ισχύς παρεμβολής για κάθε συχνότητα που έχουμε καθαρή εικόνα:



5.5 Παρατηρήσεις-σχόλια των διαγραμμάτων

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα κάνουμε διάφορες παρατηρήσεις πάνω στα διαγράμματα που προέκυψαν στα μετρούμενα μεγέθη και στα τρία πρωτόκολλα (LTE FDD, LTE TDD, CDMA2000):

C/N:

Ο λόγος σήματος προς θόρυβο παρατηρούμε ότι και στα τρία πρωτόκολλα εμφανίζει παρόμοια συμπεριφορά. Στην κεντρική συχνότητα 690 MHz παρατηρούμε ότι με αύξηση της ισχύος παρεμβολής αυξάνεται και ο σηματοθορυβικός λόγος, στις συχνότητες 692 και 694 MHz (που βρίσκονται μέσα στο εύρος ζώνης του τηλεοπτικού καναλιού) παρατηρείται ένας σταθερός σηματοθορυβικός λόγος με αύξηση της ισχύος παρεμβολής. Τέλος βγαίνοντας εκτός εύρους τηλεοπτικού καναλιού στις συχνότητες 700 και 705 MHz παρατηρούμε μία μείωση του σηματοθορυβικού λόγου σε σχέση με την αύξηση της ισχύος παρεμβολής.

Ένταση καναλιού:

Η ένταση καναλιού που μετριέται στον δέκτη παρατηρούμε ότι και για τα τρία πρωτόκολλα εμφανίζει παρόμοια συμπεριφορά με την συμπεριφορά του σηματοθορυβικού λόγου. Δηλαδή στην κεντρική συχνότητα 690 MHz παρατηρούμε αύξηση της έντασης καναλιού, στις συχνότητες 692 και 694 MHz παρατηρούμε σταθερή πορεία και στις συχνότητες 700

και 705 MHz παρατηρούμε μείωση της έντασης καναλιού. Όλα τα παραπάνω σε συνάρτηση με την αύξηση της ισχύος της παρεμβολής.

Περιθώριο θορύβου:

Το περιθώριο θορύβου παρατηρούμε ότι για όλα τα πρωτόκολλα που εξετάζουμε και για όλες τις συχνότητες παρεμβολής παρουσιάζει μία μείωση όσο αυξάνουμε την ισχύ της παρεμβολής. Αυτό θεωρείται λογικό καθώς με αύξηση της παρεμβολής και της αύξησης του θορύβου στον δέκτη μειώνεται το περιθώριο θορύβου.

MER:

Καθώς αυξάνουμε την ισχύ παρεμβολής στον δέκτη για όλα τα πρωτόκολλα και για όλες τις συχνότητες παρατηρούμε μείωση του λόγου λαθών διαμόρφωσης (MER), καθώς αυξάνονται τα λάθη διαμόρφωσης όπως αυξάνεται ο θόρυβος.

CBER:

Για τον ρυθμό λανθασμένων bit παρατηρούμε ότι με την αύξηση της παρεμβολής αυξάνεται και αυτός ο λόγος για όλα τα πρωτόκολλα και όλες τις συχνότητες, καθώς περισσότερα bit για κάθε αλληλουχία bit θα είναι λανθασμένα.

VBER:

Το VBER παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά με το CBER καθώς ουσιαστικά μετράνε και τα δύο τον ρυθμό των λανθασμένων bit απλά το CBER μετράει πριν το Viterbi ενώ το VBER μετά (βλέπε εικόνα 5.5)

Καθαρή εικόνα:

Αυτό το διάγραμμα μας δείχνει την μέγιστη δυνατή ισχύ που μπορούμε να παρεμβάλλουμε στον δέκτη σε δεδομένη συχνότητα. Παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται η συχνότητα και βγαίνουμε έξω από το κανάλι του τηλεοπτικού σήματος (686-694 MHz) τόσο περισσότερη ισχύ παρεμβολής μπορούμε να βάλουμε βλέποντας στον δέκτη μας πάντα καθαρή εικόνα.

Όλα τα παραπάνω διαγράμματα και παρατηρήσεις έγιναν λαμβάνοντας υπόψη πάντα και 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.

Τέλος υπήρχαν και κάποιες μικρές διαφορές στα μετρούμενα μεγέθη που οφείλονταν στα διάφορα πρωτόκολλα που χρησιμοποιήθηκαν (LTE FDD, LTE TDD, CDMA2000).

5.6 Συμπεράσματα

Όπως είδαμε και στα προηγούμενα κεφάλαια η πλήρης μετάβαση στην ψηφιακή τηλεόραση θα απελευθερώσει ορισμένες συχνότητες το λεγόμενο ψηφιακό μείρισμα. Αυτές οι συχνότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες υπηρεσίες, όπως έχουμε δει. Η Ευρωπαϊκή ένωση έχει προτείνει την εναρμόνιση του ψηφιακού μερίσματος σε όλα τα κράτη-μέλη στην ζώνη συχνοτήτων 790-862 MHz. Όμως αρκετά κράτη δεν θα μπορέσουν να εναρμονιστούν σε αυτό το πλάνο είτε γιατί έχουν ήδη κατειλημμένους διαύλους από άλλες υπηρεσίες είτε σε αυτές τις συχνότητες έχουν ήδη ψηφιακή τηλεόραση είτε για άλλους λόγους.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι γειτονικές χώρες που ίσως έχουν διαθέσει με διαφορετικό τρόπο τις συχνότητές τους θα έχουν προβλήματα παρεμβολών. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής, λοιπόν, προσπάθισε να γίνει μία προσομοίωση αυτής της κατάστασης δηλαδή τον επηρεασμό της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης από κινητές υπηρεσίες.

Από τα προηγούμενα κεφάλαια και την ανάλυση που έγινε μπορεί να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα. Αρχικά μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η παρεμβολή που προκαλεί μια κινητή υπηρεσία όταν εκπέμπει σε συχνότητες που βρίσκονται μέσα στο κανάλι που λαμβάνει ο τηλεοπτικός δέκτης σήμα είναι μεγάλη ακόμα και για μικρές ισχύς παρεμβολής. Καθώς απομακρυνόμαστε όμως από το τηλεοπτικό κανάλι παρατηρούμε ότι και πάλι έχουμε παρεμβολή (ειδικά όταν εκπέμπουμε σε διπλανό κανάλι) αλλά με αρκετά αυξημένη ισχύ παρεμβολής. Τέλος σε μεγάλη φασματική απόσταση από το τηλεοπτικό κανάλι όση και ισχύ να έχει η κινητή υπηρεσία η παρεμβολή είναι αμελητέα.

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. Jerry Whitaker, *Mastering Digital Television (2006)*, Εκδόσεις Mc Graw-Hill
5. U. Reimers, *DVB The Family of International Standards for Digital Video Broadcasting (2005)*, Εκδόσεις Springer 2^η Έκδοση.
6. 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.*
7. AEGIS spectrum engineering, *'Review of Digital Dividend Options in Greece', (2009)*
8. Analysys Mason, *'Exploiting the digital dividend'- a European approach (2009)*
9. ETSI EN 200 744 v 1.6.1, *Digital Video Broadcasting; Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.*
10. Ericsson, *"Long Term Evolution: an introduction" (2007), white paper*
11. Motorola *"4G network migration cdma2000 to LTE evolution" white paper*
12. Α.Κονταράτος, Ν.Παναγιώτου, διπλωματική εργασία, *"εξέταση συνύπαρξης συστημάτων ευρυεκπομπής με κινητή υπηρεσία"* (2008)
13. <http://en.wikipedia.org/>
14. <http://www.dvb.org>
15. <http://www.cdg.org>
16. <http://www.umtsworld.com>
17. <http://www.3gpp2.org>