

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων



Πτυχιακή Εργασία

**“Μελέτη, σχεδίαση και υλοποίηση δικτύου
βασισμένο στο πρότυπο DVB-H.”**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: Ιωάννης Σκλαβούνος (Α.Μ. 308)
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 23/03/2012

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. Γεώργιος Μαστοράκης

**Αφιερώνεται στην οικογένειά
μου με πολλή αγάπη και εκτίμηση**

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον επιβλέποντα μου, Επιστημονικό Συνεργάτη από το Α.Τ.Ε.Ι Ηρακλείου Κρήτης, Δρ. Γεώργιο Μαστοράκη, όχι μόνο διότι μου εμπιστεύτηκε την ακόλουθη πτυχιακή εργασία αλλά και για την καθοδήγηση, την ενθάρρυνση και την πολύτιμη βοήθειά του που μου έδωσε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας καθώς και την υπομονή που επέδειξε κατά την διάρκεια υλοποίησης της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση και ηθική ενίσχυση που μου παρείχε όλα τα χρόνια των σπουδών μου. Ήταν και θα παραμένει ανεκτίμητη.

Ηράκλειο, Φεβρουάριος 2012,

Σκλαβούνος Ιωάννης

Σύνοψη

Ο στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι να μελετηθούν τα καινούρια πρότυπα ψηφιακής τηλεόρασης (DVB-T2,DVB-H), τα οποία προσφέρουν την δυνατότητα μετάδοσης τηλεοπτικού σήματος υψηλής ευκρίνειας αλλά και πολυμεσικών εφαρμογών και ιδιαίτερα σε κινούμενους χρήστες. Η μελέτη κατευθύνθηκε προς τη βιβλιογραφική έρευνα αυτών των δύο προτύπων, αναλύοντας τις δυνατότητες που προσφέρουν κυρίως για κινητή μετάδοση. Στο πλαίσιο αυτό, περιγράφονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των δύο προτύπων, καθώς επίσης και οι νέοι μηχανισμοί που προσφέρει το (DVB-T2) σε σχέση με το προγενέστερό του (DVB-T). Επίσης σε αυτή την εργασία μελετάται η απόδοση της σύγκλισης ασύρματων και ενσύρματων δικτύων βασισμένα στο πρότυπο DVB-H. Τέλος γίνεται μια προσπάθεια να συγκρίνουμε τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των προτύπων DVB-H και DVB-T2. Όλα τα στοιχεία αυτά αξιολογήθηκαν μέσα από συγκρίσεις βασισμένες κατά κύριο λόγο στα δημοσιευμένα πρότυπα και σε ερευνητικά άρθρα επιστημονικών περιοδικών και διεθνών συνεδρίων.

Abstract

The objective of final work is the study in depth of the new models of digital television (DVB-T2, DVB-H), which offer the possibility of transmission of high definition television signal and also IP applications and particularly in mobile terminals. The study was directed to the bibliographic research of these two models, analyzing the possibilities that they mainly offer for mobile transmission. In this project, is analytically described the characteristics of operation of two standards, as well as the new mechanisms that offer the (DVB-T2) is compared with its previous (DVB-T). Also, in this paper is studied the attribution of convergence between wireless and wired networks based on the DVB-H standard. Finally an effort to compare the characteristics of operation of models DVB-H and DVB-T2 is taken place. All the elements were evaluated through comparisons based place on published models and inquiring articles scientific periodical and international symposiums.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
1.1 Περίληψη.....	11
1.2 Σκοπός και στόχοι εργασίας.....	11
1.3. Δομή Εργασίας.....	11
2. Το πρότυπο DVB-T2.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
2.1 Το ψηφιακό σήμα DVB-T.....	13
2.2. DVB-T2.....	15
2.2.1. Εισαγωγή.....	15
2.3. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ DVB-T2.....	16
2.3.1. Απαιτήσεις συστήματος λειτουργίας του DVB-T2.....	16
2.3.2 Η αρχιτεκτονική του συστήματος.....	17
2.4 Πρόσθετα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του DVB-T2 σε σχέση με το DVB-T.....	22
2.4.1 Ποιοτικές διαφορές προτύπου DVB-T2 με το DVB-T.....	22
2.4.2 Εμπρόσθια διόρθωση λαθών (FEC) και πλαίσια ζωνών βάσης (BaseBand Frames).....	22
2.4.3 Interleaving.....	22
2.4.4 Αστερισμοί.....	23
2.4.5 OFDM Διαμόρφωση.....	24
2.4.6 Scattered Pilots (διεσπαρμένοι πιλότοι).....	25
2.4.7. Peak to Average Power Reduction (PAPR).....	26
2.4.8 Future Extension Frames (FEF).....	26
2.4.9 Χρονικός Τεμαχισμός συχνότητας (TFS).....	27
2.4.10. Ποικιλόμορφη Μετάδοση.....	27
2.5 Μελέτη του DVB-T2 για κινητή μετάδοση.....	28
2.5.1 Φυσικό στρώμα.....	28
2.5.2. Στρώμα ζεύξης δεδομένων (BB-FEC (base-band FEC)).....	31
2.5.3 Περαιτέρω βελτιστοποίηση.....	31

2.5.4 Συμπεράσματα	40
2.6 Συγκριτική έρευνα του DVB-T2 με DVB-T ως προς την απόδοση τους.....	40
2.6.1. Μεθοδολογικά στοιχεία.....	40
2.6.2. Σύστημα μετρήσεων.....	42
2.6.3 Επεξεργασία σήματος στο DVB-T2.....	42
2.6.4 Σενάρια δικτύων και υποδοχής μετάδοσης.....	43
2.6.5 Αποτελέσματα.....	44
2.6.6. Συμπεράσματα	46
3. Το πρότυπο DVB-H.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
3.1. Εισαγωγή.....	48
3.2 Απαιτήσεις συστήματος DVB-H.....	48
3.3. Ανάλυση Συστήματος.....	49
3.3.1. Το φυσικό στρώμα	49
3.3.2. Λειτουργίες του Φυσικού Στρώματος.....	50
3.3.3. Επίπεδο Ζεύξης δεδομένων (Link/MAC Layer)	52
3.4. Σχεδίαση, Μελέτη, Υλοποίηση ενός δικτύου με βάση το πρότυπο DVB-H.....	58
3.4.1. Εισαγωγή	58
3.4.2. Κάλυψη του συστήματος DVB-H.....	59
4. Αρχιτεκτονικές σύγκλισης ασύρματων και ενσύρματων δικτύων	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
4.1 Εισαγωγή.....	64
4.2.Σύγκλιση ενσύρματου και ασύρματου δικτύου για IP Datacasting υπηρεσίες.....	65
4.2.1. Επισκόπηση Συστήματος.....	65
4.2.2. Αρχιτεκτονική υβριδικού μοντέλου	67
4.2.3. Κανάλι επιστροφής	68
4.2.4. Θέση της «συνάρτησης κόστους».....	69
4.2.5. Το υβριδικό δίκτυο ως ένα σύστημα αναμονής	70

4.2.6. Ο αλγόριθμος προγραμματισμού	71
4.2.7. Αποτελέσματα.....	76
5. Σύγκριση των προτύπων DVB-H και DVB-T2.. Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.	
5.1. IP datacasting στα δύο πρότυπα.....	78
5.1.1. DVB-T2.....	78
5.1.2. DVB-H	79
5.2. Αντιμετώπιση λαθών κατά τη μετάδοση IP πακέτων.....	80
5.2.1. DVB-H	80
5.2.2. DVB-T2.....	82
5.3. Κατανάλωση ισχύος.....	82
5.3.1. DVB-T2.....	82
5.3.2. DVB-H	84
5.4. Χαρακτηριστικά λειτουργίας των δύο προτύπων.....	84
5.5. Συμπεράσματα.....	88
5.6 Επίλογος.....	89
6. Βιβλιογραφία.....	90
7. Παράρτημα.....	91
7.1 Γλωσσάριο	

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα1. Αλυσίδα εκπομπής DVB-T.....	13
Σχήμα2.ΔιάστημαΠροστασίας/ Guardinterval μεταδιδόμενου συμβόλου.....	14
Σχήμα3. Σχηματικό διάγραμμα μιας τυπικής DVB-T2 αλυσίδας εκπομπής.....	17
Σχήμα 4. Διαφορετικά PLP' s καταλαμβάνουν διαφορετικό χώρο.....	18
Σχήμα 5. Δομή πλαισίου BaseBand (BB).....	19
Σχήμα 6. Δομή πλαισίου FEC.....	20
Σχήμα 7. Δομή Υπερπλαισίου.....	20
Σχήμα 8. Δομή L1 signaling.....	21
Σχήμα 9. Ανεστραμμένοι σχηματισμοί (rotated constellations).....	23
Σχήμα 10. Λειτουργία των διαστημάτων φύλαξης.....	24
Σχήμα 11. Το DVB-T2 χρησιμοποιεί μεγαλύτερα σύμβολα για τη μείωση του overhead που σχετίζεται με το διάστημα φύλαξης.....	24
Σχήμα 12. Θεωρητικό φάσμα για DVB-T2 σήματα (8 MHz κανάλι μετάδοσης).....	25
Σχήμα 13. Τυπικό μοτίβο διάσπαρτων πιλότων DVB-T2 σε σχέση με το overhead.....	26
Σχήμα 14. Εισαγωγή των FEC πλαισίων ανάμεσα από τα T2 πλαίσια.....	26
Σχήμα 15. Σύγκριση time interleaving και τεμαχισμού (subslicing).....	29
Σχήμα 16. TU6 80Hz: Σύγκριση τεμαχισμού (subslicing).....	29
Σχήμα 17. (TU6 80Hz): Σύγκριση μεταξύ διαφορετικών τιμών code rate και time interleaving.....	30
Σχήμα 18. Παράδειγμα κατασκευής ενός FEC πίνακα στο στρώμα ζεύξης δεδομένων.....	31
Σχήμα 19. PSNR της ακολουθίας πληρωμάτων για τα πρώτα 120 πλαίσια.....	38
Σχήμα 20. PSNR της ακολουθίας πλήθους για τα πρώτα 120 πλαίσια.....	39
Σχήμα 21. Θέσεις μέτρησης.....	44
Σχήμα 22. Φάσμα Συχνότητας σήματος του DVB-T2.....	44
Σχήμα 23. Ρυθμός μετάδοσης λαθών σε σχέση με το λόγο φέροντος/θόρυβο.....	45
Σχήμα 24. Αλυσίδα εκπομπής-λήψης του προτύπου DVB-H.....	50
Σχήμα 25.Τεμαχισμός ενός OFDM συμβόλου 8K σε μικρότερα σύμβολα.....	52

Σχήμα 26. Εκπομπή δεδομένων με εκρήξεις (bursts)	53
Σχήμα 27. Λειτουργία time-sliced υπηρεσιών DVB-H μαζί με DVB-T υπηρεσίες.....	54
Σχήμα 28. Δομή πλαισίου MPE-FEC.....	55
Σχήμα 29. Στιγμαϊά αναλογία σήματος-παρέμβασης.....	62
Σχήμα 30. Σηματοθορυβικός λόγος για διαφορετικά μεγέθη σύμβολων σε σχέση με το BER.....	62
Σχήμα 31. Ανοχή Doppler για διαφορετικά interleavers.....	63
Σχήμα 32. Κοινόχρηστο δίκτυο DVB-T/H.....	66
Σχήμα 33. Dedicated DVB-H Networks.....	67
Σχήμα 34. Βασική Αρχιτεκτονική ενός Υβριδικού Δικτύου.....	68
Σχήμα 35. Κανάλι επιστροφής στο υβριδικό δίκτυο.....	69
Σχήμα 36. Στοιβά πρωτοκόλλων ενός υβριδικού μοντέλου.....	70
Σχήμα 37. Διάγραμμα ενός συστήματος αναμονής στο υβριδικό δίκτυο.....	71
Σχήμα 38. Διάγραμμα Ροής του αλγόριθμου σχεδιασμού ενός υβριδικού δικτύου.....	73
Σχήμα 39. Μέγιστος αποδεκτός χρόνος μετάδοσης ενός κύκλου του καρουζέλ T _{max} C σε σχέση με το χρόνο απόκρισης (R) για 64, 128 και 192 χρήστες.....	78
Σχήμα 40. Πλατφόρμα IP Datacasting.....	80
Σχήμα 41. Είσοδος πολλαπλών IP ροών.....	80
Σχήμα 42. Γραφική παράσταση των εσφαλμένων bits σε σχέση με τα λάθη που παρουσιάζονται κατά τη μετάδοση για διαφορετικές τιμές bits πλεονασμού.....	81
Σχήμα 43. Μεταφορά δεδομένων πάνω σε ένα PLP.....	83
Σχήμα 44. Μεταφορά καθορισμένων δεδομένων πάνω σε ένα PLP προσθέτοντας L1 signalling....	83
Σχήμα 45. Απόδοση του DVB-H ΚΑΙ DVB-T2 σε περιβάλλον φορητής μετάδοσης.....	86

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Συνοπτικά οι παράμετροι λειτουργίας των DVB-T2 και DVB-T.....	28
Πίνακας 2. Αριθμός υπο-φετών και μέσοι χρόνοι μετάδοσης.....	31
Πίνακας 3. UDP επικεφαλίδα.....	33
Πίνακας 4. IPV6 επικεφαλίδα.....	33
Πίνακας 5. Φορτία Μετάδοσης.....	34
Πίνακας 6. PSNR (peak signal-to-noise ratio) και ρυθμός λανθασμένων πακέτων (packet error rate) στο πλήρωμα.....	37
Πίνακας 7. PSNR (peak signal-to-noise ratio) και ρυθμός λανθασμένων πακέτων (packet error rate) στο πλήθος.....	37
Πίνακας 8. Αριθμός λανθασμένων πακέτων (πλήρωμα).....	37
Πίνακας 9. Αριθμός λανθασμένων πακέτων (πλήθος).....	37
Πίνακας 10. Παράμετροι λειτουργίας των υπό μελέτη προτύπων.....	41
Πίνακας 11. Απόκλιση του θεωρητικού CNR από το μετρηθέν για το DVB-T2.....	45
Πίνακας 12. Παράμετροι λειτουργίας στο DVB-H πρότυπο.....	51
Πίνακας 13. Παράμετροι λειτουργίας του DVB-H για διαφορετικά είδη διαμόρφωσης.....	58
Πίνακας 14. Λόγος σήματος προς θόρυβο (C/N) για 5 % MFER σε κινητό κανάλι (Doppler).....	63
Πίνακας 15. Λόγος σήματος προς θόρυβο (C/N) για 5 % MFER για σταθερή λήψη (Γκαουσιανό κανάλι).....	63
Πίνακας 16. Λόγος σήματος προς θόρυβο (C/N) για 5 % MFER σε φορητό κανάλι (Rayleigh)....	63
Πίνακας 17. Ρυθμίσεις παραμέτρων του υβριδικού μοντέλου.....	76
Πίνακας 18. Παράμετροι των εφαρμογών και των δεδομένων σηματοδότησης.....	78
Πίνακας 19. Παραδοχή συμπεριφοράς των χρηστών.....	78
Πίνακας 20. Διαφορές των δύο προτύπων.....	85

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Περίληψη

Το ψηφιακό σήμα διαθέτει πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά από το αναλογικό, το πιο βασικό από τα οποία είναι το σύστημα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται στις ψηφιακές εκπομπές. Η λειτουργία της ψηφιακής επίγειας τηλεόρασης στηρίζεται στην COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) διαμόρφωση, βασικό πλεονέκτημα της οποίας είναι η υψηλή προστασία του σήματος από τις απώλειες της broadcast μετάδοσης. Με άλλα λόγια, μέχρι κάποιο σημείο, το σήμα δεν επηρεάζεται από τις συχνότητες “φαντάσματα”, έτσι το ψηφιακό σήμα μένει σχεδόν ανεπηρέαστο κάτω από συνθήκες στις οποίες το αναλογικό σήμα θα εξασθενούσε σημαντικά λόγω παρεμβολής. Εν συνεχεία, το ψηφιακό σήμα παρουσιάζει μεγάλη ανοχή στην δια-καναλική παρεμβολή προερχόμενη τόσο από άλλα ψηφιακά όσο και από αναλογικά σήματα. Αυτό το σπουδαίο πλεονέκτημα του ψηφιακού σήματος καθιστά δυνατή την εισαγωγή ψηφιακών υπηρεσιών σε μια ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται κατά κόρον από αναλογικά κανάλια. Σε αντίθεση με το αναλογικό σήμα το οποίο εξασθενεί ομαλά, το ψηφιακό σήμα χάνει την ισχύ του απότομα με αποτέλεσμα ένα ψηφιακό σύστημα να δίνει άριστη εικόνα σε ένα επίπεδο σήματος Y dB και σχεδόν καθόλου σήμα ένα επίπεδο $Y-1$ ή $Y-2$ dB. Το βασικό αυτό χαρακτηριστικό του ψηφιακού σήματος χρήζει ιδιαίτερης προσοχής από τον σχεδιαστή του συστήματος, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιήσει τεχνικές πολύ-επίπεδων συστημάτων ώστε το μεγαλύτερο ποσοστό των χρηστών να λαμβάνει τουλάχιστον το ελάχιστο αποδεκτό σήμα. Με τον όρο πολύ-επίπεδο σύστημα εννοείται, για παράδειγμα, ένα σύστημα που αποτελείται από δυο μέρη: το πρώτο θα είναι λιγότερο ευαίσθητο και θα μεταφέρει το σήμα βασικής ποιότητας, ενώ το δεύτερο θα εξασθενεί πιο απότομα αλλά θα μεταφέρει εικόνα υψηλότερης ποιότητας.

Γι’ αυτό υπάρχουν τα καινούρια πρότυπα μετάδοσης επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης που έχουν την δυνατότητα να μεταφέρουν επιτυχώς τηλεοπτικό σήμα υψηλής ευκρίνειας καθώς και μια σειρά από πολυμεσικές εφαρμογές. Το ψηφιακό σήμα χρησιμοποιώντας τα εξελιγμένα πρότυπα ψηφιακής μετάδοσης είναι σχεδιασμένο ώστε να υποπίπτει σε λιγότερα λάθη αλλά και κάτι ιδιαίτερος σημαντικό : προσφέρει τη δυνατότητα πρόσβασης σε πολυμεσικές εφαρμογές και τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας ακόμα και σε φορητούς δέκτες όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα ή laptops .

Έρχονται λοιπόν τα πρότυπα της καινούρια γενιάς όπως το DVB-T2 και το DVB-H να προσφέρουν αυτές τις δυνατότητες για την μετάδοση του ψηφιακού σήματος. Έννοιες όπως IP Datacasting και συγκλίσεις ενσύρματων και ασύρματων δικτύων για την καλύτερη παροχή υπηρεσιών στους χρήστες γίνονται κατανοητές μέσα από αυτή την έρευνα.

1.2 Σκοπός και στόχοι εργασίας

Στόχος της πτυχιακής εργασίας αυτής είναι αρχικά να μελετηθεί το νέο πρότυπο της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης DVB-T2 το οποίο προσφέρει βελτιστοποιημένες επιδόσεις σε σχέση με το πρότυπο DVB-T. Θα μελετηθούν οι ποιοτικές διαφορές καθώς και οι επιπρόσθετες δυνατότητές του και θα περιγραφθεί ο τρόπος λειτουργίας του σε όλα τα στάδια της αλυσίδας εκπομπής. Επιπλέον θα πραγματοποιηθεί μία συγκριτική έρευνα των δύο αυτών προτύπων ως προς την απόδοσή τους. Εν συνεχεία θα μελετηθούν θέματα σε σχέση με το πρότυπο DVB-H, το οποίο προσφέρει υπηρεσίες IP Datacasting σε κινούμενους χρήστες. Πιο αναλυτικά θα σχεδιαστεί, θα μελετηθεί και θα υλοποιηθεί ένα δίκτυο με βάση το πρότυπο DVB-H. Θα διερευνηθούν πιθανές αρχιτεκτονικές σύγκλισης ενσύρματων και ασύρματων τηλεπικοινωνιακών δικτύων με το πρότυπο αυτό, και θα διερευνηθεί ενδεχόμενη συσχέτιση των χαρακτηριστικών του με το πρότυπο DVB-T2.

1.3. Δομή Εργασίας

Θέμα της εργασίας αυτής είναι να περιγράψει τα πρότυπα μετάδοσης ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος, DVB-T2, DVB-H. Στο πλαίσιο αυτό και για καλύτερη κατανόηση των επί μέρους χαρακτηριστικών ξεκινάμε στο 2^ο κεφάλαιο με μία γενική περιγραφή του προτύπου της ψηφιακής τηλεόρασης DVB-T για να καταλήξουμε ύστερα σε μια λεπτομερή περιγραφή του προτύπου DVB-T2 και των χαρακτηριστικών λειτουργίας του και ειδικότερα για τις δυνατότητες μετάδοσης που προσφέρει σε κινούμενους χρήστες. Έπειτα μελετούμε τις πρόσθετες λειτουργίες του σε σχέση με το πρότυπο DVB-T και παραθέτουμε μια συγκριτική έρευνα .

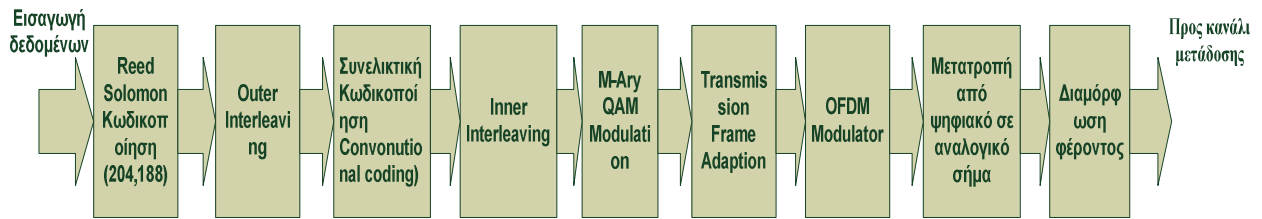
Στο 3ο κεφάλαιο περιγράφουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά του DVB-H που είναι πρότυπο που ασχολείται με την μετάδοση ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος σε φορητές κινούμενες συσκευές, όπως για παράδειγμα τα κινητά τηλέφωνα. Μελετούμε υλοποιούμε και σχεδιάζουμε ένα δίκτυο βασισμένο στο DVB-H.

Στο 4^ο κεφάλαιο μελετάμε την αρχιτεκτονική σύγκλισης ενσύρματων και ασύρματων δικτύων δημιουργώντας ένα υβριδικό δίκτυο αποτελούμενο από DVB-H δίκτυα και δίκτυα κινητής τηλεφωνίας καθώς ώστε να προσφέρουν IP Datacasting υπηρεσίες στους χρήστες. Εν συνεχεία σχεδιάζουμε και μελετάμε την συμπεριφορά ενός υβριδικού δικτύου.

Στο 5^ο και τελευταίο κεφάλαιο συσχετίζουμε τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των προτύπων DVB-H και DVB-T2 προσπαθώντας να δούμε πιο πρότυπο μετάδοσης υπερέχει σε κάποια σημεία και για ποιες συνθήκες μετάδοσης είναι κατάλληλο το ένα έναντι του άλλου.

2. Το πρότυπο DVB-T2

2.1 Το ψηφιακό σήμα DVB-T



Σχήμα 1. Αλυσίδα εκπομπής DVB-T

Το DVB-T διαθέτει τεχνικά χαρακτηριστικά¹ τα οποία το καθιστούν ιδιαίτερα ευέλικτο:

Δυνατότητα επιλογής 3 διαφορετικών διαμορφώσεων (QPSK, 16 QAM, 64 QAM)

QPSK: Προσφέρει μεγάλη ανθεκτικότητα από πλευράς παρεμβολών ωστόσο προσφέρει μικρές τιμές ρυθμών μετάδοσης (οι ρυθμοί μετάδοσης που επιτυγχάνονται κυμαίνονται από 5Mbps – 10Mbps.)

16 QAM: Σχετική ανθεκτικότητα απέναντι στις παρεμβολές με ικανοποιητικές τιμές απόδοσης εύρους ζώνης. (οι ρυθμοί μετάδοσης που επιτυγχάνονται κυμαίνονται από 10Mbps – 21Mbps.)

64 QAM: Προσφέρει τη μεγαλύτερη τιμή απόδοσης εύρους ζώνης ωστόσο δεν παρουσιάζει καμία ανοχή στις παρεμβολές. (οι ρυθμοί μετάδοσης που επιτυγχάνονται κυμαίνονται από 14Mbps – 31Mbps.)

Υποστηρίζει 5 ρυθμούς εσωτερικής κωδικοποίησης (Forward Error Correction –FEC). Από τον ισχυρότερο προς τον ασθενέστερο είναι:

- 1/2
- 2/3
- 3/4
- 5/6
- 7/8

Η κωδικοποίηση αυτή είναι η τρίτη στη σειρά των κωδικοποιήσεων που υπόκειται η μεταδιδόμενη πληροφορία, προηγείται κωδικοποίηση Reed Solomon και ένας εξωτερικός interleaver. Ο ρυθμός κωδικοποίησης (code rate) δηλώνει τον αριθμό των bits που δέχεται σαν είσοδο προς τον αριθμό των bits που προκύπτουν στην έξοδό του. Ουσιαστικά προστίθενται, με καθορισμένο αλγόριθμο, επιπλέον bits στη μεταδιδόμενη πληροφορία ώστε ο δέκτης να μπορεί και να αναγνωρίζει με μεγαλύτερη πιθανότητα την εκπεμπόμενη υπηρεσία αλλά και να διορθώνει κάποια λάθη.

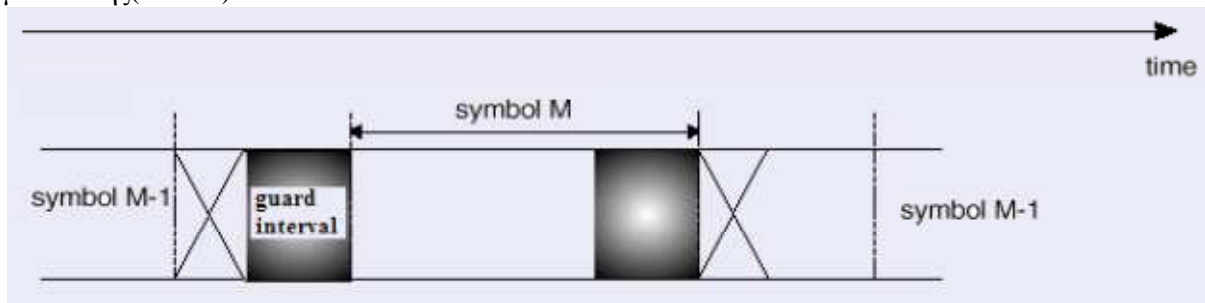
Υποστηρίζει 4 διαφορετικές τιμές για το διάστημα προστασίας του OFDM συμβόλου.

- 1/4
- 1/8
- 1/16
- 1/32

Όσο μεγαλύτερο είναι το διάστημα προστασίας τόσο ισχυρότερη γίνεται η συμπεριφορά του μεταδιδόμενου σήματος έναντι της διασυμβολικής παρεμβολής αλλά και της παρεμβολής μεταξύ των φερουσών λόγω αλλοίωσης της ορθογωνιότητας. Ταυτόχρονα όμως η αύξηση του διαστήματος

¹ <http://www.etsi.org>: "Digital Video Broadcasting (DVB), Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television (DVB-T)" ETSI EN 300 744 V1.4.1 (2001-01)

προστασίας ισοδυναμεί με λιγότερη μεταδιδόμενη πληροφορία και άρα μικρότερους ρυθμούς μετάδοσης(bit rate).



Σχήμα 2. Διάστημα Προστασίας / Guard interval μεταδιδόμενου συμβόλου

Υποστηρίζει 3 διαφορετικά OFDM σύμβολα.

- 2048 (2k) φέρουσες
- 4096 (4k) φέρουσες
- 8192 (8k) φέρουσες

Περισσότερες φέρουσες ισοδυναμούν με περισσότερη μεταδιδόμενη πληροφορία αλλά δημιουργούν επισφαλείς συνθήκες διάδοσης κυρίως ως προς τη διατήρηση της ορθογωνιότητας στο δέκτη. Δυνατότητα λειτουργίας σε κανάλια 6,7 ή 8 MHz εύρους ζώνης (με εικόνα στα 50 ή 60 Hz)

Υποστηρίζει 3 διαφορετικά εύρη καναλιού

- 6 MHz
- 7 MHz
- 8 MHz

Συνήθως το εύρος των 7 MHz χρησιμοποιείται στη μπάντα VHF-Band III (174-230MHz) ενώ τα 8 MHz στη μπάντα UHF (470-862 MHz). Χρησιμοποιώντας διαφορετικούς συνδυασμούς των παραπάνω παραμέτρων ένα DVB-T δίκτυο μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να ικανοποιεί τις ανάγκες οποιουδήποτε σχεδιαστή δικτύων.

2.2. DVB-T2

2.2.1. Εισαγωγή

Το πρότυπο DVB-T παρ' όλο που είναι ένα πετυχημένο πρότυπο μετάδοσης της ψηφιακής τηλεόρασης η ανάγκη για περισσότερες επιλογές στην κωδικοποίηση και στην προστασία λαθών κατά τη μετάδοση του σήματος είχαν σαν αποτέλεσμα την ανάγκη δημιουργίας ενός καινούργιου προτύπου. Επίσης, η απαίτηση για ένα μεγαλύτερο φάσμα συχνοτήτων όπου θα μπορούν να καλύπτουν και πολυμεσικές εφαρμογές κρίθηκε επιτακτική.

Έτσι λοιπόν από τον Ιούνιο του 2008 δημιουργήθηκε το πρότυπο ψηφιακής τηλεόρασης 2^{ης} γενιάς το DVB-T2. Από τον Ιούνιο του 2009 έχει μπει στη διαδικασία προτυποποίησης και έχει ήδη αρχίσει η ανάπτυξη και η εφαρμογή του καινούργιου προτύπου. Η ψηφιακή τηλεόραση κερδίζει σταθερά ολοένα και περισσότερους χρήστες και προκειμένου να ικανοποιηθούν οι αυξανόμενες ζητήσεις από το DVB πρότυπο αποφασίστηκε η σχεδίαση ενός νέου φυσικού στρώματος για μετάδοση ψηφιακής επίγειας τηλεόρασης. Οι κύριοι σκοποί του νέου προτύπου είναι να επιτευχθεί περισσότερο ποσοστό ροής δεδομένων έναντι του προτύπου πρώτης γενιάς DVB-T, που στοχεύει στις υπηρεσίες HDTV, βελτιώνοντας έτσι τα ενιαία δίκτυα συχνότητας (SFN) και παρέχοντας συγκεκριμένη ευρωστία για σταθερούς και φορητούς δέκτες

Η δυνατότητα να αυξηθεί η χωρητικότητα σ' ένα πολυπλέκτη μιας επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης είναι ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του προτύπου DVB-T2. Σε σύγκριση με το DVB-T, το καινούργιο πρότυπο προσφέρει μια ελάχιστη αύξηση στη χωρητικότητα περίπου στο 30% κάτω από παρόμοιες συνθήκες λήψης και χρησιμοποιώντας ίδιες κεραίες. Αυτό το ποσοστό όμως είναι δυνατόν να φτάσει και στο 50% στη πράξη, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα εκπομπής και άλλων broadcast υπηρεσιών οι οποίες κάνουν εντατική χρήση του εύρους συχνοτήτων.

Για να συμβαδίσουν με τις απαιτήσεις των χρηστών οι σχεδιαστές δικτύου θα πρέπει να εισάγουν καινούργιες υπηρεσίες στην πλατφόρμα της ψηφιακής τηλεόρασης. Υπηρεσίες όπως video-on-demand, HDTV και φορητή τηλεόραση θα ενισχύσουν τις δυνατότητες της. Επιπλέον οι σχεδιαστές θέλουν να διατηρήσουν μια ικανοποιητική ευελιξία ώστε να διασφαλιστεί ότι η ψηφιακή πλατφόρμα μπορεί να εξελίξει και να παρέχει τις νέες υπηρεσίες καθώς διατίθενται. Αυτό σημαίνει παράλληλα και κατανομή πρόσθετων συχνοτήτων στις μπάντες IV/V(790- 862 MHz) για τις υπηρεσίες broadcast μετάδοσης.

Η ανάπτυξη του προτύπου DVB-T2 καταδεικνύει την εμπιστοσύνη της βιομηχανίας μετάδοσης στην πλατφόρμα της ψηφιακής τηλεόρασης. Οι περιορισμοί στην χωρητικότητα συχνότητας οδήγησαν σε ένα νέο περισσότερο αποτελεσματικό σύστημα μετάδοσης ώστε να καλυφθούν οι απαιτήσεις των καινούργιων υπηρεσιών.

2.3. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ DVB-T2

2.3.1. Απαιτήσεις συστήματος λειτουργίας του DVB-T2

Κάποια από τα πλεονεκτήματα² που προτύπου αυτού προκύπτουν από τα στοιχεία που δομούν την αρχιτεκτονική του. Η κωδικοποίηση video αλλάζει από MPEG-2 σε MPEG-4. Το MPEG-4 αποτελεί τη νέα κωδικοποίηση video που χρησιμοποιείται για δορυφορικά HDTV κανάλια. Η κωδικοποίηση αυτή είναι περίπου δυο φορές πιο αποδοτική από ότι το MPEG-2, που χρησιμοποιείται για standard definition κανάλια.

Χρησιμοποιούνται 16K και 32K φέροντα, σε αντίθεση με το πρότυπο DVB-T που χρησιμοποιούνται 2K και 8K. Όσο πιο μεγάλος είναι ο αριθμός των φερόντων, τόσο μεγαλύτερα θα είναι τα OFDM σύμβολα. Αυτό θα έχει σαν συνέπεια την αποδοτικότητα του φάσματος καθώς το διάστημα προστασίας μεταξύ των ωφέλιμων OFDM συμβόλων θα αποτελεί ένα μικρότερο ποσοστό της συνολικής διάρκειας του συμβόλου (συνολική διάρκεια συμβόλου = διάστημα προστασίας + διάρκεια OFDM συμβόλου). Επίσης, ο μεγάλος αριθμός των φερόντων βελτιώνει την απόδοση του συστήματος, όταν υπάρχουν φαινόμενα ξαφνικών παρεμβολών.

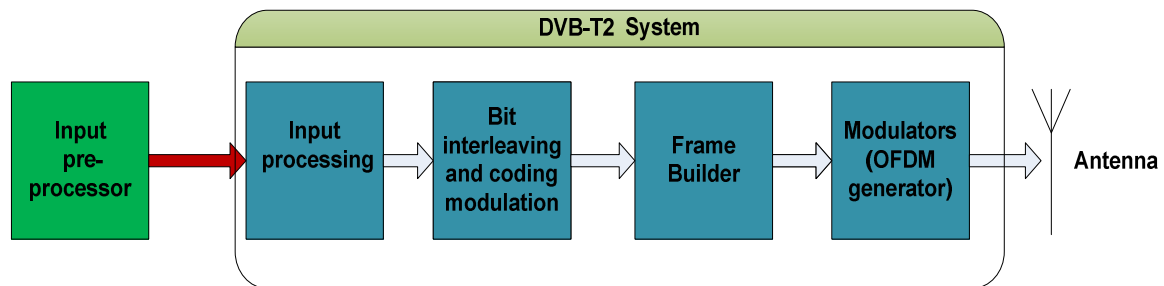
Χρησιμοποιείται διαμόρφωση σήματος έως και 256-QAM. Αντιθέτως, το πρότυπο DVB-T χρησιμοποιεί διαμόρφωση τύπου QPSK, 16-QAM, και 64-QAM. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των σημείων αστερισμού (constellation points) τόσο υψηλότερος μπορεί να είναι ο ρυθμός bit.

Εφαρμογή της τεχνολογίας MIMO (Multiple Input Multiple Output). Αναφέρεται στη χρήση περισσότερων της μίας κεραίας και στο σημείο εκπομπής και στο σημείο λήψης. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι η χωρητικότητα αυξάνεται σύμφωνα με τον ελάχιστο αριθμό κεραιών είτε στο σημείο εκπομπής είτε στο σημείο λήψης. Για παράδειγμα, εάν υπάρχουν τουλάχιστον δύο κεραιές και στο σημείο λήψης και στο σημείο εκπομπής, τότε η χωρητικότητα διπλασιάζεται σε σχέση με τη θεωρητική χωρητικότητα καναλιού όταν υπάρχει μια κεραία εκπομπής και/ή λήψης.

Επιπλέον, το πρότυπο DVB-T2 έχει σχεδιαστεί για λήψη από τις ήδη υπάρχουσες τοπικές κεραιές ψηφιακής τηλεόρασης καθώς και για συνύπαρξη με τις υπάρχουσες DVB-T εκπομπές. Παρόλο, λοιπόν, που έχει δοθεί προσοχή στη συμβατότητα με τις ήδη υπάρχουσες κεραιές, διασφαλίζεται η παροχή της επιπλέον χωρητικότητας. Επιπροσθέτως, η αξιοποίηση των ήδη υπαρχουσών κεραιών εξασφαλίζει σημαντική εξοικονόμηση κόστους για τους παρόχους.

² DVB BlueBook A114, "Commercial requirements for DVB-T2." (2007).

2.3.2 Η αρχιτεκτονική του συστήματος



Σχήμα3. Σχηματικό διάγραμμα μιας τυπικής DVB-T2 αλυσίδας εκπομπής

Χαρακτηριστικά του συστήματος³

Input Processing module

Stream Processing
BB framing
Baseband scrambler

Bit interleaved coding and modulation

FEC encoding (BCH/LDPC)
Bit interleaver
Demux bits to cells
QAM Mapper
QAM Rotation
Q-delay Insertion
Cell Interleaver
Time Interleaver

Frame builder

Frame Mapper
Frequency interleaver

OFDM Generator

MISO processing
Cell Multiplexer
IFFT
PAPR reduction
Guard interval insertion
FEF Insertion
Pilot Insertion

³ DVB Fact Sheet - September 2010. (2010). "2nd generation terrestrial the World's most advanced digital terrestrial TV system". IEEE

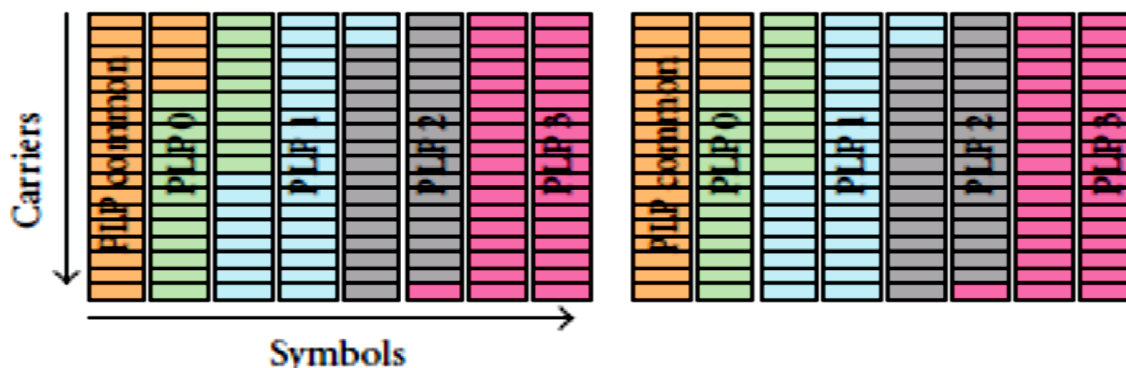
Το πρότυπο DVB-T2 διευκρινίζει κυρίως τη φυσική δομή στρώματος και ορίζει την κατασκευή του σήματος που παράγεται στο T2 διαμορφωτή. Το σχήμα 3 απεικονίζει την υψηλού επιπέδου αρχιτεκτονική του DVB-T2 συστήματος. Το DVB-T2 υιοθέτησε 2 βασικές τεχνολογίες:

- 1) Την αρχιτεκτονική συστήματος μεταφοράς δεδομένων σε baseband πλαίσια.
- 2) Τη χρήση κωδικοποίησης διόρθωσης ελέγχου ισότητας χαμηλής πυκνότητας (LDPC). Οι περισσότερες αποφάσεις στο πρότυπο T2 βασίζονται στην απαίτηση να μεγιστοποιηθεί η μεταφορά στοιχείων. Για αυτό το λόγο λοιπόν τεχνικές όπως το FFT, τα διαστήματα φύλαξης (guard intervals), και τα pilot carriers όπως περιγράφονται παρακάτω.

2.3.2.1 Input processing

Ο προεπεξεργαστής⁴ (preprocessor) δεν ορίζεται ως ένα μέρος του T2 συστήματος. Εντούτοις, λειτουργικά, μπορεί να εκτελέσει τους στόχους όπως ο διαχωρισμός υπηρεσιών, σχεδιασμό ροής ή μεταφορών (Transport Stream) αποπολυπλέκοντας και προετοιμάζοντας τα εισερχόμενα στοιχεία προς επεξεργασία. Η ενότητα επεξεργασίας εισαγωγής (input processing) είναι αρμόδια για την κατασκευή ενός πλαισίου του BB (baseband). Λειτουργεί χωριστά για κάθε περιεχόμενο που βρίσκεται σε κάθε PLP. Τα δεδομένα εισόδου από τη preprocessor ενότητα τεμαχίζονται αρχικά σε πεδία δεδομένων (data fields). Ένας τομέας στοιχείων μπορεί να περιλαμβάνει ένα πεδίο **padding** ή in-band signaling data. Το padding χρησιμοποιείται για να προσθέσει μηδενικά bits μετά από το πεδίο των δεδομένων για να συμπληρώσει το πλαίσιο αυτό. Επιπρόσθετα, τα πεδία padding ασκούν πληροφορίες στην ζώνη σηματοδότησης όταν ο τρόπος της εισόδου είναι σε λειτουργία υψηλής απόδοσης

Το φυσικό στρώμα στοιχείων ενός DVB-T2 καναλιού μετάδοσης διαιρείται σε λογικές οντότητες, τους σωλήνες φυσικού στρώματος PLP (physical layer pipe). Κάθε ένας από τους PLP μεταφέρει μια λογική ροή δεδομένων. Ένα παράδειγμα μιας λογικής ροής δεδομένων είναι λόγου χάριν ένα οπτικοακουστικό σήμα πολυμέσων μαζί με τις σχετικές πληροφορίες σήματος. Η αρχιτεκτονική PLP έχει ως σκοπό να είναι ευέλικτη έτσι ώστε οι ρυθμίσεις στην ευρωστία και την χωρητικότητα να μπορούν να γίνουν εύκολα. Τα δεδομένα, μέσα σε ένα PLP σωλήνα οργανώνονται υπό μορφή baseband (BB) πλαισίων και μέσα σε ένα PLP η μορφοποίηση των πλαισίων του BB παραμένει η ίδια. Τα PLPs οργανώνονται περαιτέρω ως υποδιαιρεμένες φέτες (sub slices) σε μια δομή πλαισίων χρόνο-συχνότητας, αυτή η δομή παρουσιάζεται στο σχήμα 4.

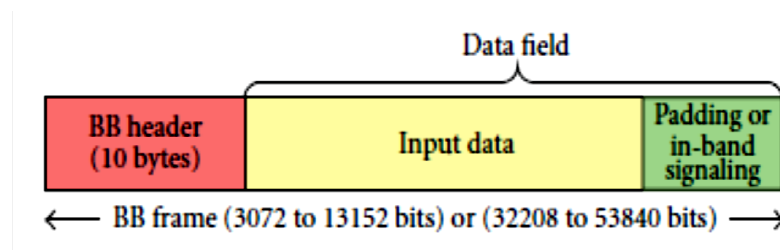


Σχήμα 4. Διαφορετικά PLP's καταλαμβάνουν διαφορετικό χώρο

Το στοιχείο που είναι κοινό για όλα τα PLP's μεταφέρεται «σε έναν κοινό PLP», τοποθετημένο στην αρχή κάθε πλαισίου T2. Αυτή η υποενότητα, διαλέγει 10 Byte βασικής ζώνης (BaseBand) σε μορφή επικεφαλίδας ανάλογα με τον κανονικό ή τον υψηλό τρόπο απόδοσης

⁴ JokelaTero, Tupala Miika, Paavola Jarkko. (SEPTEMBER 2010). "Analysis of physical layer signaling transmission in DVB-T2 systems". *IEEE*

και το προσθέτει μπροστά από το πεδίο της βασικής ζώνης προκειμένου να αποσαφηνιστεί ο τύπος των δεδομένων.



Σχήμα 5. Δομή πλαισίου BaseBand (BB)

Μια επικεφαλίδα BB (baseband header) συμπεριλαμβάνεται στην αρχή κάθε πεδίου δεδομένων. Η κεφαλίδα μαζί με ένα πεδίο δεδομένων δημιουργεί το BB frame. Εν συνεχεία εφαρμόζεται η FEC κωδικοποίηση στο BB πλαίσιο υπαγορεύοντας το μέγεθος ωφέλιμων φορτίων ενός BB πλαισίου. Ένα πλαίσιο του BB μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο κατηγορίες πλαισίων : μακρά και κοντά. Ένα κοντό πλαίσιο του BB έχει το μήκος δεδομένων από **3072** έως **13152** bits και ένα μακρύ πλαίσιο του BB έχει μήκος δεδομένων που ποικίλλει από **32208** έως **53840** bits. Το πλαίσιο του BB απεικονίζεται στο σχήμα 5.

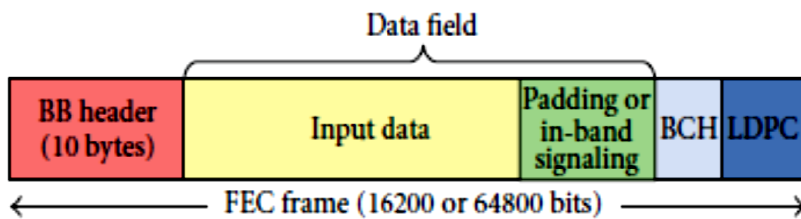
2.3.2.2 Bit interleaved coding and modulation

Το Bit interleaved coding and modulation – **BICM**⁵ παίρνει ένα πεδίο ευρείας ζώνης ως είσοδο και παράγει μία έξοδο για το επόμενο πλαίσιο **mapper module**. Για την εκτέλεση αυτών των διεργασιών το BICM εκτελεί τα παρακάτω στάδια: την **FEC** κωδικοποίηση, το **Bit Interleaving**, το **De-multiplexing bits to cells**, το **Mapper** και τέλος το **Constellation Rotation and Cyclic Q-delay**. Αρχικά, εκτελεί εξωτερική κωδικοποίηση για αυτό το πλαίσιο χρησιμοποιώντας την **Bose-Chaudhuri-Hocquengham–BCH** κωδικοποίηση. Ακολούθως, εκτελείται η εσωτερική κωδικοποίηση σχετικά με αυτό το τροποποιημένο πλαίσιο με την **Low Density Parity Check – LDPC** κωδικοποίηση και παράγει μια σειρά από bits που καλούνται **LDPC-FEC** bits. Ένα μικρό πλαίσιο FEC έχει μήκος 16200 bits και ένα μακρύ πλαίσιο FEC έχει μήκος 64.800 bits.

Η δομή του FEC παρουσιάζεται στο σχήμα 6. Η FEC κωδικοποίηση ακολουθείται από το bit interleaving. Η διαδικασία αυτή γίνεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος, μόνο bits ισοτιμίας είναι διαστρωμένα και στο τέλος όλα τα bits παρεμβάλλονται σε στριφογυριστή στήλη. Αυτό σημαίνει ότι τα bits γράφονται σε μία τροποποιημένη στήλη γράφοντας την θέση για κάθε στήλη που είναι λιγότερο στριφογυριστή (twisted little), και αργότερα τα bits διαβάζονται στις τροποποιημένες γραμμές.

Μετά την διαδικασία του bit interleaving, ακολουθεί η διαδικασία του demux bits to cell, όπου όλα τα κομμάτια από-πολυπλέκονται (de-multiplexes) σε παράλληλα κύτταρα, και αργότερα τα κύτταρα αυτά είναι δυνατόν να απεικονίζονται σε σημεία αστερισμών (**constellation symbols**). Εν συνεχεία γίνεται χαρτογράφηση (**mapping**) των interleaved (διαμορφωμένων) bits σε σύμβολα αστερισμών. Οι διαθέσιμες διακυμάνσεις είναι: **QPSK, 16-QAM, 64-QAM και 256-QAM**.

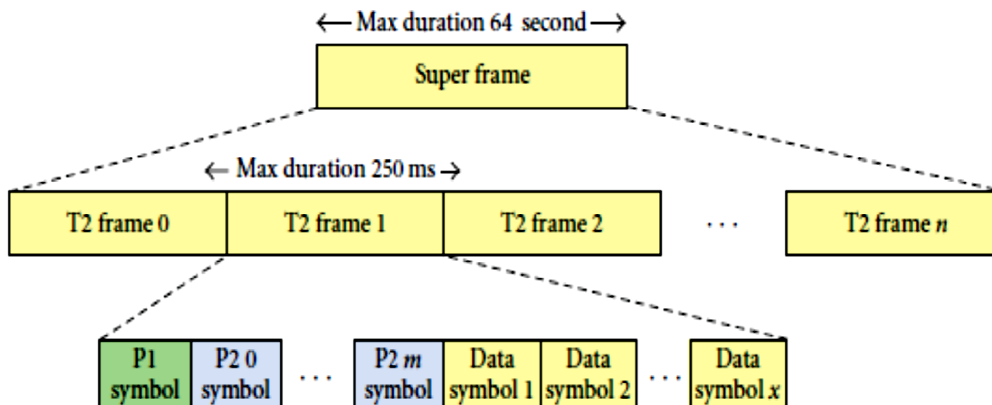
⁵. www.dvb.org. “Modulator interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2).” DVB Document, A136. (2009)



Σχήμα 6. Δομή πλαισίου FEC

2.3.2.3 Frame Builder

Το επόμενο στάδιο στην αλυσίδα του DVB-T2 διαγράμματος είναι το frame builder το οποίο ουσιαστικά δημιουργεί superframes (υπερπλαίσια)⁶. Τα υπερπλαίσια έχουν μήκος 64 δευτερόλεπτα. Ένα superframe υποδιαιρείται εν συνεχεία σε T2 πλαίσια. Ένα πλαίσιο T2 αποτελείται από το ένα P1 σύμβολο προλόγου που ακολουθείται από έναν ή περισσότερα P2 σύμβολα προλόγου. Σύμβολα στοιχείων που λαμβάνονται από το bit interleaving, και την ενότητα κωδικοποίησης και διαμόρφωσης επισυνάπτονται μετά από τα P2 σύμβολα. Τα πλαίσια T2 διαιρούνται περαιτέρω σε σύμβολα OFDM. Αυτά τα σύμβολα OFDM δίνονται έπειτα στην ενότητα γεννητριών OFDM. Η δομή ενός υπερπλαισίου παρουσιάζεται στο σχήμα 7.



Σχήμα 7.
Δομή
Υπερπλαισίου

2.3.2.4 OFDM generator

Δύο τύποι σηματοδότησης συμβόλων

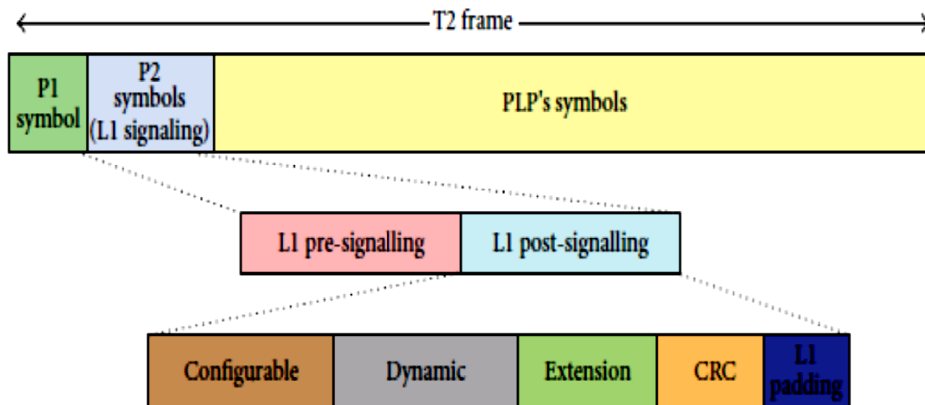
OFDM⁷ χρησιμοποιούνται στο DVB-T2. Είναι (α) P1 σύμβολα και (β) P2 σύμβολα. Η P1 σηματοδότηση συμβόλων χρησιμοποιείται για να δείξει τον τύπο μετάδοσης και τις βασικές παραμέτρους μετάδοσης. Τα περιεχόμενα της P2 σηματοδότησης διαχωρίζονται σε L1 presignalling και L1 postsignalling Η L1 presignalling επιτρέπει υποδοχή και αποκωδικοποίηση της L1

⁶ <http://www.etsi.org>: “Digital video broadcasting (DVB) frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)” ETSI EN 302 755. (2009).

⁷ Jokela, T., Paavola, J., & Turku Centre for Comput. Sci., Turku. (2009). Robustness analysis of physical layer signaling transmission in DVB-T2. *IEEE*,

postsignalling, η οποία αντίστοιχα μεταβιβάζει τις παραμέτρους που απαιτούνται από το δέκτη στην πρόσβαση στους φυσικούς σωλήνες στρώματος. Η L1 postsignalling διαχωρίζεται σε δύο μέρη: διαμορφώσιμη και δυναμική, και αυτά μπορούν να ακολουθηθούν από έναν προαιρετικό τομέα επέκτασης.

Το **CRC** (Constellation rotation and cyclic Q-delay) και padding συμπληρώνουν το πεδίο L1 post signaling. Η δομή ενός L1 signaling απεικονίζεται στο σχήμα 8.



Σχήμα 8. Δομή L1 signaling

Οι διαμορφώσιμες παράμετροι δεν μπορούν να αλλάξουν κατά τη διάρκεια της μετάδοσης ενός υπερπλασίου σε αντίθεση με τις δυναμικές παραμέτρους οι οποίες μπορούν να αλλάξουν μέσα σε ένα υπερπλαίσιο .

Η ενότητα αποδιαμορφωτών του DVB-T2 λαμβάνει ένα, ή περισσότερα RF σήματα και εξάγει μια υπηρεσία μετάδοσης και μια υπηρεσία σηματοδότησης. Με βάση τις πληροφορίες στη ροή σηματοδότησης ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ποια υπηρεσία να λάβει. Κατόπιν μια ενότητα αποκωδικοποιητών ανάλογα με το λαμβανόμενη ροή υπηρεσιών και σηματοδότησης εξάγουν τα αποκωδικοποιημένα στοιχεία σε έναν χρήστη.

2.4 Πρόσθετα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του DVB-T2 σε σχέση με το DVB-T

2.4.1 Ποιοτικές διαφορές προτύπου DVB-T2 με το DVB-T

Τα πρότυπα DVB-T και DVB-T2⁸ έχουν μία μεγάλη χρονική διαφορά κατά την οποία υλοποιήθηκαν. Το πρότυπο DVB-T υλοποιήθηκε σε ένα περιβάλλον ανταγωνιστικών προτύπων ψηφιακής τηλεόρασης και σκοπό είχε τη μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση. Ως εκ τούτου ο σκοπός ήταν να χρησιμοποιηθεί η υπάρχουσα υποδομή και να δημιουργηθεί ένα πρότυπο ανταγωνιστικό με τα υπόλοιπα που αναπτύσσονταν εκείνη την περίοδο όπως τα ATSC, ISDB, ISDTV, DTMB.

Το πρότυπο DVB-T2 ανήκει στη δεύτερη γενιά των προτύπων ψηφιακής τηλεόρασης και σκοπό έχει να αποτελέσει το πρότυπο για τις μελλοντικές υπηρεσίες επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης. Κατά την ανάπτυξη του υπήρχαν ήδη επιτυχημένα πρότυπα ψηφιακής τηλεόρασης μαζί και το προγενέστερο πρότυπο επίγειας τηλεόρασης DVB-T. Οι παράγοντες που λήφθηκαν υπόψη ήταν πως θα μπορούσε να υιοθετηθεί από χώρες που έχουν ήδη σε εφαρμογή το πρότυπο DVB-T και πως θα μπορούσε να υιοθετηθεί σε χώρες χωρίς καθόλου υποδομή ψηφιακής τηλεόρασης.

Σε σύγκριση με το DVB-T το DVB-T2 παρουσιάζει τις μεγαλύτερες διαφορές στον διαμορφωτή όπου αλλάζει εντελώς η ιδεατή θεώρηση του τι μπορεί να είναι η είσοδος στον διαμορφωτή και πως αυτός χειρίζεται κάθε ροή. Εισάγεται η έννοια του αγωγού φυσικού επιπέδου (Physical Layer Pipe, PLP) μία αφηρημένη έννοια η οποία μπορεί να περικλείει ως είσοδο πολλές και ποικίλες εισόδους και αντίστοιχα ορίζονται πολλές λειτουργίες που μπορούν να γίνουν πάνω σε αυτούς τους αγωγούς. Αντίθετα στο DVB-T, η είσοδος στο διαμορφωτή είναι κατά κύριο λόγο μία ροή μεταφοράς MPEG-2. Ακόμα και υπηρεσίες που χρειάζονται διαφορετικές ροές συνήθως ενθυλακώνονται σε ροή μεταφοράς δεδομένων MPEG-2.

2.4.2 Εμπρόσθια διόρθωση λαθών (FEC) και πλαίσια ζωνών βάσης (BaseBand Frames)

Τα στοιχεία που φέρονται μέσα στα Baseband πλαίσια είναι μια ακολουθία ροής δεδομένων MPEG. Εντούτοις, η σηματοδότηση στις επικεφαλίδες των BaseBand πλαισίων είναι πλήρως συμβατή και με τη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων που αφορούν στο IP (internet protocol). Αυτό σημαίνει τη δυνατότητα μετάδοσης πολυμεσικών εφαρμογών καθώς επίσης και HDTV, που χρησιμοποιούν ένα νέο πρωτόκολλο DVB αποκαλούμενο ως γενική ενθυλάκωση ρευμάτων (GSE-generic stream encapsulation).

Η απόδοση της LDPC κωδικοποίησης όπως χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα T2 δίνει μια σημαντική βελτίωση στη λειτουργία του δικτύου σε σχέση με το προηγούμενο πρότυπο DVB-T το οποίο χρησιμοποιεί τη συνελκτική κωδικοποίηση Reed-Solomon. Βελτίωση της τάξης των 3 db στο λόγο φέροντος προς θόρυβο C/N για ένα συγκεκριμένο ποσοστό λάθους και για FEC, αυτή η βελτίωση μπορεί να αυξήσει τη χωρητικότητα του καναλιού μετάδοσης σε ποσοστό 30% .

2.4.3 Interleaving

Το σημαντικότερο βήμα από το DVB-T στο DVB-T2 είναι η εισαγωγή τη έννοιας της χρονικής παρεμβολής λευκών σελίδων, χαρακτηριστικά πάνω από τα 70ms, για να παρέχει την προστασία ενάντια στην παρεμβολή και την εκλεκτική εξασθένιση του σήματος.

Το T2 χρησιμοποιεί τέσσερα στάδια κωδικοποίησης (**interleaving**) **bit**, **cell** και **time interleaving**. Ο στόχος των σταδίων κωδικοποίησης είναι να μεταδοθεί το περιεχόμενο (δεδομένα) κατά τέτοιο τρόπο ώστε ούτε πιθανές παρεμβολές(διαταραχή του σήματος OFDM κατά τη διάρκεια μιας βραχύχρονης περιόδου) ούτε η εκλεκτική εξασθένιση συχνότητας (σε σημεία που το σήμα δε

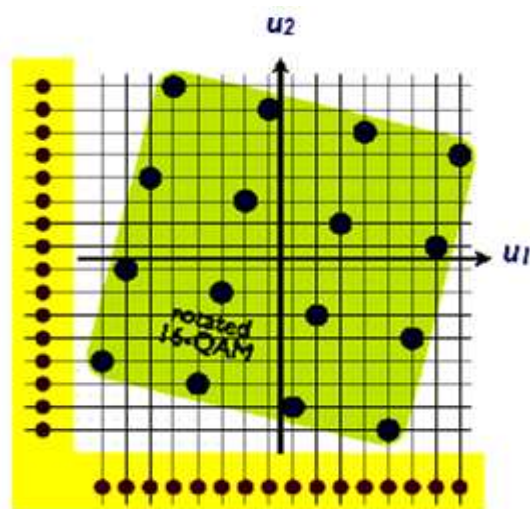
⁸ Reljin, I. S., & Sugaris, A. N. (2009). "DVB standards development". *IEEE*,

«πιάνει» καλά) δεν θα μπορεί να διαγράψει μια μεγάλη ροή δεδομένων. Επιπλέον, το time interleaving βοηθάει σημαντικά στη λειτουργία της κωδικοποίησης ελέγχου λαθών, η οποία δεν προστατεύει όλα τα στοιχεία εξίσου. Σχεδιάζεται έτσι ώστε τα bits που μεταδίδονται από ένα συγκεκριμένο σημείο αστερισμού να μην αντιστοιχούν σε μια ακολουθία διαδοχικών bits της αρχικής ροής δεδομένων.

Ο σκοπός του time interleaving είναι να προστατεύσει μια μετάδοση από τα λάθη σε μια έκρηξη, και ο τεμαχισμός έχει σαν συνέπεια την διαίρεση δεδομένων σε «φέτες» (slices) οι οποίες διαβιβάζονται στα διαφορετικά μέρη ενός πλαισίου T2, το οποίο δίνει την ανοχή στα σύντομα λάθη έκρηξης και ως ένα ορισμένο βαθμό επίσης ενάντια στην αργή εξασθένηση. Αφ' ετέρου αύξηση του αριθμού υπο-φετών αυξάνει τον αριθμό των χρησιμοποιημένων συμβόλων OFDM. Αυτό δίνει την ποικιλομορφία έξτρα χρόνου που είναι σημαντικός στα κινητά κανάλια. Για να γίνει πλήρως κατανοητό ποια τα οφέλη από αυτά τα εργαλεία εξετάσαμε ένα κινητό κανάλι, και εκτελέσαμε προσομοιώσεις στο φυσικό στρώμα όσο και στο στρώμα ζεύξης δεδομένων DVB-T2, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

2.4.4 Αστερισμοί

Το T2 χρησιμοποιεί τη νέα τεχνική «αστερισμών». Οι αστερισμοί προσφέρουν τη δυνατότητα για μια σημαντική βελτίωση στην ευρωστία, ιδιαίτερα στην περίπτωση των επίγειων καναλιών που το σήμα πρέπει να αντιμετωπίσει δυσκολίες. Με την περιστροφή του αστερισμού σε μια προσεκτικά επιλεγμένη γωνία, κάθε σημείο αστερισμού μπορεί να έχει μια μοναδική χαρτογράφηση επάνω σε κάθε άξονα, γνωστό ως u_1 και u_2 , όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



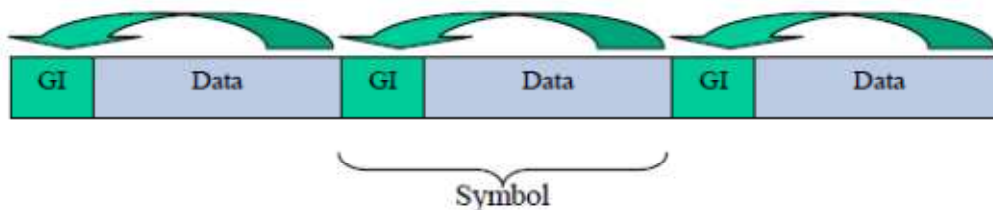
Σχήμα 9. Ανεστραμμένοι σχηματισμοί (rotated constellations)

Τα στοιχεία από κάθε έναν από τους δύο άξονες u_1 και u_2 διαχωρίζονται στο διαμορφωτή, και «ταξιδεύουν» ανεξάρτητα μέσω του σήματος OFDM και συνδυάζονται με u_2 και u_1 στοιχεία από μια διαφορετική κυψέλη (δηλ. οι τιμές των σημείων αστερισμού σε κάθε ένα από τα u_1 και u_2 μεταδίδονται από διαφορετικά φέροντα και από διαφορετικά σύμβολα OFDM. Στο δέκτη, τα u_1 και u_2 τα στοιχεία επανασυνδέονται για να δώσουν τον αρχικό αστερισμό. Κατά αυτόν τον τρόπο, εάν ένα φέρον ή σύμβολο χάνεται λόγω της παρεμβολής, κάποιες πληροφορίες είναι ακόμα διαθέσιμες από τις υπόλοιπες τιμές του άξονα, αν και με μια χειρότερη αναλογία σήματος προς θόρυβο. Η χρήση

της τεχνικής των αστερισμών μπορεί να δώσει ένα σημαντικό κέρδος στην απόδοση (περισσότερο από 5dB) που επιτυγχάνεται κυρίως σε κανάλια με σημαντική εξασθένιση

2.4.5 OFDM Διαμόρφωση

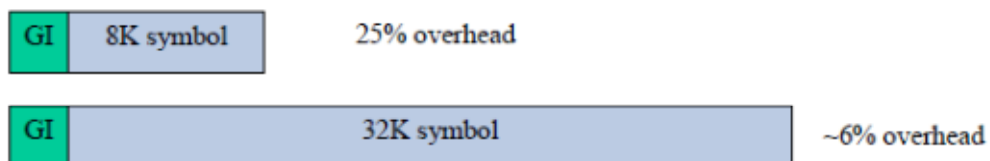
Κατά τη σχεδίαση του προτύπου DVB-T2 αποφασίστηκε η χρήση συμβατικών διαστημάτων φύλαξης (guard intervals) κατά τη διαμόρφωση ορθογώνιας πολυπλεξίας συχνότητας (OFDM) όπως και στο DVB-T.



Σχήμα 10. Λειτουργία των διαστημάτων φύλαξης

Στην GI-OFDM διαμόρφωση κάθε σύμβολο αποτελείται από ξεχωριστά φέροντα σήματα με δεδομένα που διαμορφώνουν το εύρος και την φάση κάθε φέροντος. Π.χ. το DVB-T χρησιμοποιεί δύο σύμβολα OFDM όπως είδαμε το 2K και το 8K.

Αυτοί οι αριθμοί αναφέρονται στο μέγεθος FFT που χρησιμοποιείται για να παράγει το σήμα των πολλαπλών φερόντων. Η προστασία από τη διακοπή των στοιχείων, λόγω της παρουσίας των πολλαπλών διαδρομών κατά τη μετάδοση, παρέχεται με την αντιγραφή της ουράς-τέλους κάθε συμβόλου στην αρχή του συμβόλου όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Το μήκος του διαστήματος φύλαξης που απαιτείται εξαρτάται από την πορεία μετάδοσης και το δίκτυο μετάδοσης. Τα πιο μεγάλα διαστήματα φρουράς απαιτούνται στα δίκτυα μονής συχνότητας (SFN's) όπου τα ισχυρά τμήματα σημάτων μπορούν να εμφανιστούν με μια σημαντική καθυστέρηση σχετικά με την κύρια πορεία σημάτων. Το διάστημα φρουράς ουσιαστικά καταφέρνει να μειώσει την χωρητικότητα που καταλαμβάνουν τα δεδομένα του καναλιού μετάδοσης. Στο DVB-T το μέγιστο μέγεθος του διαστήματος φύλαξης είναι 1/4 για την μετάδοση ενός πακέτου δεδομένων όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Προκειμένου να αυξηθεί το μέγιστο μήκος του διαστήματος φύλαξης χωρίς να αυξηθεί το overhead, το T2 έχει εισαγάγει 16K και 32K σύμβολα OFDM. Η αύξηση του αριθμού φερόντων αυξάνει την περίοδο συμβόλων σε ένα σύστημα OFDM. Το σχήμα 11 επεξηγεί απλά πώς το overhead μπορεί να μειωθεί για ένα δεδομένο μέγεθος του διαστήματος φρουράς



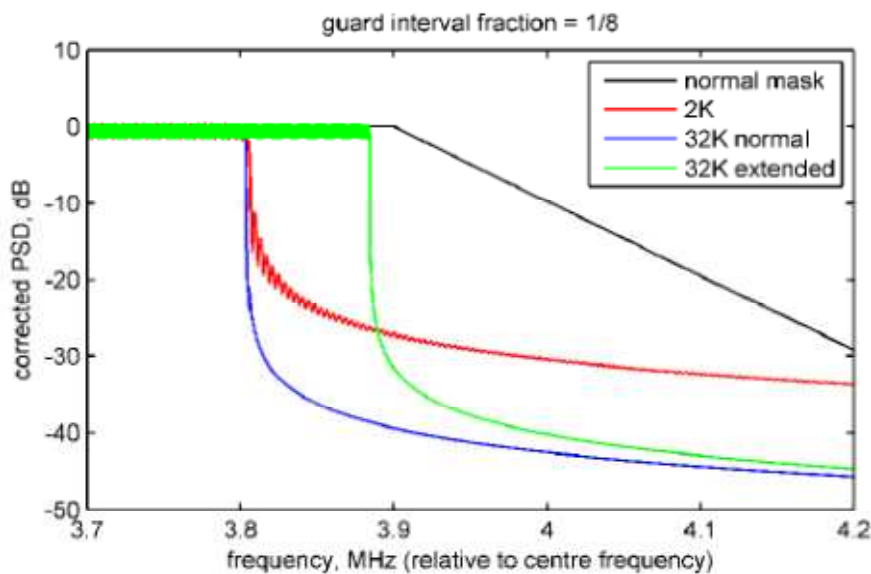
Σχήμα 11. Το DVB-T2 χρησιμοποιεί μεγαλύτερα σύμβολα για τη μείωση του overhead που σχετίζεται με το διάστημα φύλαξης

Στο DVB-T2, η μέγιστη τιμή του διαστήματος φύλαξης που μπορεί να επιτευχθεί είναι στο 32K σύμβολο με ένα κλασματικό διάστημα φύλαξης του 19/128. Το διάστημα φρουράς υπερβαίνει έτσι τα 500μs που είναι επαρκές για την εφαρμογή ενός μεγάλου εθνικού SFN. Το T2 προσφέρει μια σειρά από αριθμούς φερόντων (μεγέθη FFT) και των επιλογών διαστήματος φύλαξης. Αυτοί είναι:

- μεγέθη FFT: 1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K
- κλασματικά διαστήματα φύλαξης : 1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4.

Στο DVB-T, ο υψηλότερος διαθέσιμος ρυθμός διαμόρφωσης είναι 64 QAM που μπορούν να φέρουν 6 bits ανά πακέτο δεδομένων. Στο T2, ο υψηλότερος τρόπος διαμόρφωσης αυξάνεται στα 256 QAM που μπορούν να φέρουν 8 bits ανά πακέτο δεδομένων. Αν και αυτός ο μεγαλύτερος αστερισμός είναι πιο ευαίσθητος σε λάθη που εισάγονται από το θόρυβο, η βελτιωμένη απόδοση του LDPC- FEC επιτρέπει την αύξηση περίπου 30% όπως είπαμε, στην χωρητικότητα του καναλιού μετάδοσης σε σχέση με το DVB-T κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

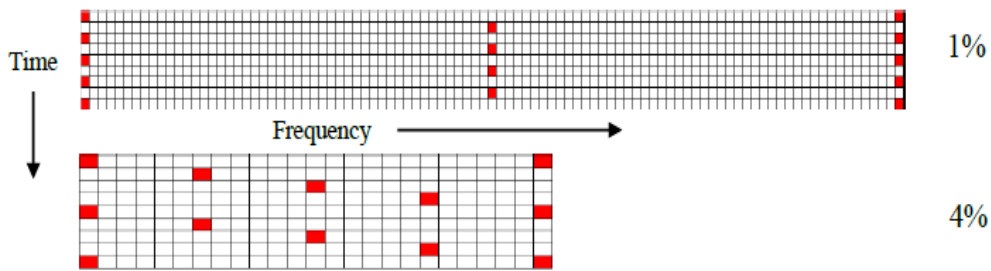
Για τα νέα σύμβολα 16K και 32K στο T2, το φάσμα εκτός της συχνότητας μετάδοσης μειώνονται γρηγορότερα από ότι για το 2K στο DVB-T. Όπως φαίνεται στο σχήμα, αυτό αντιμετωπίζεται στο T2 με την επέκταση του αριθμού των συμβόλων. Αυτή η εκτεταμένη χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης δίνει μια αύξηση 2% στη χωρητικότητας δεδομένων έναντι του DVB-T.



Σχήμα 12. Θεωρητικό φάσμα για DVB-T2 σήματα (8 MHz κανάλι μετάδοσης)

2.4.6 Scattered Pilots (δισπαρμένοι πιλότοι)

Στα συστήματα OFDM, οι δισπαρμένοι πιλότοι είναι κυψέλες του OFDM για μια συγκεκριμένη τιμή εύρους και φάσης που χρησιμοποιούνται από το δέκτη για να αντισταθμίσουν τις απώλειες των καναλιών από την αλλαγή της συχνότητας και της χρονικής μεταβολής. Στο DVB-T, 1 από τις 12 κυψέλες OFDM χρησιμοποιείται σαν δισπαρμένος πιλότος – αυτό σημαίνει περίπου 8 % overhead. Αυτό το σχέδιο των δισπαρμένων πιλότων χρησιμοποιείται για όλες τις τιμές διαστημάτων φύλαξης στο DVB-T, και έτσι το σχέδιο πρέπει να είναι τέτοιο ώστε κατά την αποδιαμόρφωση να είναι σε θέση να εξισώσει τα κανάλια που απαιτούν ένα διάστημα φρουράς του 1/4. Εντούτοις, η μεγάλη χρήση δισπαρμένων πιλότων οδηγεί στη μείωση του εύρους ζώνης και μια σπατάλη που δε χρειάζεται για να καταφέρουμε την εξομάλυνση των καναλιών. Συνεπώς, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η σπατάλη το T2 εισάγει την δυνατότητα επιλογής 8 πιλότων. Για διαφορετικό διάστημα φρουράς υπάρχει και ο αντίστοιχος αριθμός δισπαρμένων πιλότων που επιλέγονται ανάλογα με το χρόνο μετάδοσης του καναλιού. Δύο παραδείγματα δισπαρμένων πιλότων βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 13. Τυπικό μοτίβο διάσπαρτων πιλότων DVB-T2 σε σχέση με το overhead

2.4.7. Peak to Average Power Reduction (PAPR)

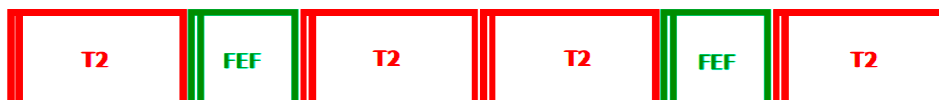
Τα συστήματα OFDM δίνουν μια υψηλή αναλογία μέγιστης-προς-μέση δύναμη και αυτό μπορεί να μειώσει την αποδοτικότητα του ενισχυτή RF. Το T2 περιλαμβάνει τη χρήση δύο τεχνικών που μπορούν να μειώσουν το PAPR (peak to average power reduction), και να επιτρέψουν μια μείωση της μέγιστης εκτίμησης δύναμης ενισχυτών περίπου 20%. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια σημαντική αποταμίευση στο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Οι δύο τεχνικές που περιλαμβάνονται στο T2 είναι:

- «Διατήρηση παλμού», όπου 1% των φερόντων σημάτων δεν μεταφέρουν κάποια δεδομένα από τον πομπό αλλά χρησιμοποιούνται για να παρεμβάλουν τιμές που θα μειώσουν τα peak του τελικού σήματος.
- «ενεργή επέκταση αστερισμού», όπου κάποιες τιμές από τα σημεία αστερισμού κινούνται «εξωτερικά» με τέτοιο τρόπο ώστε να προκαλέσουν μια μείωση των peaks σημάτων. Δεδομένου ότι τα σημεία αστερισμού στις άκρες κινούνται πάντα μόνο εξωτερικά, αυτό δεν έχει κανέναν σημαντικό αντίκτυπο στη δυνατότητα του δέκτη να αποκωδικοποιήσει τα δεδομένα.

2.4.8 Future Extension Frames (FEF)

Η προδιαγραφή T2 περιλαμβάνει δύο πρόσθετα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που μπορούν να παρέχουν το πεδίο για τη μελλοντική επέκταση.

Αρχικά, η δομή T2-πλαισίων περιλαμβάνει τη διάταξη για την επισήμανση μερικών αχρησιμοποίητων πλαισίων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να φέρουν τα σήματα που δεν έχουν ακόμα προσδιοριστεί. Το περιεχόμενο αυτών των «μελλοντικών πλαισίων επέκτασης» (Future Extension Frames) **FEF** δεν έχει διευκρινιστεί, αλλά με τη την κατάλληλη σηματοδότηση μέσα στο πρότυπο T2, οι δέκτες πρώτης γενιάς δεν κάνουν χρήση αυτής της επέκτασης αλλά μπορεί να είναι συμβατό με καινούριες τεχνολογίες στο μέλλον.



Σχήμα 14. Εισαγωγή των FEF πλαισίων ανάμεσα από τα T2 πλαίσια.

2.4.9 Χρονικός Τεμαχισμός συχνότητας (TFS)

Το T2 περιλαμβάνει επίσης τη σηματοδότηση που απαιτείται για τη μελλοντική εφαρμογή του χρονικού τεμαχισμού συχνότητας (TFS). Ενώ η βασική προδιαγραφή είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε το σήμα να λαμβάνεται από μόνο ένα δέκτη χωρίς τη χρήση του TFS, έχουν συμπεριληφθεί μελλοντικές δυνατότητες στο πλαίσιο της σηματοδότησης ώστε να καταστεί δυνατή η λήψη από 2 δέκτες για να κάνουν χρήση του TFS, η οποία επιτρέπει σε ένα σήμα να εξαπλωθεί σε αρκετά (μη-γειτονικά) RF κανάλια. Ο δέκτης θα μπορεί να «αντλήσει» από κανάλι σε κανάλι για να πάρει τα στοιχεία που απαιτούνται για την υπηρεσία του. Αυτό επιτρέπει σε πολλούς σταθμούς να συνδυάζονται και έτσι να είναι αποτελεσματικοί, που σημαίνει ότι το μέγεθος του συνόλου των πολυπλεκτών είναι πολύ μεγαλύτερο από ό, τι είναι δυνατό με ένα μόνο κανάλι, και αυτό με τη σειρά του μπορεί να παρέχει σημαντικό κέρδος στη πολυπλεξία υπηρεσιών, καθώς και ένα κέρδος στο σχεδιασμό συχνότητων.

2.4.10 ΠΟΙΚΙΛΟΜΟΡΦΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ

Αν και το DVB-T υποστηρίζει τα δίκτυα ενιαίας συχνότητας (SFNs), η παρουσία σημάτων ίδιας ισχύος από δύο πομπούς σε ένα δίκτυο προκαλεί μια σημαντική απώλεια επειδή το προκύπτον κανάλι μπορεί να έχει σημαντικές παρεμβολές.

Το DVB-T2 ενσωματώνει την τεχνική Alamouti με ένα ζευγάρι συσκευών αποστολής σημάτων. Το Alamouti είναι ένα παράδειγμα μιας εισαγωγής πολλών στοιχείων και εξόδου ενός στοιχείου (MISO). Κάθε πομπός διαβιβάζει κάθε σημείο αστερισμού, αλλά ο δεύτερος πομπός μεταδίδει μια ελαφρώς τροποποιημένη έκδοση κάθε ζευγαριού των αστερισμών, και την αντίστροφη σειρά της συχνότητας. Η κωδικοποίηση, μαζί με έναν διπλασιασμό του σχεδίου πιλότων συνδυάζουν με τον καλύτερο τρόπο τους δυο «δρόμους» υποδοχής. Με τη τεχνική αυτή επιτυγχάνεται μια αύξηση της περιοχής κάλυψης κατά 30 % σε ένα απλό δίκτυο SFN.

Παράμετρος	DVB-T2	DVB-T
Προστασία σφαλμάτων (FEC)	LDPC + BCH	Convolutional + RS(reed Solomon)
PLP	ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ	ΜΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ
Σύμβολα προλόγου	ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ	ΜΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ
FEF PART	ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ	ΜΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ
Ρυθμός κωδικοποίησης	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
Διαμορφώσεις	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Διάστημα φύλαξης (G.I.)	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Σύμβολα OFDM (FFT μεγέθη)	1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K	2K, 8K
Ποσοστό διασκορπισμένων πιλότων	1%, 2%, 4%, 8%	8%

Ποσοστό συνεχών πιλότων	0,35%	2,6%
Εύρος καναλιών μετάδοσης	1,7, 5, 6, 7, 8,10 Mhz	5, 6, 7, 8 MHz
Μέγιστος ρυθμός δεδομένων	50,34 Mbit/s	31,66 Mbit/s
PARP REDUCTION	ACR ΚΑΙ TR ΤΕΧΝΙΚΕΣ	ΜΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ

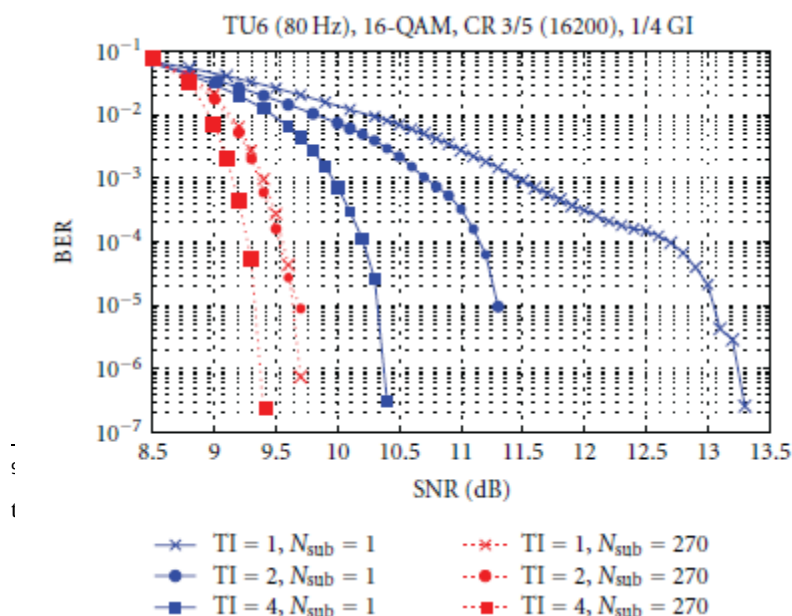
Πίνακας 1. Συνοπτικά οι παράμετροι λειτουργίας των DVB-T2 και DVB-T

2.5 Μελέτη του DVB-T2 για κινητή μετάδοση

2.5.1 Φυσικό στρώμα

Για να μελετηθεί η καταλληλότητα του DVB-T2 προτύπου για την κινητή και φορητή υποδοχή και για να βρεθούν σχετικοί συνδυασμοί παραμέτρων έγινε η παρακάτω προσομοίωση. Η προσομοίωση μελετάει πώς με τη χρήση του time interleaving, και τη τεχνική FEC αντιμετωπίζονται τα λάθη στα κανάλια.

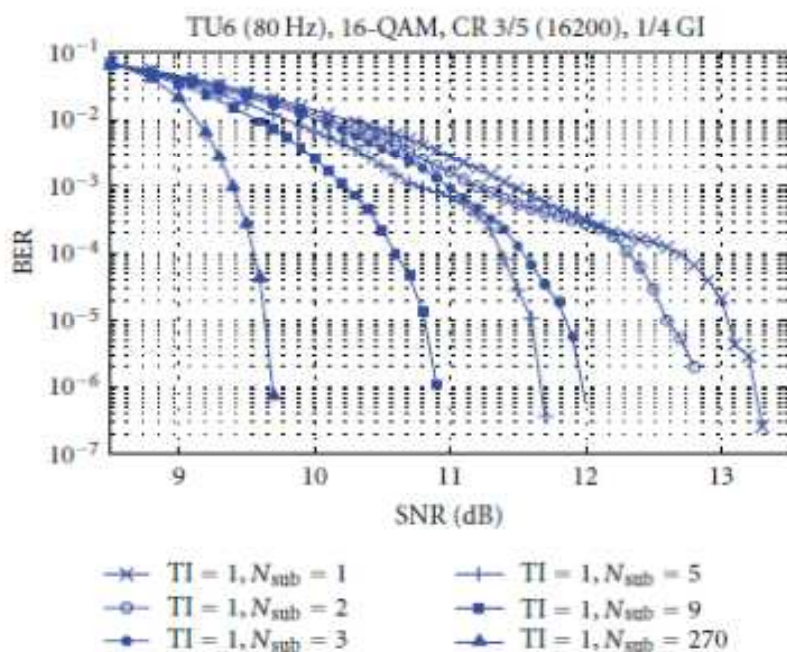
Το πρότυπο χρησιμοποιεί τον ιδανικό συγχρονισμό με την ιδανική εκτίμηση καναλιών και ένα ιδανικό demapper ώστε να ωφεληθεί από τις χωρίς λάθη πληροφορίες για τους περιστρεφόμενους αστερισμούς. Οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούν τη μετάδοση δώδεκα όμοιων PLP's με το ροή μετάδοσης υπηρεσιών στο 1 MBIT/s που καλύπτουν το σενάριο μιας κινητής broadcast μετάδοσης. Για την προσομοίωση, χρησιμοποιήθηκαν τα μακρά πλαίσια FEC. Το μέγιστο μήκος πλαισίου T2 είναι 250ms και περιλαμβάνουν τα κοντά πλαίσια FEC (16200 bits). Οι παράμετροι διαμόρφωσης είναι 16 QAM, μέγεθος FFT 8 K, ρυθμός κωδικοποίησης CR 3/5 και 1/4 το διάστημα φρουράς(guard interval). Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε P1 και ανεστραμμένοι αστερισμοί. Σαν κανάλι μετάδοσης υιοθετήθηκε το TU6 80Hz. Όλοι οι υπολογισμοί λάθους έγιναν με τον υπολογισμό μέσου όρου των μεμονωμένων ποσοστών λάθους ελαχιστοποιώντας τις παραλλαγές λόγω του δυναμικού καναλιού. Στο σχήμα 15, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για διαφορετικές τιμές του time interleaving και τιμών τεμαχισμού. Μπορεί να γίνει σαφές ότι με την αύξηση του μήκους time interleaving και του αριθμού subslices (υπο-φετών) η απόδοση του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί.



eira, P. (2010). "Laboratory tests for broadcasting (BMSB),

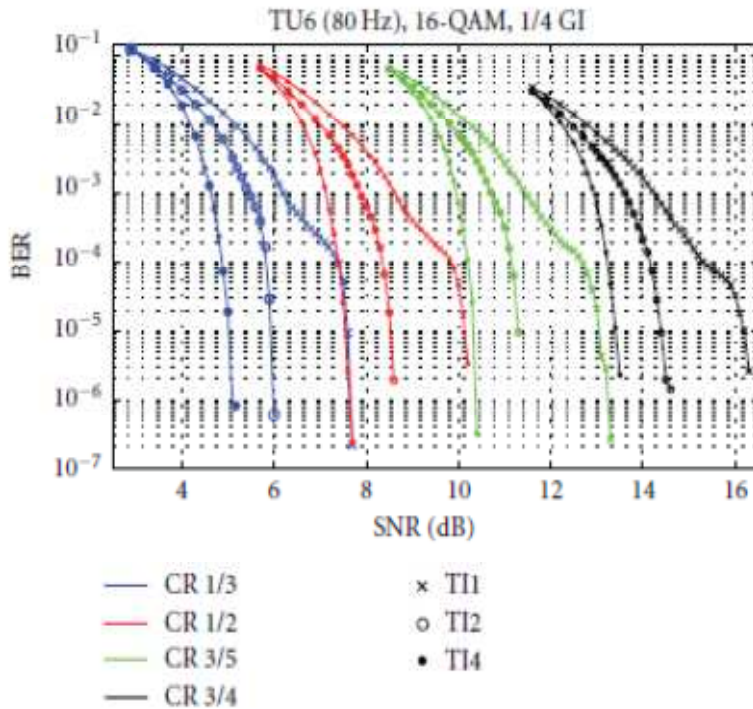
Σχήμα 15. Σύγκριση time interleaving και τεμαχισμού (subslicing).

Ο υψηλότερος πιθανός αριθμός υποφετών, 270, είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό συμβόλων OFDM σε ένα πλαίσιο T2, το οποίο σημαίνει τη συνεχή μετάδοση με επιτυχία. Αυτό το «πλήρες» σενάριο δίνει πάντα μια καλύτερη απόδοση συγκρινόμενη στην ενιαία περίπτωση υπο-φετών. Είναι επίσης κατανοητό ότι η αύξηση του μήκους του time interleaving δεν βελτιώνει σημαντικά την απόδοση με πλήρες υποτεμαχισμό επειδή οι περισσότερες χρονικές ποικιλομορφίες εξακολουθούν να υπάρχουν ακόμη και με τον κοντύτερο interleaver. Επιπλέον, στο σχήμα 16, παρουσιάζεται η λειτουργία subslicing (υποτεμαχισμού) χωρίς τη σύγκριση με το time interleaving.



Σχήμα 16. TU6 80Hz: Σύγκριση τεμαχισμού (subslicing).

Η απόδοση των διαφορετικών ρυθμών κωδικοποίησης FEC με διαφορετικό time interleaving παρουσιάζεται στο σχήμα 17. Τα αποτελέσματα σαφώς δείχνουν ότι το DVB-T2 είναι καλά εξοπλισμένο με τα εργαλεία τα οποία μπορούν να βελτιώσουν την κινητή broadcast αναμετάδοση. Εντούτοις, αυτό που είναι σημαντικό είναι η επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων. Η χρήση του τεμαχισμού πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά λόγω της περιορισμένης κατανάλωσης ισχύος των φορητών τερματικών.



Σχήμα 17. (TU6 80Hz): Σύγκριση μεταξύ διαφορετικών τιμών code rate και time interleaving

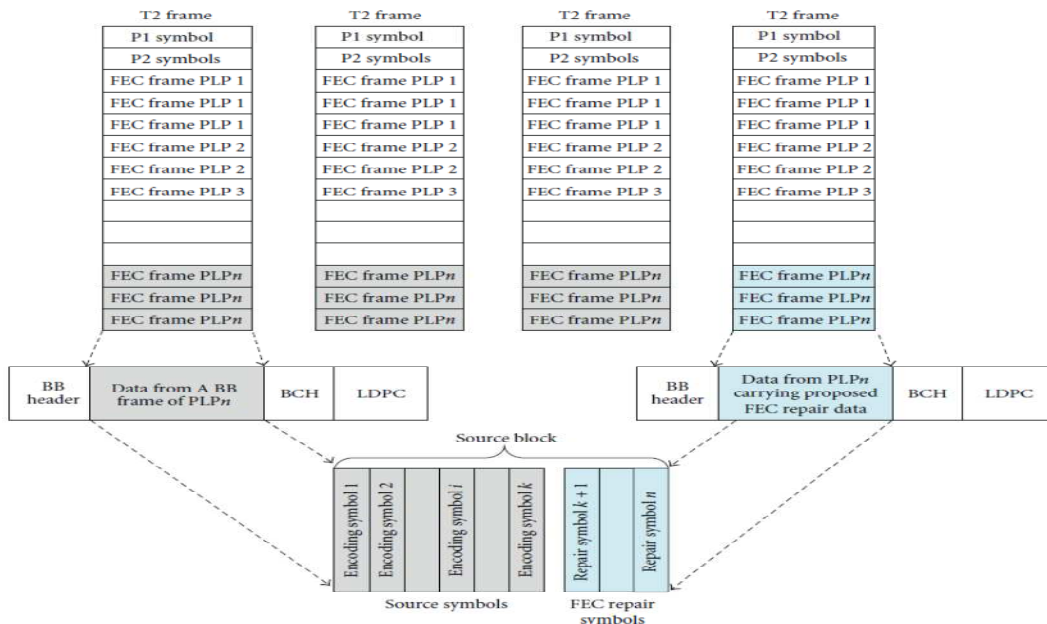
Ένας μεγάλος αριθμός υπο-φετών σημαίνει πίο μακροχρόνια μετάδοση στον αέρα. Στον πίνακα 2, ο μέσος έγκαιρος αριθμός από τις υποφέτες παρουσιάζεται. Παραδείγματος χάριν, η χρησιμοποίηση εννέα υπο-φετών οδηγεί στην αύξηση 45% έναντι μιας υποφέτας, συνεπώς οδηγεί σε υψηλότερη κατανάλωση ισχύος από έναν κινητό δέκτη. Μια σωστή επιλογή ώστε να επιτευχθεί μια καλή χρονική ποικιλομορφία και χαμηλή κατανάλωση ισχύος είναι να χρησιμοποιηθεί πλήρης μέθοδος subslicing και να διαβιβάσει τα PLP's στα πλαίσια T2 περιοδικά με κάποιο διάστημα. Στο T2 η προδιαγραφή, αυτή επιτρέπεται από την παράμετρο διαστήματος πλαισίων. Επιπλέον, για τις υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο το συνολικό μήκος του time interleaving περιορίζεται μέχρι τον απαραίτητο χρόνο εναλλαγής καναλιών, το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο για τους χρήστες. Μεγαλύτερος ρυθμός FEC κωδικοποίησης καταναλώνει μεγαλύτερο εύρος ζώνης (bandwidth). Είναι γνωστό ότι το time interleaving καθώς επίσης και διόρθωση λαθών μπορεί να εκτελεσθούν επίσης από τα ανώτερα στρώματα γεγονός που δίνει μεγαλύτερη ευελιξία στο σύστημα.

N_{sublices}	Avg. on-time [%]	Avg. on-time per frame [ms]
1	8.0	20.0
2	8.5	21.2
3	8.9	22.3
5	9.8	24.5
9	11.6	29.0
270	92.4	230.0

Πίνακας 2. Αριθμός υπο-φετών και μέσοι χρόνοι μετάδοσης

2.5.2. Στρώμα ζεύξης δεδομένων (BB-FEC (base-band FEC))

Στο BB-FEC, το FEC πλαίσιο δημιουργείται από δεδομένα στα K Πλαίσια του BB¹⁰. Ο αριθμός σειρών, όπου κάθε σειρά είναι ένα bit, είναι ίσος με το μέγεθος τομέων δεδομένων του BB που αντιστοιχούν στα στοιχεία ενός πλαισίου του BB, αποκλείοντας την επιγραφή των BB, BCH, LDPC bits διόρθωσης. Αυτό σημαίνει ότι το ωφέλιμο φορτίο ενός πλαισίου BB (χωρίς bits διόρθωσης FEC) απεικονίζεται σε ένα FEC σύμβολο πηγής. Έπειτα, η κωδικοποίηση FEC εκτελείται



Σχήμα 18. Παράδειγμα κατασκευής ενός FEC πίνακα στο στρώμα ζεύξης δεδομένων

για να παραγάγουν τα σύμβολα διόρθωσης. Τα σύμβολα διόρθωσης που προκύπτουν τίθενται σε έναν νέο πλαίσιο BB. Η όλη δομή λειτουργίας του FEC παρουσιάζεται στο σχήμα 18. Το πλεονέκτημα του BB-FEC σε σχέση με το MPE-FEC οφείλεται στο γεγονός ότι γίνεται χαρτογράφηση μιας στήλης σε ακριβώς ένα πλαίσιο FEC και έτσι ο τεμαχισμός των λαθών μεταξύ πολλών στηλών αποφεύγεται. Παρακάτω μελετάμε εκτενέστερα τον αλγόριθμο χαρτογράφησης στα BB πλαίσια για την αντιμετώπιση των λαθών.

2.5.3 Περαιτέρω βελτιστοποίηση

Όπως είδαμε παραπάνω, αποδείχθηκε ότι χρησιμοποιώντας FEC διόρθωση, και με το κατάλληλο σχεδιασμό μπορούμε να πετύχουμε μια μετάδοση αποδοτική. Εντούτοις, είναι επίσης σημαντικό να γίνεται και εξοικονόμηση του εύρους ζώνης ώστε να χρησιμοποιούνται και οι ακριβοί πόροι αποτελεσματικά. Ο ρυθμός απόδοσης (throughput) των δεδομένων μεγιστοποιείται με τη μείωση του overhead χωρίς απώλεια της λειτουργικότητας ή ελαχιστοποιώντας το padding με τον κατάλληλο σχεδιασμό δεδομένων. Εδώ παραθέτουμε το πώς επιτυγχάνουμε περαιτέρω αύξηση του εύρους ζώνης συμπιέζοντας το IP/UDP header .

¹⁰ <http://www.etsi.org>: "Digital Video Broadcasting (DVB): Specification for the use of Video and Audio Coding in DVB services delivered directly over IP protocols". ETSI TS 102 005 V1.4.1,

2.5.3.1 Συμπύεση επιγραφών

Το εύρος ζώνης καναλιών είναι περιορισμένο¹¹, γεγονός που απαιτεί την χρήση του με το πιο αποτελεσματικό τρόπο. Όταν τα δεδομένα προετοιμάζονται για τη μετάδοση κάθε στρώμα προσθέτει την επιγραφή του για να βοηθήσει κατάλληλα στην αποκωδικοποίηση των λαμβανόμενων στοιχείων. Μέρη των στοιχείων των επιγραφών μπορούν να μειωθούν ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε μετάδοσης. Αυτά τα φορτία πρωτοκόλλων, μπορούν να ελαχιστοποιηθούν χωρίς να επηρεαστεί η αποτελεσματικότητα, «κόβοντας» τις επικεφαλίδες ανάλογα με τις ανάγκες της μετάδοσης με αποτέλεσμα να αυξάνεται το εύρος καναλιού σημαντικά.

Τα δεδομένα διαβιβάζονται μέσω του Διαδικτύου χρησιμοποιώντας τα πρωτόκολλα όπου επιτρέπουν μια πορεία με πολλαπλούς προορισμούς. Κατά συνέπεια, οι επικεφαλίδες των πρωτοκόλλων είναι σημαντικές για να εξασφαλίσουν αξιόπιστη ανταλλαγή δεδομένων μέσα από ένα κανάλι επικοινωνίας με αυτούς τους προορισμούς. Εντούτοις, σε περίπτωση προορισμού προς προορισμό όπου μόνο μια σύνδεση υπάρχει, όπως το DVB-T2, πολλοί από τους τομείς επιγραφών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στο παραδοσιακό Διαδίκτυο, δεν εξυπηρετούν κανέναν χρήσιμο σκοπό και είναι περιττοί.

Στο σύστημα DVB το φορτίο των διαβιβασθέντων στοιχείων συνήθως περιλαμβάνει 8 bits για την επιγραφή UDP, που παρουσιάζονται στον πίνακα 2, 40 bits για την επιγραφή IP, που παρουσιάζονται στον πίνακα 3, και 7 έως 10 bits στην επιγραφή GSE, 2 bits για την επιγραφή MPE και 4 bits του κέντρου ανίχνευσης και ελέγχου (CRC), ή 4 bits της επιγραφής ULE και 4 bits του κέντρου ανίχνευσης και ελέγχου. Εάν χρησιμοποιείται MPE ή ULE ως μεταφορέας IP τότε, προστίθενται 4 bits στην επικεφαλίδα TS(transport stream) για κάθε 184 bits των στοιχείων. Εάν ο μέσος όρος της μονάδας στοιχείων πρωτοκόλλου (PDU), παραδείγματος έχει μέγεθος 1000 bits, το φορτίο είναι 55 ή 58 bits όταν χρησιμοποιείται GSE, 88 bits όταν χρησιμοποιείται MPE στο TS, και 84 bits όταν χρησιμοποιείται ULE πάνω στο TS. Επιλέγοντας GSE αντί MPE πάνω σε μια ροή μετάδοσης μπορεί ήδη να φέρει 35-37% επιπλέον μείωση με την ίδια απόδοση λαθών. Εντούτοις, σε όλες τις περιπτώσεις το μεγαλύτερο μέρος των φορτίων είναι η επιγραφή IP/UDP που καταλαμβάνει 48 bits για κάθε πακέτο στοιχείων ανεξάρτητα από το μέγεθός της.

Οι πληροφορίες των επιγραφών στοιχείων IP/UDP χρησιμοποιούνται μετά βίας για point-to-point μετάδοση. Η επικεφαλίδες πληροφοριών που μεταδίδονται μέσω IP μπορούν να εξαχθούν από το χαμηλότερο στρώμα ή έξω από τη σηματοδότηση. Το μεγάλο μέρος της επικεφαλίδας IP και οι τομείς κεφαλίδων UDP είναι σταθεροί και επαναλαμβανόμενοι από πακέτο σε πακέτο. Υπάρχουν πολλά σχέδια συμπίεσης επικεφαλίδων που υιοθετούνται από τους διάφορους οργανισμούς τυποποίησης συμπεριλαμβανομένου του 3GPP και 3GPP2. Εντούτοις, αυτές οι τεχνολογίες υποθέτουν την ύπαρξη του καναλιού επιστροφής που αποκλείει τη χρήση τους από το πρότυπο broadcast μετάδοσης DVB-T2. Επομένως, ένας νέος σχεδιασμός πρέπει να δημιουργηθεί που να απευθύνεται στο DVB-T2.

Bits Offset	0–15	16–31
0	Source Port	Destination Port
32	Length	Checksum

¹¹ Lukasz Kondrad,1 Vinod Kumar Malamal Vadakital, Imed Bouazizi, Miika Tupala, Moncef Gabbouj1. (2010). “Cross-layer optimization of DVB-T2 system for Mobile services”. *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting*,

Πίνακας 3. UDP επικεφαλίδα

Bits Offset	0–7	8–15	16–23	24–31
0	Version	Traffic Class	Flow Label	
32	Payload Length		Next Header	Hop Limit
64	Source Address			
96				
128				
160				
192	Destination Address			
224				
256				
288				

Πίνακας 4. IPv6 επικεφαλίδα

Οι τομείς της IPv6 επικεφαλίδας όπως η κατηγορία κυκλοφορίας, ετικέτα ροής, η επόμενη επικεφαλίδα, το όριο προορισμού, και η διεύθυνση προέλευσης είναι στατικές για κάθε πακέτο και θα μπορούν να σταθούν εκτός της ζώνης. Η λειτουργία των υπόλοιπων τριών τομέων **Version, Payload Length, and Destination Address**, θα μπορούσαν να μετατοπιστούν σε χαμηλότερα στρώματα. Εάν αυτό γίνει, κατόπιν ολόκληρη η επιγραφή IP θα ήταν περιττή και θα μπορούσε να διαγραφεί. Παρόμοια με την επικεφαλίδα IPv6, μέσα στη UDP επικεφαλίδα, ο τομέας πηγής θα μπορούσε να διαβιβαστεί εκτός ζώνης και η αξία μήκους να εξάγεται από τα χαμηλότερα στρώματα. Στον πίνακα 5, παρουσιάζεται ένα πιθανό κέρδος, όταν χρησιμοποιείται η συμπίεση επικεφαλίδων IP/UDP. Μπορούμε να δούμε ότι το μέγεθος του διαβιβαζόμενου PDU πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερο. Επιπλέον, εάν τα φορτία ληφθούν υπόψη το GSE πρέπει να χρησιμοποιηθεί ως μέθοδος ενθυλάκωσης. Με κατάλληλη χρήση επιλογής πακέτων ενδιάμεσου μεγέθους APS (average packet size) καθώς επίσης και η χρήση της μεθόδου ενθυλάκωσης το κέρδος μπορεί να είναι σημαντικό, από 41% όταν το APS είναι 100 bits και το MPE χρησιμοποιείται, σε 3.98%, όταν το APS είναι 1400 bits και το GSE χρησιμοποιείται.

Average Packet Size [bytes]	Uncompressed IP/UDP headers			Compressed IP/UDP headers		
	MPE [%]	ULE [%]	GSE [%]	MPE [%]	ULE [%]	GSE [%]
100	41,52	38,65	36,71	21,26	15,97	12,28
200	28,06	25,93	22,48	14,53	11,50	6,54
400	17,53	16,14	12,66	9,30	7,62	3,38
600	13,29	12,28	8,81	7,41	6,25	2,28
800	11,01	10,21	6,76	6,43	5,55	1,72
1000	9,58	8,93	5,48	5,84	5,12	1,38
1200	8,61	8,05	4,61	5,44	4,84	1,15
1400	7,89	7,41	3,98	5,15	4,63	0,99

Πίνακας 5. Φορτία Μετάδοσης

Περαιτέρω, εάν η επιγραφή IP/UDP είναι συμπιεσμένη το φορτίο φτάνει κάτω από το 1%. Εάν δύο ακραίες περιπτώσεις συγκριθούν τότε η διαφορά στο throughput μπορεί να φτάσει και στο 40%.

2.5.3.2 Ενθυλάκωση IP

Λάθη μετάδοσης κατά την αποκωδικοποίηση μετά το φυσικό στρώμα γίνεται στο επίπεδο πλαισίων του BB. Υποτίθεται ότι εάν η συνδυασμένη αποκωδικοποίηση BCH/LDPC FEC αποτύχει, τότε ολόκληρο το πλαίσιο του BB θεωρείται χαμένο. Για να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες των πλαισίων του BB, προτείνεται ένας αλγόριθμος σχεδιασμού στα πλαίσια του BB για την καλύτερη μετάδοση δεδομένων. Ο αλγόριθμος αποτελείται από ένα preprocessor (προεπεξεργαστή) στην αλυσίδα μετάδοσης του DVB-T2. Ο αλγόριθμος διατίθεται σε κάθε PLP προκειμένου να λειτουργήσει στα πακέτα δεδομένων που περιέχονται στους PLP's σωλήνες.

Με την αποφυγή του τεμαχισμού των πακέτων IP που περιέχουν δεδομένα υψηλής σπουδαιότητας επιτυγχάνουμε βελτιωμένη ανθεκτικότητα στο λάθος. Επιπλέον, το time interleaving εφαρμόζεται στα IP πακέτα που περιέχουν τα πακέτα δεδομένων υψηλής σπουδαιότητας. Το time interleaving¹² μεταδίδει τα πακέτα μέσω μιας μονάδας πρόσβασης στα πολλαπλά πλαίσια T2. Συνεπώς, οι απώλειες που θα υπάρξουν πιθανόν να μην έχει επιπτώσεις στην πλήρη μονάδα πρόσβασης. Για παράδειγμα, μια εικόνα αναζωογόνησης IDR που αποτελείται από αρκετές φέτες θα χαρτογραφηθεί τελικά σε διάφορα πλαίσια του BB που βρίσκεται στα πολλαπλάσια πλαίσια T2. Τα λάθη μετάδοσης μπορούν να αλλοιώσουν ένα σύνολο διαδοχικών πλαισίων του BB κατά τη διάρκεια μιας έκρηξης. Λόγω του ότι ο αντίκτυπος της απώλειας ενός συνόλου διαδοχικών πλαισίων του BB είναι λιγότερο σημαντική από την απώλεια των σημείων τυχαίας προσπέλασης, το time interleaving περιορίζει τον απαραίτητο αρχικό χρόνο και κρατάει το χρόνος διακοπής των καναλιών μέσα σε μια αποδεκτή σειρά. Ο αριθμός των T2 πλαισίων που χρησιμοποιούνται για το time interleaving του σημείου τυχαίας προσπέλασης και η σχετική ομάδα εικόνων είναι περιορισμένα σε 1 έως 1.5 δευτερόλεπτα. Με ένα χαρακτηριστικό πλαίσιο T2 διάρκειας 250 ms, ο συνολικός αριθμός των πλαισίων T2 που χρησιμοποιούνται για το time interleaving σε μια ομάδα εικόνων είναι από 4 έως 6 πλαίσια T2.

Το μέγεθος των δεδομένων σε ένα BB πλαίσιο για μια συγκεκριμένη υπηρεσία εξαρτάται από το επιλεγμένο σχέδιο διαμόρφωσης και ποσοστό κωδικοποίησης FEC του

¹² David Gozávez, David Vargas, David Gómez-Barquero, Narcís Cardona. (2010). "Performance evaluation of DVB-T2 time interleaving in mobile environments." *IEEE*

φυσικού στρώματος. Για τον καθορισμό του μεγέθους του ωφέλιμου φορτίου ενός πλαισίου του BB, ο αριθμός πλαισίων του BB που απαιτούνται για να μεταδοθεί το σύνολο εικόνων του video streaming υπολογίζεται βάσει του συνολικού μεγέθους των υπηρεσιών που μεταφέρονται. Ο αριθμός M, των πλαισίων του BB που διατίθενται για την υπηρεσία σε κάθε πλαίσιο T2 μπορεί να καθοριστεί δυναμικά σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$M = S / (PS * N)$$

όπου τα PS είναι το μέγεθος ωφέλιμων φορτίων του πλαισίου του BB που διατίθεται για την υπηρεσία, N είναι αριθμός πλαισίων T2, το S είναι το συνολικό μέγεθος των μονάδων των υπηρεσιών κατά τη διάρκεια των N πλαισίων T2. Μετά από το καθορισμό της κατανομής πλαισίων του BB στο σύνολο των πλαισίων T2, ο αλγόριθμος προχωρά στο σχεδιασμό της χαρτογράφησης των πακέτων των δεδομένων μέσα στα πλαίσια του BB. Ο στόχος είναι σύνθετος. Κατ' αρχάς, ο αλγόριθμος χαρτογράφησης αποφεύγει τον τεμαχισμό των σημαντικών μονάδων περισσότερο του ενός πλαισίου του BB. Αφετέρου, στοχεύει στην παροχή της μέγιστης ανθεκτικότητας λάθους μέσω της χρήσης του time interleaving. Τέλος, οι στόχοι του αλγορίθμου είναι να αυξήσουν την αποδοτικότητα χρήσης εύρους ζώνης (bandwidth) αποφεύγοντας το τεμαχισμό στο overhead και στις διαδικασίες padding.

2.5.3.2.1 Ο αλγόριθμος χαρτογράφησης

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος είναι σχεδιασμένος για το χειρισμός πακέτων που περιέχουν βίντεο, εικόνες, και ειδικότερα ροές δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η πολυπλοκότητα περιορίζεται στο χειρισμό της επικεφαλίδας πακέτων RTP (real-time transport protocol) και στη τροποποίηση ωφέλιμων φορτίων RTP. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι επιλογές κωδικοποίησης σε μια μετάδοση τέτοιων πακέτων είναι περιορισμένη, αυτή η πρόσθετη λειτουργία δεν θα αύξανε σημαντικά τη πολυπλοκότητα.

Ο αλγόριθμος χαρτογράφησης περιγράφεται ως εξής

- (1) τακτοποιήστε τα πακέτα υπηρεσιών κατεβαίνοντας κατά σειρά σπουδαιότητας.
- (2) αρχίστε από πακέτα με τη μεγαλύτερη σπουδαιότητα (π.χ. εκείνοι που περιέχουν IDR εικόνες) και ορίστε τα στα πιο απόμακρα πλαίσια του BB.
- (3) για το υπόλοιπο των πακέτων, πακέτα διατάξτε τα σύμφωνα με το μέγεθός τους κατά φθίνουσα αρίθμηση.
- (4) βρόχος μέσα στο σύνολο των πακέτων
 - (α) ορίστε το πακέτο στο καλύτερο πλαίσιο του BB (Πλαίσιο του BB που αφήνει τον ελάχιστο ελεύθερο χώρο και εν συνεχεία προστίθεται το πακέτο)
 - (β) εάν κανένα πλαίσιο του BB δεν ταιριάζει τότε τα πακέτα τοποθετούνται στο τέλος της ουράς του συνόλου των πακέτων
 - (γ) σταματήστε εάν κανένα πακέτο δεν μπορεί να χαρτογραφηθεί σε ελεύθερο διαθέσιμο χώρο
 - (δ) τέλος βρόχου.
- (5) τεμαχίστε τα εναπομείναντα πακέτα που αρχίζουν από το πρώτο πλαίσιο του BB.

Τώρα, συγκρίνουμε τη μεθόδου σχεδιασμού που περιγράψαμε με τη γενική προσέγγιση χωρίς την χρήση αλγορίθμου. Στη μελέτη μας αναλύουμε τα παρακάτω :

(1) μια γενική προσέγγιση χωρίς σχεδιασμό. Ο σχεδιασμός με βάση το μήκος των δεδομένων που έχουν τα πλαίσια του BB καθώς έρχονται τα πακέτα προσθέτουν τη νέα επιγραφή GSE και γίνεται CRC έλεγχος στο τεμαχισμένο πακέτο.

(2) μια προσέγγιση όπου χρησιμοποιούνται πληροφορίες από το φυσικό στρώμα (αρχειοθετημένα στοιχεία του μήκος ενός πλαισίου του BB) και το στρώμα ζεύξης δεδομένων (προτεραιότητα του πακέτου).

Για τις προσομοιώσεις, χρησιμοποιήθηκαν οι ακολουθίες πληρωμάτων και πλήθους, με μια ανάλυση 1280 πλαισίων \times 720, 600 και 500 αντίστοιχα.. Για να δημιουργηθεί μια απλή δομή διαβάθμισης, κάθε δεύτερη εικόνα κωδικοποιήθηκε σαν μια εικόνα nonreference B. Αυτό σημαίνει ότι δημιουργείται ένα στρώμα βάσεων με 15 fps και ένα στρώμα αύξησης με 30 fps. Οι παράμετροι κωδικοποίησης τέθηκαν ως εξής. Ταχύτητα μετάδοσης περίπου 8Mbits/s, μια IDR εικόνα παρεμβλήθηκε μια φορά κάθε 30 εικόνες και το μέγιστο μέγεθος φετών (slices) είναι 1300 bits. Εφαρμόστηκε προεπεξεργαστής εισαγωγής (IPP). Η φυσική μετάδοση στρώματος πάνω σε ένα πρότυπο DVB-T2 προσομοιώθηκε για να παράγει το λάθος πλαισίων του BB πλαισίων που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της βελτιστοποίησης. Τέσσερα διαφορετικά σχέδια λάθους, που περιέχουν 1.55%, 1.80%, 3.32%, και 7.33% χαμένα πλαίσια του BB αντίστοιχα, χρησιμοποιήθηκαν σε όλες τις προσομοιώσεις. Με βάση τα bit-errors, ένα πλαίσιο του BB χαρακτηρίζεται ως χαμένο εάν η διαδικασία αποκωδικοποίησης BCH/LDPC αποτύχει να το ανακτήσει από τα λάθη. Κάθε μονάδα NAL της κωδικοποιημένης ακολουθίας είναι σαν πακέτο GSE(generic stream encapsulation), όπου μια πρόσθετη κεφαλίδα 67 bits προστίθεται για να αντιστοιχεί στις επικεφαλίδες GSE/IP/UDP/RTP.

Από την μεριά των δεκτών, τα λάθη που προκύπτουν στα πλαίσια του BB εντοπίζονται στα πακέτα δεδομένων, έτσι η απώλεια ενός ή περισσοτέρων πακέτων οδηγεί σε απόρριψη ολόκληρου του πακέτου, δεδομένου ότι είναι άχρηστο για την αποκωδικοποίηση των δεδομένων. Έπειτα, οι χαμένες μονάδες NAL απορροφούνται από τη χωρίς λάθη ροή, και αποκωδικοποιείται το λανθασμένο bit-stream.

Τα ποσοστά απώλειας πακέτων και οι τιμές PSNR απεικονίζονται στους πίνακες 6 και 7, για κάθε μια από τη δοκιμασμένη διαμόρφωση για το πλήρωμα και τις ακολουθίες πλήθους, αντίστοιχα. Είναι φανερό ότι χάριν του προτεινόμενου αλγορίθμου που σχεδιάζει την προσέγγιση, το ποσοστό απώλειας πακέτων μπορεί να μειωθεί και το κέρδος που επιτυγχάνεται είναι περίπου 0.5 DB PSNR. Το κέρδος σε PSNR επιτυγχάνεται όχι μόνο από μείωση του πακέτου απώλειας αλλά και λόγω διάδοσης των λαθών κατευθείαν στα λιγότερο σημαντικά πακέτα. Στους πίνακες 8 και 9, παρουσιάζεται ο αριθμός των λανθασμένων πακέτων καθώς επίσης και ο αριθμός λανθασμένων πακέτων ως αποτέλεσμα της διαδικασίας του τεμαχισμού .

BB frame error rate [%]	Generic		Proposed Scheduling Algorithm	
	Packet error rate [%]	PSNR [dB]	Packet error rate [%]	PSNR [dB]
7.33	9.12	28.72	9.03	29.19
3.32	4.42	32.48	4.43	32.74
1.80	2.22	34.93	2.14	35.63
1.55	2.03	35.26	2.01	35.66
0.00	0.00	39.85	0.00	39.85

Πίνακας 6. PSNR (peak signal-to-noise ratio) και ρυθμός λανθασμένων πακέτων (packet error rate) στο πλήρωμα

BB frame error rate [%]	Generic		Proposed Scheduling Algorithm	
	Packet error rate [%]	PSNR [dB]	Packet error rate [%]	PSNR [dB]
7.33	8.81	23.81	8.67	24.04
3.32	4.48	26.15	4.45	26.00
1.80	2.23	27.48	2.18	27.99
1.55	2.07	27.95	2.04	28.09
0.00	0.00	30.88	0.00	30.88

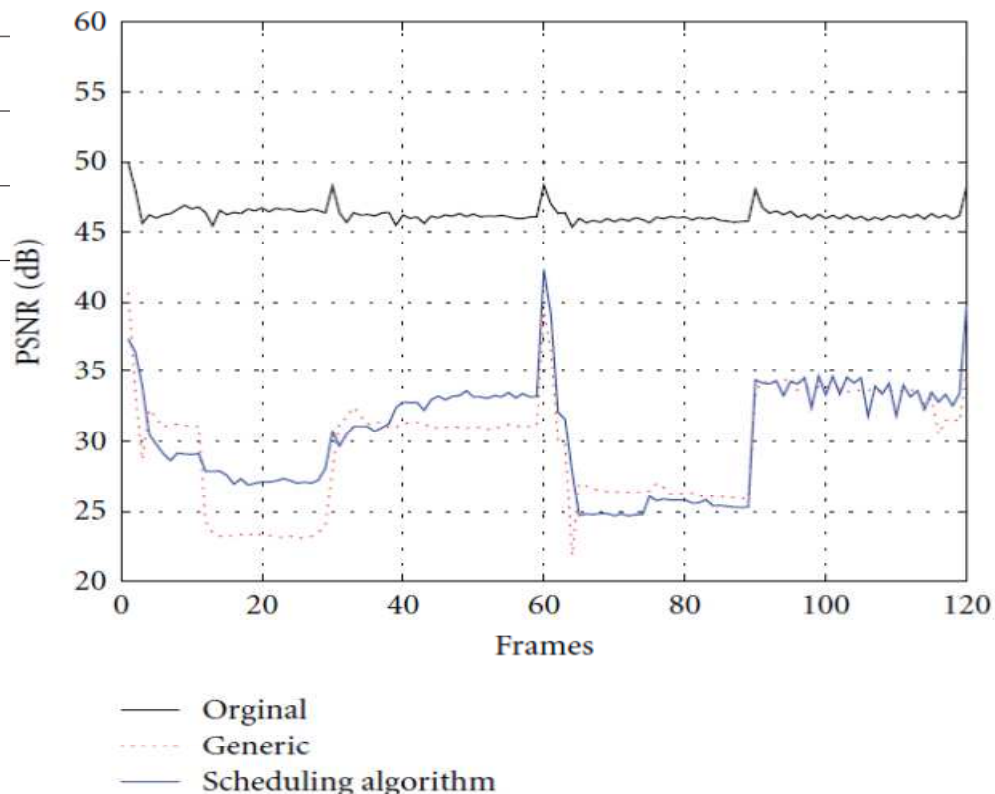
Πίνακας 7. PSNR(peak signal-to-noise ratio) και ρυθμός λανθασμένων πακέτων (packet error rate) στο πλήθος

BB frame error rate [%]	Generic			Proposed Scheduling Algorithm			
	I	P	B	I	P	B	
7.33	169	1034	236	139	913	373	Error packets
	72	419	91	0	246	342	Error packets due to fragmentation
3.32	88	481	129	54	470	175	Error packets
	43	229	67	0	154	174	Error packets due to fragmentation
1.80	38	255	58	36	204	97	Error packets
	13	94	20	0	27	95	Error packets due to fragmentation
1.55	33	219	68	21	184	112	Error packets
	16	92	32	0	39	101	Error packets due to fragmentation

Πίνακας 8. Αριθμός λανθασμένων πακέτων (πλήρωμα)

BB frame error rate [%]	Generic			Proposed Scheduling Algorithm			
	I	P	B	I	P	B	
7.33	142	801	210	137	707	291	Error packets
	57	321					
3.32	93	427					
	47	204					
1.80	27	226					
	10	85					
1.55	31	201					
	14	88					

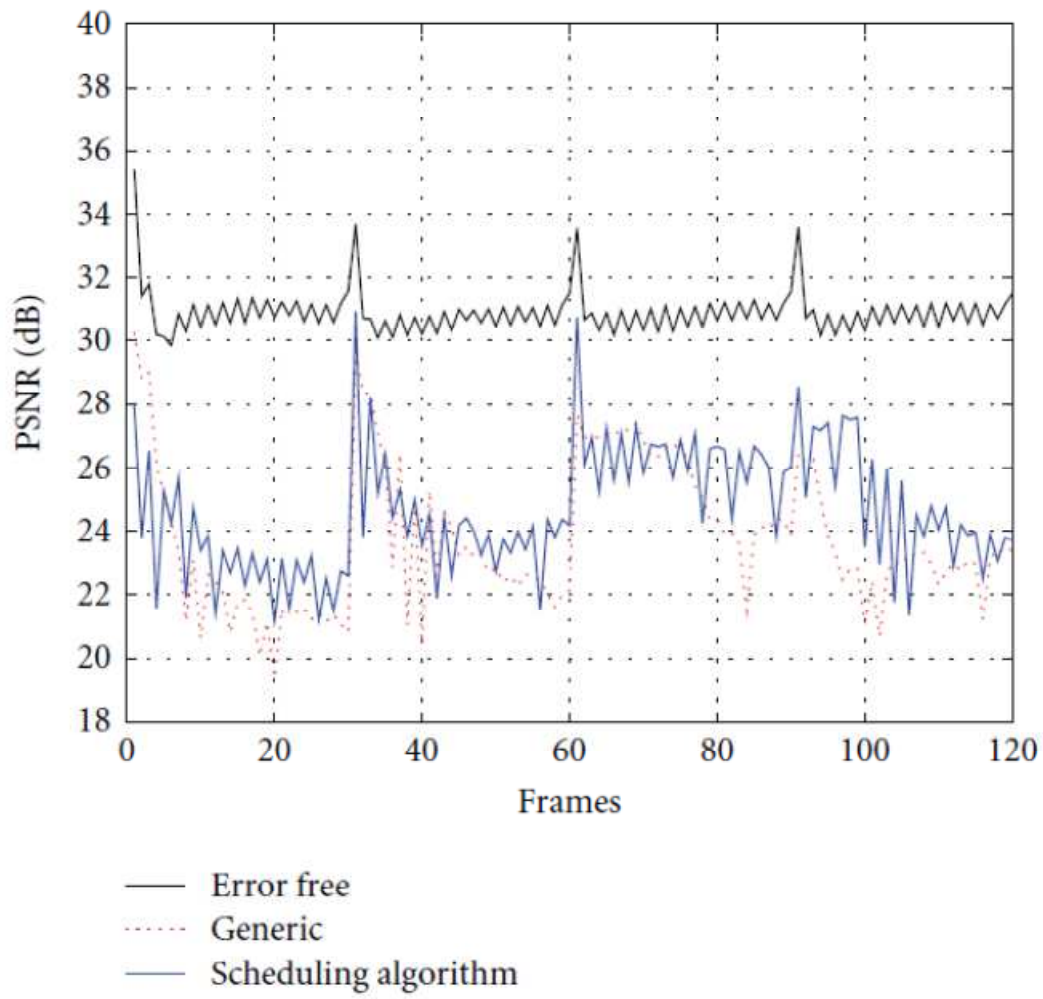
Πίνακας 9. Αριθμός λανθασμένων πακέτων (πλήθος)



Σχήμα 19. PSNR της ακολουθίας πληρωμάτων για τα πρώτα 120 πλαίσια

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι με τη χρήση του αλγόριθμου κανένα από τα πακέτα που ανήκουν στα πλαίσια I, χάνονται λόγω του τεμαχισμού. Επιπλέον, λόγω του time interleaving που ισχύει για I πακέτα, ένας μειωμένος αριθμός αυτών των πακέτων επηρεάζονται από τα λάθη. Επιπλέον, αποδεικνύεται ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος μεταφέρει τα περισσότερα λάθη στα πακέτα που ανήκουν στα λιγότερο σημαντικά πλαίσια B. Στα σχήματα 19 και 20, παρουσιάζονται τα PSNR για τα πρώτα 120 πλαίσια και από το πλήρωμα και το πλήθος ακολουθιών, μετά από τη μετάδοση στο το κανάλι με το υψηλότερο ποσοστό λάθους πλαισίων του BB.

Μπορούμε να δούμε ότι λόγω της διάδοσης των λαθών μεταξύ των πακέτων μπορεί να αποφευχθεί η γρήγορη εναλλαγή πακέτων, όπως παραδείγματος χάριν, στα πρώτα 30 πλαίσια της ακολουθίας πληρωμάτων. Επιπλέον, και στα δύο σχήματα σχεδόν όλα τα πλαίσια I (30ο, 60ο, 90ο, και 120ο πλαίσιο) έχουν την υψηλότερη τιμή PSNR όταν χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος. Συνεπώς, πρέπει να οδηγηθεί στη πρόβλεψη λιγότερων λαθών που θα ήταν ορατά κατά τη διάρκεια αναπαραγωγής ήχου του αποκωδικοποιημένου βίντεο. Ακόμη και αν ο αλγόριθμος μπορεί μερικές φορές να παρουσιάζει πιο αδύνατη απόδοση από αυτή της γενικής μετάδοσης, παρόλα αυτά, γίνεται φανερό στα σχήματα 19 και 20, από τα πλαίσια 60 έως 90, ότι κάνοντας χρήση του αλγορίθμου τα λάθη κινούνται προς τα λιγότερο σημαντικά πακέτα δεδομένων με συνέπεια μια πιο ανθεκτική σε λάθη μετάδοση. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι το κέρδος 0.5 DB στο μέσο όρο που επιτυγχάνεται με τον αλγόριθμο δεν απεικονίζει πλήρως το υποκειμενικό κέρδος που επιτυγχάνεται από έναν χρήστη.



Σχήμα 20. PSNR της ακολουθίας πλήθους για τα πρώτα 120 πλαίσια.

2.5.4 Συμπεράσματα

Τρεις είναι οι σημαντικές προκλήσεις για την κινητή μετάδοση: κατανάλωση ισχύος, τα λάθη μετάδοσης, και ο ρυθμός απόδοσης (throughput) δεδομένων. Ο σχεδιασμός της μεθόδου που εκμεταλλεύεται κατάλληλα την ροή δεδομένων ώστε να μειωθεί η κατανάλωση ισχύος μελετήθηκε. Λόγω της ομαδοποίησης κάθε στρώματος σε χωριστές εκρήξεις μετάδοσης δεδομένων, ένας δέκτης με τις χαμηλότερες δυνατότητες θα ήταν σε θέση να μειώσει την κατανάλωση ισχύος λαμβάνοντας μόνο σχετικά δεδομένα. Επιπλέον, μια μετάδοση με εκρήξεις εισάγει την τεχνική του time interleaving στα στοιχεία στρώματος εφαρμογής(link layer) και καθιστά συνεπώς τη μετάδοση πιο ανθεκτική σε λάθη.

Δεδομένου ότι το DVB-T2 αναπτύχθηκε με στόχο τους φορητούς δέκτες σαν μια από τις ομάδες χρηστών, έρχεται με τα αφιερωμένα εργαλεία να αντιμετωπίσει ένα επιρρεπές σε λάθη κινητό κανάλι μετάδοσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση των εργαλείων αυτών είναι σημαντική καθώς μπορούν να φέρουν σημαντικό κέρδος. Για να φέρει πρόσθετη ευελιξία στο σύστημα μετάδοσης DVB-T2, εισάγεται η έννοια BB-FEC. Η κωδικοποίηση BB FEC επιτρέπει την άνιση προστασία λάθους στα μεταφερόμενα δεδομένα ακόμα κι αν ένα PLP χρησιμοποιείται για τη μετάδοση υπηρεσιών.

Τέλος, όταν εξετάζουμε τα κινητά κανάλια, το εύρος ζώνης είναι ένας σημαντικός πόρος που πρέπει να χρησιμοποιηθεί βέλτιστα. Τρεις δημοφιλείς μέθοδοι ενθυλάκωσης συγκρίθηκαν που κάνουν broadcasting μετάδοση και η συμπίεση IP/UDP συζητήθηκαν. Ένα νέο πακέτο που σχεδιάζει τη μέθοδο, η οποία χρησιμοποιεί το εύρος ζώνης αποτελεσματικά και παρέχει την ανθεκτικότητα λάθους για το διαβιβασθέν πακέτο, περιγράφηκε και υποστηρίχθηκε από αποτελέσματα προσομοίωσης.

2.6 Συγκριτική έρευνα του DVB-T2 με DVB-T ως προς την απόδοσή τους.

Ο στόχος αυτών των δοκιμών ήταν να αναλυθεί η τεχνολογία **DVB-T2**¹³ όταν αυτό το σύστημα διαμορφώνεται σύμφωνα με τις ανάγκες της επίγειας μετάδοσης HDTV και για να συγκρίνει τα αποτελέσματα με το **DVB-T** τεχνολογία από την άποψη των απαιτήσεων του **CNR** και του **ρυθμού μετάδοσης δεδομένων**. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές συνθήκες λήψης. Η μελέτη που παρουσιάζεται παρακάτω είναι στη σταθερή λήψη, χρησιμοποιώντας γκαουσιανό κανάλι (Gaussian channel), επειδή είναι αναμενόμενος όρος υποδοχής για τη HDTV.

2.6.1. Μεθοδολογικά στοιχεία

Στην παρούσα εργασία γίνονται δοκιμές του DVB-T και του DVB-T2 σε ψηφιακή τηλεόραση υψηλής ανάλυσης (HDTV). Οι διαμορφώσεις που επελέγην έτσι ώστε να δώσουν υψηλούς ρυθμούς bits και να λαμβάνονται με τις κεραιές των στεγών. Σε αυτές τις δοκιμές που γίνονται, χρησιμοποιήθηκαν έξι τρόποι διαμόρφωσης. Οι δύο έγιναν με το DVB-T και οι άλλες τέσσερις με το DVB-T2. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει βασικά στοιχεία από τους τρόπους αυτούς και τον λόγο φέροντος προς το θόρυβο (CNR) που απαιτείται αναφορικά με τις προσομοιώσεις.

¹³ Inaki Eizmendi, Gorka Prieto, Gorka Berjon-Eriz, Manuel Velez, Susana Correia, Amaia Arrinda, Pablo Angueira (2009) "HDTV field trials using DVB-T and DVB-T2 broadcasting systems" *IEEE*

Τρόπος Λειτουργίας	1	2	3	4	5	6
Πρότυπο	DVB-T	DVB-T	DVB-T2	DVB-T2	DVB-T2	DVB-T2
Μέγεθος FFT	8K	8K	32K	32K	8K	8K
Διαστήματα φύλαξης	1/4	1/4	1/128	1/128	1/32	1/32
Διαμόρφωση QAM	64	64	256	256	256	64
Χρήση ανεστραμμένων σχηματισμών	-	-	Χωρίς	Ναι	Ναι	Ναι
Ρυθμός Κωδικοποίησης	2/3	3/4	3/5	3/5	3/5	3/4
Ρυθμός μετάδοσης (Mbps)	19.9	22.4	36.1	36.1	35.3	33.0
CNR(Στο γκαουσιανό κανάλι AWGN)	16.5	18.0	16.0	16.0	16.0	15.1

Πίνακας 10. Παράμετροι λειτουργίας των υπό μελέτη προτύπων

Στην πρώτη στήλη γίνεται μια αναφορά στη λειτουργία DVB-T, ενώ στη στήλη 2 παρουσιάζεται πάλι ο τρόπος λειτουργίας βασισμένος στο DVB-T αλλά αυτή τη φορά με μεγαλύτερο εύρος bit το οποίο είναι πιο κατάλληλο για τηλεοπτική μετάδοση υψηλής ευκρίνειας, αλλά όχι με δυνατότητα για τόσο μεγάλη κάλυψη.

Στην τρίτη στήλη παρουσιάζεται η καταλληλότερη λειτουργία δικτύων ευρυεκπομπής για τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας. Στην τέταρτη στήλη είναι παρόμοια τα στοιχεία με την τρίτη στήλη με τη διαφορά ότι χρησιμοποιούνται ανεστραμμένοι αστερισμοί (rotated constellations). Με αυτό τον τρόπο μπορεί να αξιολογηθεί η προετοιμασία αυτού του καινούργιου στοιχείου, δηλαδή του DVB-T2. Η έκτη στήλη είναι η πιο σχετική με τους τρόπους χρήσης του DVB-T. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκριθούν οι μεταδόσεις των DVB-T2 και DVB-T, ελέγχοντας τις βελτιώσεις του CNR μέσω της κωδικοποίησης ισότητας ελέγχου χαμηλής πυκνότητας (Low Density Parity Check) σε αντίθεση με τη συνελκτική κωδικοποίηση R-S (reed-solomon).

Η πέμπτη και έκτη στήλη μπορούν να συγκριθούν ώστε να ελέγξουμε την επίπτωση των διαφορετικών λειτουργιών στην προετοιμασία του συστήματος. Επιπροσθέτως, η σύγκριση ανάμεσα στον τρίτη, τέταρτη και πέμπτη λειτουργία μας δείχνει την επίδραση του μεγέθους της ορθογωνική πολυπλεξία συχνότητας (OFDM) στις απαιτήσεις του CNR.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι όλοι οι τρόποι μετάδοσης που αφορούν το DVB-T2 έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Λειτουργία συχνότητας στα 8 MHz
- Χρήση 7 Pilot Patterns
- Κανονική διόρθωση λαθών (FEC)
- Μέγεθος frame
- Ένας σωλήνας σε φυσικό επίπεδο (PLP)

2.6.2. Σύστημα μετρήσεων

Οι παράμετροι που λήφθηκαν σοβαρά υπόψη ώστε να μελετήσουμε σε βάθος τη λειτουργία των συστημάτων broadcasting μετάδοσης είναι:

- Η ενίσχυση λήψης του σήματος (RSSI) και ο λόγος μεταφοράς προς το θόρυβο (CNR)
- Το φάσμα λήψης του σήματος.
- Ο σχηματισμός MER
- Ο ρυθμός εσφαλμένων bits(BER) (μετά την viterbi αποκωδικοποίηση στο DVB-T και μετά τον LPDC αποκωδικοποίηση στο DVB-T2)
- Απόκριση καναλιού προώθησης και συνάρτηση καναλιού μεταφοράς, (τα οποία παρέχονται από τον δέκτη).
- Δείγματα IQ εισερχόμενων σημάτων τα οποία καταγράφονται για περαιτέρω ανάλυση.

Το σύστημα μέτρησης χρησιμοποιεί μια κεραία τύπου YAGI-UDA με 15,5 Dbi κέρδος απολαβής. Οι DVB-T μετρήσεις καταγράφηκαν με ένα επαγγελματικό test receiver. Αυτός ο δέκτης μπορεί να προσθέσει θόρυβο στο DVB-T σήμα που έχει ληφθεί για να μπορέσουμε να κερδίσουμε το BER μετά το Viterbi εναντίον του CNR σχεδιαγράμματος το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να υπολογίσουμε τον απαιτούμενο CNR προς το θόρυβο για το QUASI-error-free μετά την Reed-Solomon, όπου η τιμή του μετά την κωδικοποίηση Viterbi φτάνει στο $2 \cdot 10^{-4}$.

2.6.3 Επεξεργασία σήματος στο DVB-T2

Μια εφαρμογή λογισμικού δεκτών DVB-T2 χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση σημάτων. Αυτό το πρόγραμμα εφαρμόστηκε σε όλη την αλυσίδα εκπομπής, από το συγχρονισμό εξαγωγής των PLP's πλαισίων, και παρέχει τις λεπτομερείς μετρήσεις των παραμέτρων του καταγεγραμμένου σήματος όπως το MER (modulation error ratio), κανάλια απάντησης συχνότητας, κανάλια απάντησης ώθησης και ρυθμός μετάδοσης λαθών σε διάφορα στάδια της αλυσίδας υποδοχής. Οι απαιτήσεις που ικανοποιούν τις μετρήσεις που έγιναν για να μελετήσουμε τη συμπεριφορά ενός σήματος DVB-T2 είναι οι εξής:

- Γκαουσιανό κανάλι. Οι διαθέσιμες προσομοιώσεις είναι για αυτό το είδος καναλιού, έτσι αυτό επιτρέπει την άμεση σύγκριση μεταξύ των μετρήσεων και των προσομοιώσεων. Οι κεραίες για τη λήψη HDTV είναι κατευθυντικές γεγονός που καθιστά καλύτερη την χρήση γκαουσιανού καναλιού.

- Επιλέγουμε σήμα ικανό να δώσει γύρω στα 30 db ισχύ στο MER. Είναι απαραίτητο για να εξασφαλιστεί ότι ο προστιθέμενος θόρυβος είναι ο βασικός που προστίθεται στο σηματοθορυβικό λόγο.

- Το BER πριν την κωδικοποίηση της BCH είναι 0. Αυτό επιτρέπει να λάβουμε τα bits χωρίς λάθη και να τα συγκρίνουμε με τα αποκωδικοποιημένα bits όταν προστεθεί ο θόρυβος και ανιχνευτούν τα λάθη, αλλά δεν μπορούν να διορθωθούν από την BCH αποκωδικοποίηση. Με αυτό τον τρόπο καταφέρνουμε να μετρήσουμε το πραγματικό ρυθμό μετάδοσης λαθών (BER) ακόμα και για χαμηλές τιμές του CNR.

Οι μετρήσεις που έγιναν αφορούν όλους τους τρόπους μετάδοσης. Παραθέτουμε τη γραφική παράσταση BER σε σύγκριση με το CNR λαμβάνοντας υπόψη τα κατώτερα όρια (CNR) για να πετύχουμε σωστή λήψη. Πέντε δευτερόλεπτα του καταγεγραμμένου σήματος δίνει μεταξύ $1,6 \cdot 10^8$ και $1,8 \cdot 10^8$ λαμβανόμενων bits μετά την LPDC κωδικοποίηση ανάλογα με το κάθε τρόπο λειτουργίας. Το ακριβές ποσό λαμβανόμενων bits μπορεί επίσης να ποικίλει ελαφρώς ανάλογα με το δείγμα σημάτων όπου το πρώτο T2 πλαίσιο λαμβάνεται αφού οι δέκτες κατά τη λήψη χρειάζονται το πρώτο σύμβολο του πλαισίου (P1 σύμβολο) για να αρχίσουν την διαδικασία συγχρονισμού και τα δείγματα πρέπει πρώτα να απορριφθούν.

2.6.4 Σενάρια δικτύων και υποδοχής μετάδοσης

Ο εξοπλισμός μετάδοσης για το DVB-T2 (τρόποι λειτουργίας 3-6) που χρησιμοποιείται είναι ο εξής:

- Ένας διαμορφωτής DVB-T2 που παράγει το σήμα στην ενδιάμεση συχνότητα (IF) Αυτή η συσκευή μπορεί να ελέγχεται εξ αποστάσεως με τη βοήθεια μιας βασισμένης διεπαφής στο WEB. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα χρησιμοποιήθηκε για να αλλάξει τις επιλογές διαμόρφωσης του συστήματος.
- Ένας μετατροπέας και ένας ενισχυτής συχνότητας που μετατοπίζουν την IF σήμα στη συχνότητα καναλιών 594 MHz, συχνότητα που επιτρέπει τη χρήση ενισχυτών.
- Τέσσερις ενισχυτές δύναμης που παρείχαν τελικό 480 W.
- Το σύστημα ακτινοβολίας : Δύο σειρές panel με 15.6 dBi μέγιστο κέρδος.

Για το DVB-T (τρόποι λειτουργίας 1-2) χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά συστήματα μετάδοσης:

1) Το σύστημα μετάδοσης DVB-T στα 762 MHz που εφαρμόζεται πανευρωπαϊκά για τη μετάδοση Επίγειας Ψηφιακής Τηλεόρασης (DTT). Αυτή η μετάδοση αντιστοιχεί στη στήλη 1 και, δεδομένου ότι έχουμε broadcast μετάδοση, η διαμόρφωση δεν αλλάζει.

2) Το ίδιο σύστημα μετάδοσης χρησιμοποιείται και για το DVB -T2 αλλά με τη χρήση ενός διαμορφωτή DVB-T. Σε αυτήν την περίπτωση η διαμόρφωση θα μπορούσε να ρυθμιστεί στον τρόπο 1 ή 2.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για σταθερή λήψη σε αστικά, προαστιακά και αγροτικά περιβάλλοντα. Υπάρχουν 30 διαφορετικές θέσεις μέτρησης για τον τρόπο 1 και τους τρόπους 3, 4 και 5. Σε κάθε θέση όλοι οι τρόποι μετρήθηκαν διαδοχικά, ο τρόπος 1 στα 762 MHz, και μετά από αυτό οι τρόποι για το DVB-T2(στήλες 3,4,5) στα 594 MHz. Για να αλλάξει η ρύθμιση των διαμορφωτών χρησιμοποιήσαμε μια σύνδεση μεταξύ της κινητής μονάδας και του κέντρου μετάδοσης με τη βοήθεια του δικτύου UMTS/GPRS και ενός εικονικού δικτύου (VPN).

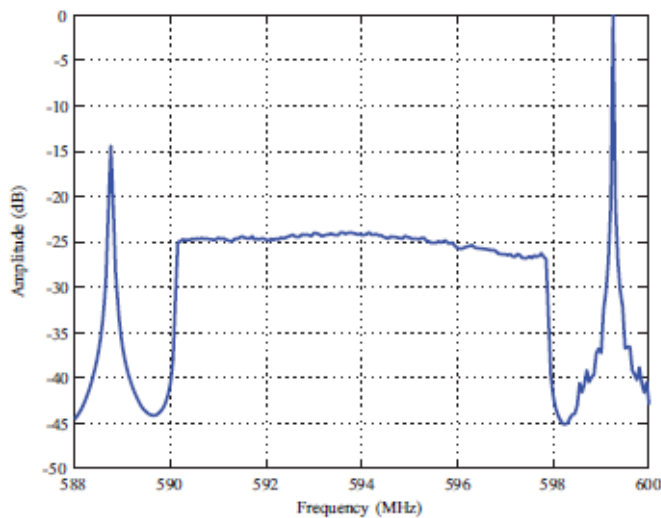
Το κύριο πλεονέκτημα με αυτή τη μέθοδο είναι ότι όλοι οι τρόποι DVB-T2 μετρήθηκαν κάτω από τις ίδιες συνθήκες λήψης ώστε να εξάγουμε πιο ασφαλή συμπεράσματα για την διαδικασία μετάδοσης/λήψης, όπως τη θέση κινητών μονάδων, προσανατολισμός κεραίας η και ακόμα καιρικές συνθήκες γεγονός που επιτρέπει άμεση σύγκριση μεταξύ όλων των τρόπων DVB-T2. Άλλο πλεονέκτημα ήταν η εξοικονόμηση χρόνου έτσι λοιπόν οι μετρήσεις έγιναν για περισσότερο αριθμό θέσεων.

Το κύριο μειονέκτημα ήταν ότι ο τρόπος 1 (DVB-T) μετρήθηκε σε μια διαφορετική συχνότητα, έτσι το κανάλι μετάδοσης είναι ελαφρώς διαφορετικό. Ο τρόπος 2 μετρήθηκε σε λιγότερες θέσεις (8). Για να γίνουν οι μετρήσεις του τρόπου 1 και τρόπου 2(DVB-T) στη συχνότητα των 594 MHz ο εξοπλισμός μετάδοσης άλλαξε και η κινητή μονάδα τοποθετήθηκε σε μέρη όπου έγιναν μετρήσεις για το DVB-T2.

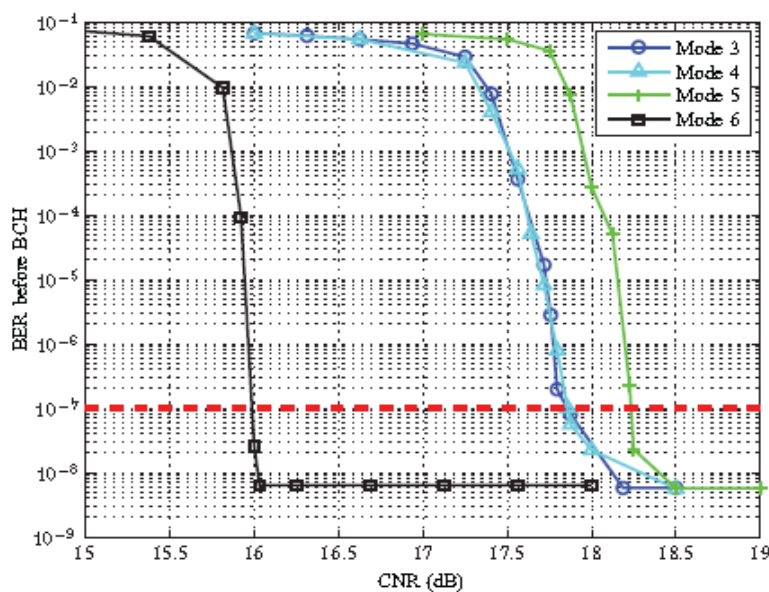


Σχήμα 21. Θέσεις μέτρησης

Οι θέσεις μέτρησης παρουσιάζονται στο χάρτη του σχήματος 21. Τα άσπρα σημάδια θέσεων αντιστοιχούν στις θέσεις που δεν έγιναν μετρήσεις για τον τρόπο λειτουργίας 2 και τα κίτρινα σημάδια υποδεικνύουν ότι εκεί έγιναν μετρήσεις με όλους τους τρόπους μετάδοσης. Η θέση που επελέγη για τις απαιτήσεις μελέτης του CNR βρίσκεται 8.4 χλμ. μακριά από το κέντρο συσκευών αποστολής σημάτων, σε μια κατοικήσιμη περιοχή, σε ένα προαστιακό περιβάλλον. Το φάσμα του λαμβανόμενου σήματος DVB-T2 φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η σταθερή απόκλιση των φασματικών ευρών από το σήμα ($\sigma = 0.7 < 1$) έχει χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσει ότι το κανάλι μετάδοσης είναι το Gaussian. Μαζί με το σήμα δύο ανεπιθύμητα αναλογικά τηλεοπτικά κανάλια ήταν παρόντα όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 22. Φάσμα Συχνότητας σήματος του DVB-T2



2.6.5 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα έχουν δείξει τα παρακάτω στοιχεία: Όπως φαίνεται από το παρακάτω σχήμα,

Σχήμα 23. Ρυθμός μετάδοσης λαθών σε σχέση με το λόγο φέροντος/θόρυβο

Έχουμε τη γραφική παράσταση που ορίζεται από ρυθμό εσφαλμένων bit (BER) ως προς το λόγο φέροντος προς θόρυβο. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύεται για μια σειρά τιμών του CNR και κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε μια διαφορετική λειτουργία του DVB-T2. Η κόκκινη διακεκομμένη γραμμή δείχνει τα κατώτερα όρια τιμών BER για μια τιμή του KEF. Τα κατώτερα σημεία των γραμμών δείχνουν ότι ολόκληρο το σήμα υποβλήθηκε σε επεξεργασία και δεν παρουσιάστηκε κανένα λάθος. Έτσι το BER ήταν 0 στα αντίστοιχα επίπεδα του CNR. Η κατώτερη τιμή του BER έχει χρησιμοποιηθεί για να υποδείξει την κατάσταση για την οποία το BER είναι 0.

Κάτι που πρέπει επίσης να σημειώσουμε είναι το ότι η απότομη πτώση του BER γύρω από τις κατώτερες τιμές όλων των λειτουργιών. Για τιμή 0,2 dB (στήλη 6) ή για τιμή 0,4dB (στήλες 3,4,5) το BER πέφτει από 10^{-2} στο 10^{-7} . Αυτή η συμπεριφορά είναι συνέπεια της χρήσης του LDPC-FEC και τον αριθμό επαναλήψεων που εκτελούνται για να αποκωδικοποιηθούν τα bits. Ο δέκτης λογισμικού έχει οριστεί στην τιμή 50. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων είναι παρόμοια με τα σχεδιαγράμματα που λήφθηκαν από αυτές τις μετρήσεις.

Τα αποτελέσματα του DVB-T2 που απεικονίζονται στον πίνακα 11 και στο σχήμα 23 είναι ιδιαίτερος καλά για τον τρόπο λειτουργίας 6. Σε αυτή την περίπτωση οι τιμές του CNR σ είναι 0,9 dB υψηλότερο από τις τιμές της προσομοίωσης. Η διαφορά αυτή στην περίπτωση των λειτουργιών 3 και 4 αυξάνεται στο 1,9 dB. Η χειρότερη περίπτωση είναι η λειτουργία 5 με 2,2 dB υψηλότερο απ' όσο υπολογιζόταν.

Τρόπος	1	2	3	4	5	6
--------	---	---	---	---	---	---

Λειτουργίας						
θεωρητικό CNR	16.5	18.0	16.0	16.0	16.0	15.1
CNR από μετρήσεις	17.4	19.1	17.9	17.9	18.2	16.0

Πίνακας 11. Απόκλιση του θεωρητικού CNR από το μετρηθέν για το DVB-T2

Οι λειτουργίες 3 και 4 έχουν παρόμοιες επιδόσεις. Η μόνη διαφορά είναι ότι ο τρόπος 4 χρησιμοποιεί τη μέθοδο ανεστραμμένων σχηματισμών, το νέο χαρακτηριστικό του DVB-T2 όπως είδαμε ανωτέρω το οποίο χρησιμοποιείται για να βελτιώσει η δύναμη του συστήματος, όταν παρουσιάζεται εκλεκτική εξασθένηση της συχνότητας. Ειδικότερα στην περίπτωση που μελετάμε, έχουμε ένα Gaussian κανάλι και είναι λογικό οι ανεστραμμένοι σχηματισμοί να μην έχουν επιδράσεις στα αποτελέσματα.

Η απόδοση στο τρόπο λειτουργίας 5 όπως αναμενόταν ήταν ίδια με τις λειτουργίες 3 και 4 γιατί η κύρια διαφορά μεταξύ τους είναι το μέγεθος του FFT. Στα 64 QAM (στήλη 6) αποδίδει καλλίτερα από ότι στα 256 QAM (περίπου 2 dB) με τα ποσοστά κωδικοποίησης που έχουν επιλεγεί να παρόμοια ποσοστά από bits που προστατεύονται λιγότερο για 64 QAM (3/4) και περισσότερο για 256 QAM. Η διαφορά ανάμεσα στους δύο αυτούς τρόπους λειτουργίας είναι 1dB απ' ότι αναμενόταν στην προσομοίωση, και είναι αρκετά σημαντικό να αναφέρουμε εδώ την μεγάλη ευκολία που μας παρέχει η χρησιμοποίηση της διάταξης των αστερισμών 256 QAM.

Από τη στιγμή που χρησιμοποιούμε υψηλότερη διάταξη αστερισμών η οποία αναγκάζει το LDPC να διορθώνει μεγαλύτερο αριθμό λαθών, η βελτίωση της αποκωδικοποίησης LDPC μπορεί να βελτιώσει αντίστοιχα την διάταξη σχηματισμών στα 256 QAM. Μία πιθανή τροποποίηση που εξετάζεται είναι η χρήση μιας επαναληπτικής χαρτογράφησης μαζί με μία επαναληπτική αποκωδικοποίηση LDPC.

Οι στήλες 2 και 3 μπορούν να εξάγουν συμπεράσματα για την σύγκριση του προτύπου DVBT-2 και DVB-T. Και οι δύο τρόποι έχουν παρόμοια διαμόρφωση συμπεριλαμβανομένου του 8K FFT μεγέθους. Χρησιμοποιούν διάταξη αστερισμών στα 64 QAM και ποσοστό κωδικοποίησης σήματος $\frac{3}{4}$.

Η κύρια διαφορά μεταξύ τους είναι ο παράγοντας GI ο οποίος στο γκαουσιανό κανάλι δεν πρέπει να έχει μεγαλύτερη επίδραση από ότι η μείωση της ροής των bits καθώς το GI αυξάνεται. Σύμφωνα με τις μετρήσεις οι απαιτήσεις του CNR στο τρόπο 2 είναι 3,2 dB υψηλότερες από ότι στο τρόπο λειτουργίας 6. Αυτή η διαφορά δημιουργείται από το γεγονός ότι χρησιμοποιείται η κωδικοποίηση LDPC-FEC που ενισχύει την απόδοση του συστήματος εν συγκρίσει με αυτό της χρήσης συνελκτικών κωδικών R-S.

Εκτός από τη χαμηλή απαίτηση του CNR το DVB-T2 επίσης παρέχει υψηλή ροή δεδομένων. Εάν στη στήλη 6 διαμορφώσουμε στα $\frac{1}{4}$ το παράγοντα GI, όπως κάναμε στη λειτουργία 1 και 2, η ροή των bits θα πάει στα 25,5 Mbps, ποσοστό 13% μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ποσοστό ροής bits που παρουσιάζεται στο mode 2 και 28% υψηλότερο από το αντίστοιχο επίσης ποσοστό του mode 1 (και με χαμηλότερες απαιτήσεις (CNR)).

Εάν η στήλη 3 ή 4 επιλεγεί για να αντικαταστήσει τον τρόπο διαμόρφωσης στη στήλη 1 το ποσοστό ροής δεδομένων αυξηθεί από 19,9 Mbps σε 33,2 Mbps (για το ίδιο μήκος GI), με μια αύξηση του λόγου CNR στα 0.5 dB. Τέσσερα προγράμματα HDTV μπορούν να χωρέσουν σε ένα πολυπλέκτη με μια ροή bits στα 33,2 Mbps εάν χρησιμοποιηθεί στατιστική πολυπλεξία ή τέσσερα SD προγράμματα συν ένα ακόμα HD πρόγραμμα εάν ακολουθήσουμε κωδικοποίηση video χαμηλής συμπίεσης.

2.6.6. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων έδειξαν ότι το πρότυπο DVBT-2 έχει καλή επίδοση για τη μετάδοση επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας HDTV.

Παρά το γεγονός ότι και το DVB-T πρότυπο και το DVB-T2 μπορούν εξίσου να χρησιμοποιηθούν για HDTV μετάδοση, το πρότυπο DVB-T έχει μικρότερη χωρητικότητα και επίσης παρουσιάζει αυξημένη ροή δεδομένων που οδηγεί σε αύξηση στο λόγο CNR (λόγος μεταφορέα προς θόρυβο).

Το DVB-T2 περιέχει εξελίξεις στη διαδικασία κωδικοποίησης σήματος και διαμόρφωσης και μας βοηθάει στο να καταφέρουμε περισσότερο να πετύχουμε την απαιτούμενη ροή bits που έχει η μετάδοση για ψηφιακή τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας με τη μόνη διαφορά ότι τα επίπεδα CNR παραμένουν ίδια με αυτά που χρησιμοποιούμε στο πρότυπο DVB-T.

Η δυνατότητες του συστήματος T2 εξαρτάται από τις ακριβείς επιλογές των πολλών παραμέτρων του προτύπου. Αυτές είναι σκόπιμα διαμορφώσιμες, ώστε να γίνει όπως είπαμε μια μελλοντική βελτιστοποίηση. Η επιλογή των παραμέτρων θα απεικονίσει τις ακριβείς βελτιώσεις που απαιτούνται, παραδείγματος χάριν η εναλλαγή συχνοτήτων μεταξύ διπλών καναλιών ή μεταξύ της δυνατότητας μεταφοράς δεδομένων σε σχέση με τις δυσκολίες (παρεμβολές, εξασθένιση κ.τ.λ.) που υπάρχουν σε ένα δίκτυο.

Θα είναι πάντα δύσκολο να γίνουν οι άμεσες συγκρίσεις με άλλα συστήματα, δεδομένου ότι η επιλογή των παραμέτρων είναι διαφορετική. Παραδείγματος χάριν, σε σύγκριση με το DVB-T μια διαμόρφωση T2 που παρέχει ισοδύναμη απόδοση καναλιών μπορεί να επιλεγεί, αν και θα αναμενόταν ότι το σύστημα T2 είναι πιο ισχυρό στα επίγεια κανάλια σε αυτήν την περίπτωση. Αυτό θα οδηγούσε σε μια σημαντική αύξηση στην χωρητικότητα έναντι του DVB-T. Εναλλακτικά, ένα σύστημα με ελαφρώς μειωμένη γκαουσιανή απόδοση, αλλά πιθανώς ακόμα καλύτερη απόδοση στα επίγεια κανάλια, να δώσει μια ακόμα μεγαλύτερη αύξηση στη χωρητικότητα.

3. Το πρότυπο DVB-H

3.1. Εισαγωγή

Το DVB-H, ως πρότυπο μετάδοσης, ορίζει το φυσικό στρώμα καθώς επίσης και τα στοιχεία των χαμηλότερων στρωμάτων πρωτοκόλλου. Χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο εξοικονόμησης ενέργειας βασισμένο στη μετάδοση -πολυπλεξίας χρόνου από τις διαφορετικές υπηρεσίες. Η τεχνική, ονομάζεται **time slicing** (χρονικός τεμαχισμός), και έχει σαν αποτέλεσμα μια μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας των κινητών τερματικών. Με το **Time Slicing** το πρότυπο καταφέρνει να μειώσει τη μέση ισχύ του δέκτη σημαντικά γύρω στο 90-95%. Αλλά, το σημαντικότερο είναι ότι επιτρέπει την ομαλή και χωρίς διακοπές εναλλαγή συχνότητας όταν ο χρήστης, καθώς κινείται, απομακρύνεται από ένα τομέα υπηρεσιών και μπαίνει σε ένα άλλο τομέα-κελί. Η χρήση του Time Slicing είναι υποχρεωτική για το DVB-H. Η μείωση στη σπατάλη ενέργειας είναι σημαντική αφού λαμβάνεται υπ' όψιν το γεγονός ότι τα κινητά τερματικά έχουν μικρή χωρητικότητα μπαταρίας.

Για την αξιόπιστη μετάδοση στις κακές συνθήκες υποδοχής σημάτων, ένα ενισχυμένο σχέδιο προστασίας λαθών στο στρώμα ζεύξης δεδομένων (link layer) εισάγεται στο πρότυπο DVB-H. Αυτή η τεχνική καλείται **MPE-FEC** (εμφωλευμένα πρωτόκολλα - επιπρόσθετη διόρθωση λάθους). Η λειτουργία του MPE-FEC υιοθετεί ισχυρή κωδικοποίηση πάνω από την κωδικοποίηση καναλιών που περιλαμβάνεται στο πρότυπο DVB-T και προσφέρει τη δυνατότητα χρήσης interleavers.

Επιπλέον, το πρότυπο DVB-H παρουσιάζει έναν επιπρόσθετο τρόπο λειτουργίας δικτύων, το **4K OFDM** σύμβολο, που προσφέρει παραπάνω ευελιξία στο σχεδιασμό των δικτύων ενιαίας-συχνότητας (SFNs) που ταιριάζει ακόμα καλύτερα για την κινητή υποδοχή, και παρέχει επίσης ένα ενισχυμένο κανάλι σήματος για τη βελτίωση πρόσβασης στις διάφορες υπηρεσίες.

- **Η εφαρμογή time slicing**
- **Η πρόσθετη κωδικοποίηση MPE-FEC (forward error correction)**
- **Η λειτουργία 4K mode**

3.2 Απαιτήσεις συστήματος DVB-H

Το DVB-H προσφέρει υπηρεσίες μετάδοσης για φορητή και κινητή χρήση¹⁴ που περιέχει εικόνα και ήχο με αποδεκτή ποιότητα. Η ροή δεδομένων πρέπει να είναι ικανοποιητική για το σκοπό αυτό. Μια κατάλληλη ροή δεδομένων που να αποδίδει μια καλή μετάδοση ψηφιακής τηλεόρασης είναι στα 10 Mbps για κάθε κανάλι. Τα κανάλια μετάδοσης διατίθενται συνήθως στις UHF συχνότητες αναμετάδοσης ενώ υπάρχει και η εναλλακτική δυνατότητα από τη ζώνη συχνοτήτων VHF III. Οι συχνότητες μη-ραδιοφωνικής μετάδοσης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν.

Το χαρακτηριστικό περιβάλλον χρηστών ενός φορητού τερματικού DVB-H μοιάζει πολύ με αυτό της κινητής μετάδοσης. Επομένως το DVB-H πρέπει να έχει τη δυνατότητα για παρόμοια γεωγραφική κάλυψη. Ο όρος φορητό τερματικό περιλαμβάνει τα κινητά τηλέφωνα πολυμέσων με έγχρωμες οθόνες υψηλής ανάλυσης καθώς επίσης και προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς (PDA's) και pocket PC's. Όλα αυτά τα είδη συσκευών έχουν διάφορα χαρακτηριστικά γνωρίσματα από κοινού: μικρές διαστάσεις, ελαφριές συσκευές, και λειτουργία με μπαταρίες. Αυτές οι ιδιότητες είναι μια προϋπόθεση για την κινητή χρήση αλλά συγχρόνως υπονοούν διάφορους αυστηρούς περιορισμούς στο σύστημα μετάδοσης. Οι τελικές συσκευές στερούνται έναν εξωτερικό πάροχο ηλεκτρικού ρεύματος στις περισσότερες περιπτώσεις και πρέπει να κάνουν περιορισμένη χρήση ισχύος. Η χαμηλή κατανάλωση είναι απαραίτητη ώστε να έχουμε και λελογισμένη χρήση των φορητών συσκευών.

Η κινητικότητα είναι μια πρόσθετη απαίτηση, που σημαίνει ότι η πρόσβαση στις υπηρεσίες θα είναι δυνατή όχι μόνο σχεδόν σε όλες τις εσωτερικές και υπαίθριες θέσεις αλλά ακόμα και σε οχήματα που κινούνται με υψηλή ταχύτητα. Επίσης, η εναλλαγή συχνοτήτων μεταξύ των γειτονικών

¹⁴Jukka, Henriksson. (2005). "DVB-H standard, principles and services". *DVB-H_HUT magazine*

κυττάρων ενός δικτύου DVB-H πρέπει να συμβεί ανεπαίσθητα όταν κινούμαστε σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Εντούτοις, τα γρήγορα κανάλια είναι πολύ επιρρεπή σε λάθη. Η κατάσταση επιδεινώνεται από το γεγονός ότι οι κεραιές που προσαρμόζονται στις φορητές συσκευές είναι μικρές σε διαστάσεις γεγονός που καθιστά δύσκολο τον προσανατολισμό τους προς τον αναμεταδότη(πηγή) του σήματος εάν το τερματικό είναι στην κίνηση. Μια προσέγγιση ποικιλομορφίας πολυ-κεραιών είναι συνήθως αδύνατη λόγω των περιορισμών στο χώρο. Επιπλέον, μπορεί να έχουμε και παρεμβολές από τα κινητά ράδιο σήματα GSM που μεταδίδονται και που παραλαμβάνονται μέσα στην ίδια συσκευή. Κατά συνέπεια, το να πετύχουμε ταχύτητα λήψης δεδομένων αρκετών Mbit/s με τα φορητά τερματικά είναι ένας πολύ απαιτητικός στόχος.

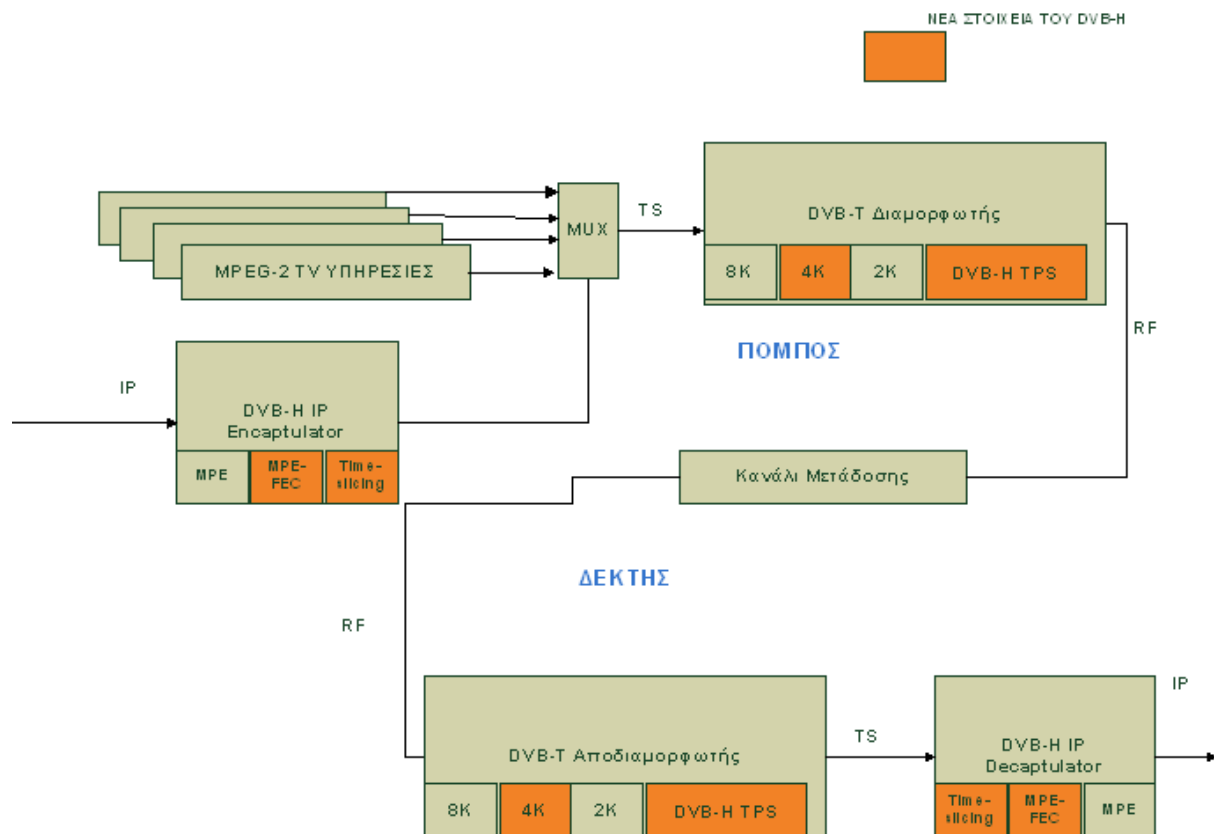
Τέλος, το νέο σύστημα πρέπει να είναι παρόμοιο με το υπάρχον σύστημα DVB-T για επίγεια ψηφιακή τηλεόραση. Το DVB-H και οι δομές δικτύων DVB-T θα πρέπει να είναι συμβατά το ένα στο άλλο όσο το δυνατόν προκειμένου να επιτραπεί η επαναχρησιμοποίηση του ίδιου εξοπλισμού μετάδοσης.

3.3. Ανάλυση Συστήματος

3.3.1. Το φυσικό στρώμα

Η φυσική μετάδοση¹⁵ εκτελείται με τη βοήθεια του προτύπου DVB-T υιοθετώντας (OFDM) διαμόρφωση πολυπλεξίας συχνότητας. Υπάρχει μόνο ένα υποχρεωτικό νέο χαρακτηριστικό γνώρισμα στο φυσικό στρώμα που καθιστά το σήμα DVB-H διακριτό από ένα DVB-T σήμα - συγκεκριμένα μια εκτεταμένη παράμετρος σηματοδότησης για τις στοιχειώδεις ροές πακέτων DVB-H στον πολυπλέκτη. Η σηματοδότηση πραγματοποιείται με ένα τρόπο που είναι συμβατή με το σύστημα DVB-T. Επιπλέον, η ροή δεδομένων του DVB-H είναι πλήρως- συμβατή με τη ροή δεδομένων μεταφορών DVB-T. Αυτές λοιπόν οι δυνατότητες εγγυώνται ότι η ροή δεδομένων DVB-H μπορεί να μεταδοθεί (α) μέσω των δικτύων μετάδοσης DVB-T που αφιερώνονται πλήρως στις υπηρεσίες DVB-H καθώς επίσης και (β) μέσω των δικτύων DVB-T που χρησιμοποιούν τις κλασσικές υπηρεσίες του DVB-T εκτός από τις υπηρεσίες DVB-H συνύπαρξη δικτύων δηλαδή DVB-T και DVB-H. Για αυτόν τον λόγο, ουσιαστικές τεχνολογίες συγκεκριμένες για DVB-H - όπως ο χρονικός τεμαχισμός (**time slicing**) και η επιπρόσθετη διόρθωση λαθών (**MPE-FEC**) - τίθεται σκόπιμα στο στρώμα πρωτοκόλλου επάνω από τη ροή δεδομένων του DVB.

¹⁵ Gerard, faria, jukka a. henriksson, erik stare, pekka talmola. (2006). "DVB-H: Digital broadcast services to handheld devices". *IEEE*



Σχήμα 24. Αλυσίδα εκπομπής-λήψης του προτύπου DVB-H

3.3.2. Λειτουργίες του Φυσικού Στρώματος

3.3.2.1. TPS Signalling Bits

Η σηματοδότηση των παραμέτρων των ροών DVB-H χρησιμοποιεί μια προέκταση του καναλιού TPS (Transmission Parameter Signalling) του DVB-T. Το κανάλι TPS αποτελεί ένα δεσμευμένο κανάλι πληροφοριών που παρέχει παραμέτρους ρύθμισης (tuning parameters) στο δέκτη. Δύο νέα TPS signalling bits πληροφορούν για τη διαθεσιμότητα ροών DVB-H και την πιθανή ύπαρξη προστασίας MPE-FEC σε τουλάχιστον μια ροή. Τα νέα στοιχεία του καναλιού TPS παρέχουν τις πληροφορίες των διαθέσιμων time-sliced ροών από το DVB-H που βρίσκονται στον πολυπλέκτη. Η αναμετάδοση των TPS bits του DVB-T γίνεται υποχρεωτική για το DVB-H. Η δυνατότητα αυτή απλοποιεί την ανακάλυψη των γειτονικών κυψελών στα οποία η επιλεγμένη υπηρεσία είναι διαθέσιμη. Έτσι ο δέκτης μπορεί να ανιχνεύει γρήγορα την ύπαρξη DVB-H υπηρεσιών και να εντοπίζει γειτονικές κυψέλες στις οποίες υπάρχουν κοινές υπηρεσίες.

3.3.2.2. 4K mode

Το DVB-H παρέχει ένα καινούριο τρόπο λειτουργίας στα 4K διπλασιάζοντας έτσι την απόσταση ανάμεσα στους μεταδότες. Είναι ένα καινούριο στοιχείο που εμφανίζεται στο πρότυπο DVB-H το οποίο δημιουργείται από έναν αντίστροφο μετασχηματισμό Fourier με χρήση της OFDM πολυπλεξίας. Η λειτουργία αυτή παρουσιάζεται μόνο σε αφιερωμένα (dedicated) δίκτυα. Μετρήσεις που έχουν γίνει δείχνουν ακριβώς το πώς συμπεριφέρονται οι 3 διαθέσιμες λειτουργίες για διαφορετικούς παράγοντες κατά τη διάρκεια μετάδοσης. Όπως παρατηρούμε από το παραπάνω πίνακα η λειτουργία 4K διπλασιάζει την απόσταση μετάδοσης σε σχέση με το 2K. Τη μεγαλύτερη απόσταση καλύπτει η 8K λειτουργία. Το 4K σύμβολο παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στη σχεδίαση των δικτύων αν και λιγότερη ευαίσθητη στο φαινόμενο εξασθένισης Doppler καθώς υπάρχει καλλίτερη σχέση μεταξύ μεγέθους SFN κυψέλης (λόγος σήματος προς θόρυβο) κι μεγίστης ταχύτητας.

Η χρήση της ορθογώνιας πολυπλεξίας συχνότητας (OFDM) βελτιστοποιεί την ανάπτυξη δικτύου καθώς αυξάνονται οι συχνότητες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα κανάλι μετάδοσης πράγμα που εκμεταλλεύεται το πρότυπο DVB-H.

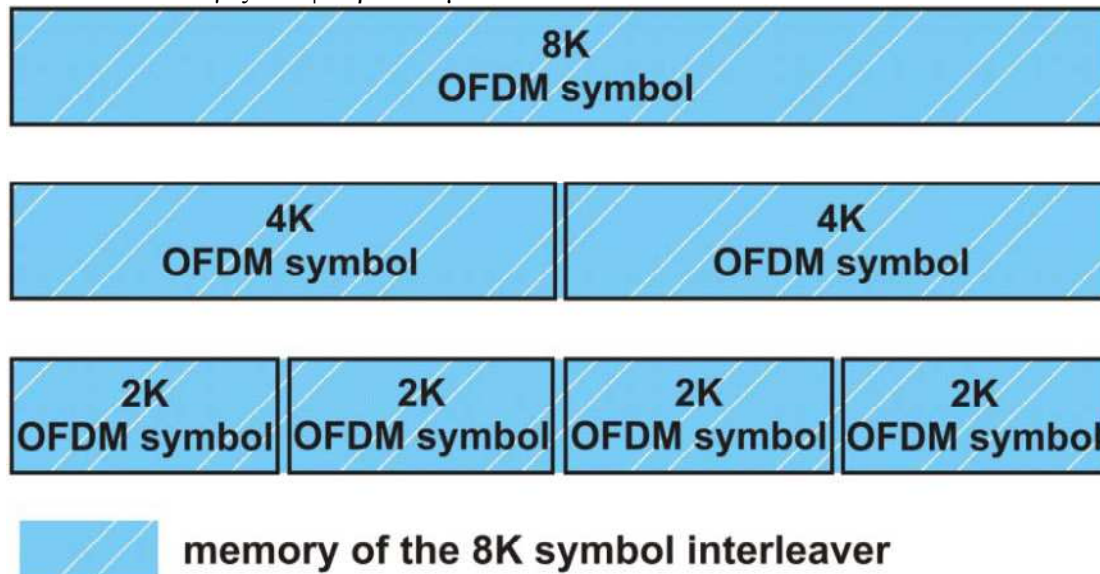
Παραμετροι OFDM Διαμόρφωσης	2K	4K	8K
Μεγέθη FFT	2048	4096	8192
Φέροντα υπό διαμόρφωση	1705	3409	6817
Χρήσιμα φέροντα	1512	3024	6048
Διάρκεια OFDM συμβόλων(μs)	224	448	896
Διάρκεια διαστημάτων φύλαξης (μs)	7, 14, 28, 56	14, 28, 56, 112	25, 56, 112, 224
Διαστήματα φερωντων(kHz)	4.464	2.232	1.116
Μέγιστη απόσταση μεταδοτών (km)	17	33	67

Πίνακας 12. Παράμετροι λειτουργίας στο DVB-H πρότυπο

3.3.2.3. In Depth Interleavers

Σε σχέση με τα 3 διαθέσιμα OFDM σύμβολα ορίζονται και οι αντίστοιχοι interleavers. Ένα τεματικό DVB-H υποστηρίζει το 8K σύμβολο και ενσωματώνει στη λειτουργία του ένα 8K interleaver. Η αυξημένη μνήμη του 8K interleaver χρησιμοποιείται και στα τρία διαθέσιμα μεγέθη. Αυτό μας δίνει αυξημένη απόδοση του δικτύου καθώς ο interleaver του τεματικού μπορεί να επεξεργαστεί δεδομένα σε ένα 8K OFDM σύμβολο, σε δύο 4K OFDM σύμβολα και σε τέσσερα 2K OFDM σύμβολα. Η υλοποίησή τους δεν απαιτεί αύξηση στην πολυπλοκότητα του εξοπλισμού (λογικές πύλες, μνήμη) των μεταδοτών και δεκτών. Ένας τυπικός κινητός αποκωδικοποιητής ήδη

ενσωματώνει αρκετή μνήμη και “λογική” για τη διαχείριση 8K σημάτων, η οποία υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις του 4K. Τέλος, το φάσμα εκπομπής είναι κοινό και για τα τρία modes, επομένως δεν απαιτούνται αλλαγές στα φίλτρα των μεταδοτών.



Σχήμα 25. Τεμαχισμός ενός OFDM συμβόλου 8K σε μικρότερα σύμβολα

3.3.2.4. 5MHz Channel Bandwidth

Επιπλέον των τριών ζωνών συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στην εκπομπή κλασικών τηλεοπτικών σημάτων (VHF band III 174..230 MHz, UHF band IV 470..598 MHz, UHF band V 598..862 MHz) και οι οποίες διαθέτουν φάσμα 6, 7, 8 MHz σε κάθε κανάλι, το DVB-H ορίζει τη χρήση ενός φάσματος 5 MHz που ανήκει σε μη-παραδοσιακά τηλεοπτικά συστήματα εκπομπής.

3.3.2.5. Παράμετροι λειτουργίας φυσικού στρώματος του DVB-H

Για κινητή και φορητή λήψη¹⁶, η πιο χρήσιμη μέθοδος διαμόρφωσης είναι η 16-QAM με ρυθμό κωδικοποίησης 1/2 ή 2/3 απαιτώντας έναν μέσο σηματοθορυβικό λόγο, ενώ παρέχει αρκετή χωρητικότητα για να ικανοποιήσει τις εμπορικές απαιτήσεις:

- Αστερισμός σήματος: QPSK, 16-QAM και αν και δεν προτείνεται, 64-QAM
- FEC: 1/2 και 2/3 (το mode του 1/2 της υψηλότερου αστερισμού παρέχει το ίδιο ρυθμό bit αλλά παρουσιάζει καλύτερο σηματοθορυβικό λόγο σε Rayleigh κανάλι από ένα mode 3/4 π.χ. 16-QAM 1/2 είναι καλύτερο από QPSK 3/4).
- Χρόνος φύλαξης (Guard Interval-G.I.): Εξαρτάται από την τοπολογία του δικτύου, τα ίδια με το DVB-T. Ο G.I. για ένα SFN είναι: για 2K: 1/4, για 4K: 1/4, 1/8 και για 8K: 1/4, 1/8

3.3.3. Επίπεδο Ζεύξης δεδομένων (Link/MAC Layer)

Ο σκοπός του επιπέδου ζεύξης δεδομένων¹⁷ είναι η παροχή μηχανισμών ταυτόχρονης πρόσβασης στο φυσικό μέσο και η προσαρμογή των δεδομένων στο φυσικό πλαίσιο (frame)

¹⁶ Gerard faria, jukka a. henriksson, erik stare, pekka talmola. (2006). “DVB-H: Digital broadcast services to handheld devices”. *IEEE*

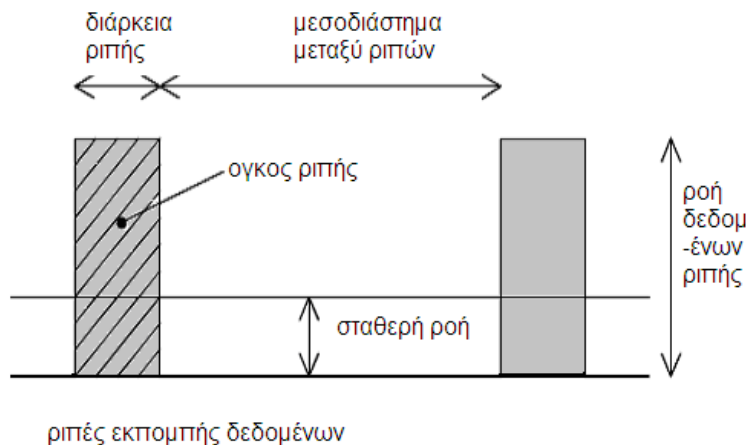
¹⁷ Kornfeld, M. ., Ulrich. (2005). “DVB-H the emerging standard for mobile data communication.” *EBU TECHNICAL REVIEW*

μεταφοράς. Στην περίπτωση του DVB-H, η ταυτόχρονη πρόσβαση δεν αποτελεί πρόβλημα, διότι το φυσικό επίπεδο του DVB-T αποτελεί μονοπάτι πολυεκπομπής (multicast) προς μια κατεύθυνση μόνο (unidirectional). Το πρόβλημα που παρέμενε όμως, ήταν η μετάδοση πολυμεσικού περιεχομένου (το οποίο μεταφέρεται μέσα σε IP πακέτα) σε φορητές συσκευές και η ικανοποίηση των απαιτήσεων των συσκευών αυτών.

Το DVB-H υλοποιεί μια ειδική διαδικασία μετάδοσης (time slicing) και μια τεχνική προστασίας (MPE-FEC) για να διασφαλίσει τη μεταδιδόμενη υπηρεσία απέναντι στις δύσκολες συνθήκες της κινητής λήψης.

3.3.3.1. Time slicing

Ένα σημαντικό πρόβλημα των DVB-H τερματικών είναι η περιορισμένη χωρητικότητα (capacity) της μπαταρίας. Επιπλέον, η συμβατότητα με το DVB-T αποτελεί πρόσθετο φορτίο για τα DVB-H τερματικά, διότι η αποδιαμόρφωση (demodulating) και η αποκωδικοποίηση (decoding) μιας DVB-T ροής με υψηλό ρυθμό μετάδοσης, επιφέρει σπατάλη ενέργειας στο δέκτη και στο τμήμα αποδιαμόρφωσης. Η κατανάλωση ενέργειας σε ένα DVB-T τερματικό είναι περίπου 1 Watt και δεν αναμένεται να μειωθεί κάτω από 600mW. Παράλληλα, ο στόχος των 100mW ως μέγιστο όριο (threshold) για ένα DVB-H τερματικό, είναι απρόσιτος στην περίπτωση του DVB-T.



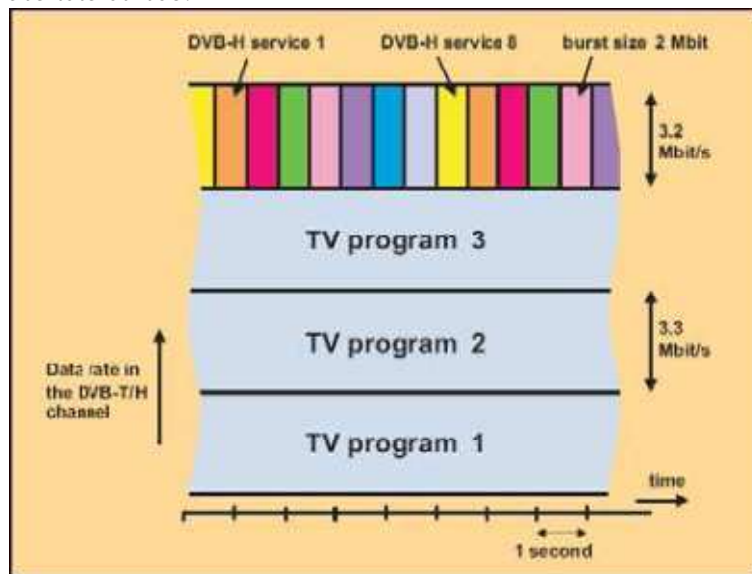
Σχήμα 26. Εκπομπή δεδομένων με εκρήξεις (bursts)

Ένα σημαντικό μειονέκτημα για τα τερματικά που λειτουργούν με μπαταρία είναι το γεγονός ότι με το DVB-T, όλη η ροή των δεδομένων πρέπει πρώτα να αποκωδικοποιηθεί και μετά να γίνει η πρόσβαση στις υπηρεσίες (τηλεοπτικά προγράμματα). Η εξοικονόμηση ενέργειας που προσφέρει το DVB-H προέρχεται από το γεγονός ότι ουσιαστικά μόνο εκείνα τα τμήματα της ροής που μεταφέρουν τα δεδομένα της υπηρεσίας επιλέγονται για να υποβληθούν σε επεξεργασία.

Ωστόσο, η ροή δεδομένων πρέπει να αναδιοργανωθεί με κατάλληλο τρόπο για τον σκοπό αυτό. Με το DVB-H, η πολυπλεξία υπηρεσιών πραγματοποιείται σε μια καθαρή πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM). Τα δεδομένα μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας συνεπώς, δεν μεταδίδονται συνεχώς αλλά σε συμπαγείς περιοδικές εκρήξεις (ριπές) με διακοπές στο ενδιάμεσο. Ο χρόνος μεταξύ των εκρήξεων καθώς και το μέγεθός τους δεν είναι ανάγκη να είναι σταθερά χάρη στην ευελιξία που προσφέρει η παράμετρος Δt . Άρα ένα video stream κωδικοποιημένο με μεταβλητή ροή bits μπορεί να χρησιμοποιεί μεταβλητό μέγεθος εκρήξεων ή μεταβλητό χρόνο μεταξύ των εκρήξεων. Η πολυπλεξία πολλών υπηρεσιών οδηγεί και πάλι σε ένα συνεχή, σταθερό ρυθμό δεδομένων.

Κατά τη διάρκεια της διακοπής, ο αποκωδικοποιητής χρησιμοποιεί τα ενταμιευμένα (buffered) δεδομένα, ώστε ο χρήστης να παρακολουθεί συνεχές τηλεοπτικό σήμα. Εκτιμάται ότι η μέθοδος αυτή μπορεί να παρέχει άνω των τεσσάρων ωρών συνεχούς τηλεοπτικής λήψης σε ένα συμβατικό DVB-H τερματικό.

Η μετάδοση time-sliced DVB-H υπηρεσιών μπορεί να γίνει παράλληλα με παραδοσιακές DVB-T υπηρεσίες (σχήμα 227). Στο παράδειγμα αυτό, ποσοστό 25% της συνολικής χωρητικότητας του DVB-T καναλιού (13,27 Mbit/s) έχει αφιερωθεί σε DVB-H υπηρεσίες, ενώ η υπόλοιπη παραμένει διαθέσιμη σε DVB-T υπηρεσίες. Επομένως είναι δυνατή η συνύπαρξη DVB-H και DVB-T υπηρεσιών στο ίδιο δίκτυο.



Σχήμα 27. Λειτουργία time-sliced υπηρεσιών DVB-H μαζί με DVB-T υπηρεσίες

Για παράδειγμα 500 kbps είναι αρκετά για μια υπηρεσία πολυμεσικού περιεχομένου (ήχου και εικόνας). Όμως το φυσικό επίπεδο επιτρέπει αξιόπιστη λήψη άνω των 10 Mbps. Άρα τουλάχιστον 20 DVB-H υπηρεσίες (500 kbps έκαστη) μπορούν να μεταδοθούν με τη μορφή περιοδικών εκρήξεων των 100 ms, σε χρονικό διάστημα των δύο δευτερολέπτων. Αφού όλα τα δεδομένα μιας υπηρεσίας έχουν ληφθεί μέσα σε ένα πακέτο των 100 ms, ο δέκτης μπορεί να αποδιαμορφώσει το σήμα (στα 100 ms) και να διακόψει (power-off) τη διαδικασία αποδιαμόρφωσης για 1900 ms, περιμένοντας για την επόμενη έκρηξη (της ίδιας υπηρεσίας). Ο δέκτης γνωρίζει τότε να εκκινήσει (power-on), προκειμένου να λάβει την επόμενη ριπή. Σε μια συγκεκριμένη ριπή, ο χρόνος έναρξης της επόμενης ριπής (που ανήκει στην ίδια υπηρεσία) σηματοδοτείται μέσω της παραμέτρου Δ_t , η οποία βρίσκεται σε όλες τις κεφαλίδες των τμημάτων της έκρηξης. Έτσι, η σηματοδότηση γίνεται πολύ ανθεκτική σε σφάλματα μετάδοσης. Στο χρόνο αναμονής (1900 ms), άλλες υπηρεσίες μπορούν να μεταδοθούν. Στο παράδειγμα αυτό ο δέκτης διακόπτει τον RF tuner και το τμήμα αποδιαμόρφωσης κατά ένα ποσοστό 18/20 του συνολικού χρόνου. Ανάλογα με το ποσοστό χρόνου λειτουργίας προς το χρόνο διακοπής, η εξοικονόμηση μπορεί να υπερβεί το 90%.

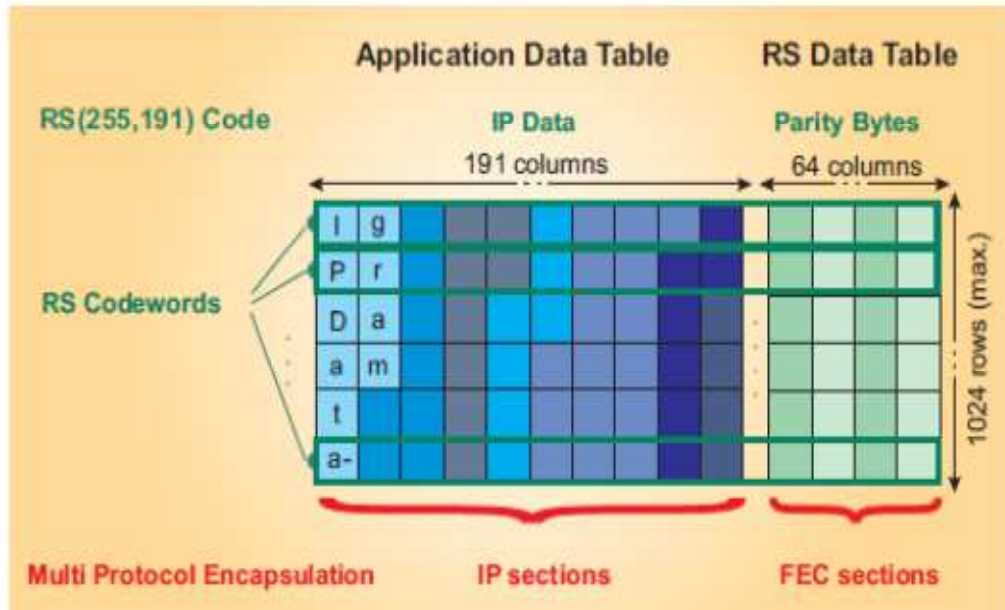
Ο χρονικός τεμαχισμός απαιτεί έναν αρκετά μεγάλο αριθμό πολυπλεγμένων υπηρεσιών και μιας ορισμένης ελάχιστης ριπής ροής δεδομένων για να εγγυηθεί την αποτελεσματική εξοικονόμηση δύναμης. Βασικά, η κατανάλωση ισχύος του συσχετίζεται με τη ροή δεδομένων της υπηρεσίας που επιλέγεται κάθε φορά.

Η τεχνική time-slicing παρέχει ένα ακόμη πλεονέκτημα στην αρχιτεκτονική των τερματικών συσκευών. Μια μεγάλη περίοδος διακοπής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αναζήτηση καναλιών σε γειτονικές κυψέλες, οι οποίες προσφέρουν τις επιλεγμένες υπηρεσίες. Η εναλλαγή συχνότητας δεν γίνεται αντιληπτή και συνεπώς η αναζήτηση και λήψη υπηρεσιών πραγματοποιείται στο τερματικό.

3.3.3.2. MPE-FEC

Το MPE-FEC τοποθετείται στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων (link layer), πριν οι ροές IP ενσωματωθούν στα τμήματα MPE (MPE sections). Το σύστημα MPE-FEC συμπληρώνει το FEC (Forward Error Correction) του φυσικού στρώματος, το οποίο βρίσκεται στο υποκείμενο πρότυπο DVB-T. Το νέο MPE-FEC σχήμα χρησιμοποιεί έναν κωδικοποιητή Reed Solomon (RS coder), σε συνδυασμό με έναν block interleaver. Ο MPE-FEC κωδικοποιητής δημιουργεί μια συγκεκριμένη δομή πλαισίου, το FEC πλαίσιο (FEC frame). Το πλαίσιο αυτό περιέχει έως 1024 γραμμές και σταθερό πλήθος 255 στηλών.

Αποσκοπεί στη μείωση του σηματοθορυβικού λόγου (S/N ratio) κατά τη διάρκεια της λήψης από τη φορητή συσκευή. Πειραματικοί έλεγχοι του DVB-H απέδειξαν ότι η χρήση του MPE-FEC επιφέρει ένα κέρδος περίπου 7 dB, σε σχέση με το DVB-T.



Σχήμα 28. Δομή πλαισίου MPE-FEC

Κάθε κελί του πλαισίου αντιστοιχεί σε ένα byte, επομένως το μέγιστο μέγεθος του πλαισίου είναι περίπου 2 Mbit. Το πλαίσιο χωρίζεται σε δύο τμήματα, τον Πίνακα Δεδομένων Εφαρμογής (Application Data Table) και τον Πίνακα Δεδομένων RS (Reed-Solomon Data Table). Ο πρώτος πίνακας περιλαμβάνει 191 στήλες, ενώ ο δεύτερος 64. Στον πρώτο Πίνακα καταχωρούνται τα IP πακέτα της υπηρεσίας που πρόκειται να προστατευθούν. Κατόπιν εφαρμόζεται ο κώδικας RS(255,191) σε κάθε γραμμή του πρώτου πίνακα και τα bytes ισοτιμίας (parity bytes) που προκύπτουν, καταχωρούνται στο δεύτερο πίνακα. Ύστερα από την κωδικοποίηση, τα IP πακέτα ενθυλακώνονται σε IP τμήματα (IP sections) με τρόπο που ορίζει η τεχνική MPE. Τα δεδομένα εφαρμογής ακολουθούνται από τα δεδομένα ισοτιμίας τα οποία διαβάζονται από το δεύτερο πίνακα ανά στήλη. Κατόπιν ενθυλακώνονται σε διαφορετικά FEC τμήματα. Η δομή του FEC πλαισίου περιέχει ένα εικονικό (virtual) block interleaving, επιπροσθέτως της κωδικοποίησης. Η εγγραφή και το διάβασμα από το FEC πλαίσιο γίνεται ανά στήλη, ενώ η κωδικοποίηση ανά γραμμή.

Οι τεχνικές MPE-FEC, και time slicing αποτελούν από κοινού τον DVB-H κωδικοποιητή (DVB-H codec), ο οποίος παρέχει τη βασική λειτουργικότητα του DVB-H προτύπου. Η τεχνική MPE-FEC σχετίζεται άμεσα με την time-slicing. Και οι δύο τεχνικές εφαρμόζονται σε βασικές ροές και μια time-slicing ριπή μπορεί να περιέχει το περιεχόμενο ενός ακριβώς FEC πλαισίου. Έτσι δίνεται η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης μνήμης στα κυκλώματα του δέκτη. Τέλος, ο διαχωρισμός των IP πακέτων και των αντιστοιχών ισοτιμίας κάθε ριπής, καθιστά τη χρήση της MPE-FEC αποκωδικοποίησης προαιρετική, δεδομένου ότι τα πακέτα εφαρμογών μπορούν να τύχουν ξεχωριστής επεξεργασίας, αγνοώντας την πληροφόρηση που παρέχουν οι ισοτιμίες.

3.3.3.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΖΕΥΞΗΣ

Οι παράμετροι του στρώματος ζεύξης¹⁸, ειδικά οι παράμετροι MPE-FEC, είναι εξαιρετικής σημασίας για τα DVB-H δίκτυα επειδή η ακριβής κάλυψη εξαρτάται το επιπλέον FEC που προστίθεται σ' αυτό το επίπεδο: Για παράδειγμα, χωρίς το MPE-FEC θα ήταν δύσκολο και κοστοβόρο να χτίσεις 8K SFN δίκτυα για κινητή κάλυψη. Απ' την άλλη μεριά, θα πρέπει να έχουμε υπόψη ότι μια ανταλλαγή είναι απαραίτητη μεταξύ του διαθέσιμου ρυθμού bit και της επιπλέον ευρωστίας που απαιτεί μια υπηρεσία που χρησιμοποιεί MPE-FEC.

Ο χρόνος πρόσβασης υπηρεσίας είναι μια κρίσιμη παράμετρος για την χρησιμότητα του DVB-H. Ειδικά η αλλαγή μεταξύ διαφορετικών «καναλιών» υπηρεσίας χρειάζεται να είναι όσο δυνατόν πιο γρήγορο. Αρχικές δοκιμές χρηστών έχουν δείξει ότι χρόνοι εναλλαγής μεταξύ 1.5 και 3 δευτερολέπτων είναι αποδεκτοί. Αυτό σημαίνει ότι η OFF περίοδος του time slicing θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί. Το ζήτημα της μετατόπισης φάσης (για να επιτρέψει την ανώδυνη μεταπομπή σε άλλο σταθμό βάσης) επίσης θέτει όρια στο ελάχιστο διάστημα της OFF περιόδου.

Η δεύτερη σημαντική παράμετρος είναι η κατανάλωση ισχύος. Η μέση κατανάλωση ισχύος ανταλλάσσεται με το χρόνο εναλλαγής καναλιών. Το βέλτιστο σημείο ανταλλαγής επιτυγχάνεται όταν η μέση κατανάλωση ισχύος είναι λίγο πιο κάτω από ένα όριο που ορίζεται και η διάρκεια της OFF περιόδου ελαχιστοποιείται. Η μέση κατανάλωση ισχύος πρέπει να είναι αρκετά χαμηλά ώστε να υπάρχει αρκετός χρόνος χρήσης. Το καθορισμένο όριο για τη μέση κατανάλωση ισχύος, 100 mW, ορίστηκε από την ομάδα του DVB-H από τις εμπορικές απαιτήσεις του DVB-H. Το όριο των 100 mW μπορεί να δικαιολογηθεί από την οπτική μεριά της συνολικής κατανάλωσης ισχύος του τερματικού. Αν η μέση κατανάλωση ισχύος του DVB-H είναι μικρότερο από 100 mW θα είναι λιγότερη απ' το 10% της συνολικής κατανάλωσης ισχύος του τερματικού.

Επιπλέον αυτών υπάρχουν και άλλες παράμετροι για να λάβουμε υπόψη:

- Μέσος ρυθμός bit για τη βασική ροή (Elementary Stream-ES): μια υψηλότερη τιμή θα επιτρέψει περισσότερες υπηρεσίες για κάθε ES και μπορεί να επιτρέψει:
 - Γρήγορη αλλαγή μεταξύ υπηρεσιών στο ίδιο ES
 - Στατιστική πολυπλεξία υπηρεσιών κινούμενης εικόνας (ή ήχου) στο ίδιο ES (με τον ίδιο τρόπο όπως την κανονική DTT πολυπλεξία)
 - Περισσότερη ελαστικότητα σε όρους ρυθμού bit υπηρεσιών
- Χρόνος ριπής/χρόνος διαπλοκής: επηρεάζει την RF επίδοση
- Μέγεθος του MPE-FEC πλαισίου: επηρεάζει την RF επίδοση

Οι κύριοι παράμετροι εισόδου για την διαδικασία επιλογής παραμέτρων του DVB-H από την μεριά του δέκτη είναι:

- Χρόνος συγχρονισμού του δέκτη
- Τιμές κατανάλωσης ισχύος, ενεργή κατάσταση και κατάσταση off

3.3.3.3.1. ΧΡΟΝΟΣ ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ

Ο χρόνος συγχρονισμού του δέκτη είναι διαφορετικός για διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης. Ο χρόνος συγχρονισμού του δέκτη μπορεί να μειωθεί αν οι παράμετροι του DVB-H είναι γνωστές απ' την αρχή. Ο αρχικός συγχρονισμός χωρίς γνώση της ακριβούς κεντρικής συχνότητας στην περίπτωση χρησιμοποιούνται αντισταθμίσματα και οι παράμετροι του DVB-H μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερες. Ωστόσο όταν γίνεται λήψη κατά τη διάρκεια της χρονικής σχισμής η κεντρική συχνότητα και οι παράμετροι του DVB-H παραμένουν ίδιοι. Ως εκ τούτου για τον υπολογισμό της μέσης κατανάλωσης ισχύος πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο μικρότερος χρόνος συγχρονισμού.

¹⁸ www.dvb.org. "Digital video broadcasting (DVB) DVB-H implementation guidelines." DVB (2009).

Ο χρόνος συγχρονισμού μπορεί να διαιρεθεί σε διάφορες φάσεις. Ο RF βρόχος κλειδώματος φάσης (Phase Lock Loop-PLL) πρέπει να σταθεροποιηθεί. Μετά ο αυτόματος έλεγχος κέρδους πρέπει να σταθεροποιηθεί πριν αρχίσει ο COFDM συγχρονισμός. Ο COFDM συγχρονισμός ήταν σ' ένα εύρος 200 με 300 ms στις DVB-T υλοποιήσεις. Εκεί η στρατηγική του συγχρονισμού βασιζόταν πρώτα στην επίτευξη προ-FFT συγχρονισμού και μετα-FFT συγχρονισμού και μετά στο κλείδωμα του TPS. Συνολικά ο συγχρονισμός χρειαζόταν τουλάχιστον 100 OFDM σύμβολα που σήμαινε χρόνο 100 ms σε 8K συστήματα. Ωστόσο πολύ γρηγορότερα σχήματα συγχρονισμού έχουν παρουσιαστεί σε διάφορα συνέδρια. Σ' αυτά τα γρήγορα σχήματα ο χρόνος συγχρονισμού είναι περίπου 15 OFDM σύμβολα που σημαίνει περίπου 15 ms σε 8K συστήματα. Στα 2K και 4K συστήματα ο χρόνος. Αυτές οι τιμές είναι ωστόσο αρκετά αισιόδοξες και σε πρακτικές υλοποιήσεις ο συγχρονισμός θα μπορούσε να είναι ακόμη ταχύτερος:

- Σταθεροποίηση RFP LL 10 ms
- Σταθεροποίηση AGC 20 ms
- COFDM συγχρονισμός 50 ms (8K σύστημα). Σε δύσκολα SFN δίκτυα με ¼ διάστημα φύλαξης (guard interval) ο χρόνος συγχρονισμού ίσως είναι μεγαλύτερος δλδ 80 ms με 90ms.

Ο συνολικός χρόνος συγχρονισμού είναι λοιπόν λιγότερο από 80 ms (120ms για ¼ GI).

3.3.3.3.2. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΙΣΧΥΟΣ στο DVB-H

Ο δέκτης DVB-H έχει πέντε επίπεδα ισχύος. Αυτά είναι RF_ON mode, RF_OFF1 mode, RF_OFF2 mode, RF_OFF3 mode και Sleep mode. Τα modes περιγράφονται στο παρακάτω πίνακα. Η διαχείριση ισχύος του συστήματος βελτιστοποιείται ώστε μόνο οι βαθμίδες που χρειάζονται να ανανεώνονται ή να τροφοδοτούνται. Για τους υπολογισμούς του time slicing οι RF_OFF1 και RF_OFF2 χρόνοι μπορούν να συνδυαστούν. Ο συνδυασμένος χρόνο είναι RF_OFF1.

Οι τυπικές τιμές παρουσιάζονται παρακάτω. Το RF βασίζεται σε άμεσης μετατροπής πυριτιούχου tuner. Η βασικής ζώνης IC τεχνολογία είναι 90 nm. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί τυπικό για μετά το 2006 υλοποιήσεις.

- RF_ON 400 mW (200 mW RF μέρος και 200 mW BB μέρος)
- RF_OFF1 50 mW (RF OFF και data buffering σ' εξέλιξη)
- RF_OFF3 10 mW (περιμένοντας την επόμενη ριπή)

Mode ισχύος	περιγραφή
RF_ON	Το RF κομμάτι είναι ενεργό και η αποδιαμόρφωση του DVB-H είναι ενεργή. Η επιθυμητή ριπή time slicing λαμβάνεται.
RF_OFF1	Το RF κομμάτι είναι κλειστό. Υπολογισμός MPE-FEC σε εξέλιξη. IP πακέτα χωρίς λάθη μπορεί να προωθούνται χωρίς να έχει τελειώσει το MPE-FEC
RF_OFF2	Ο υπολογισμός MPE-FEC τελειώνει. Ο DVB-H δέκτης δίνει δεδομένα για τη μηχανή εφαρμογής
RF_OFF3	Η μεταφορά δεδομένων για τη μηχανή εφαρμογής τελειώνει. Ο δέκτης DVB-H περιμένει την επόμενη ριπή.
SLEEP	Η εφαρμογή DVB-H δεν χρησιμοποιείται. Ο DVB-H δέκτης στο sleep mode περιμένει την wake command

3.3.3.3.3. ΠΕΡΙΟΔΟΣ TIME-SLICING ΚΑΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ MPE-FEC ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΡΙΠΗΣ

Η περίοδος του time-slicing έχει σημαντική επίπτωση στο χρόνο πρόσβασης υπηρεσίας σε περίπτωση αλλαγής καναλιού. Από την μεριά της χρησιμότητας το μήκος της OFF-περιόδου θα πρέπει να είναι όσο δυνατόν μικρότερο. Ο στόχος της μέσης κατανάλωσης ισχύος και η πιθανή χρήση της μετατόπισης φάσης θέτει όρια για το μικρότερο δυνατό μήκος της OFF-περιόδου.

Η περίοδος του time slicing καθορίζεται από το μέγεθος της ριπής και από το ρυθμό bit του Elementary Stream που ονομάζεται εδώ ESstreambitrate:

TOTAL=μέγεθος ριπής/ES streambitrate

Η ON περίοδος καθορίζεται από το μέγεθος ριπής και το ρυθμό ριπής, ο χρόνος κλειδώματος προσθέτει επικεφαλίδα:

ON=μέγεθος ριπής/ρυθμός ριπής+χρόνος κλειδώματος

Ως εκ τούτου η OFF περίοδος είναι:

OFF= μέγεθος ριπής/ESstreambitrate (μέγεθος ριπής/ρυθμός ριπής+χρόνος κλειδώματος)

Το μέγεθος της ριπής στη περίπτωση που χρησιμοποιείται MPE-FEC καθορίζεται κατευθείαν από τον αριθμό των σειρών που χρησιμοποιούνται. Με MPE-FEC ρυθμό κωδικοποίησης $\frac{3}{4}$ (δλδ. 255 στήλες) επιτυγχάνονται τα ακόλουθα μεγέθη ριπών:

- 256 σειρές=512 kbits
- 512 σειρές=1024 kbits=1Mbit
- 768 σειρές=1536 kbits
- 1024 σειρές=2048 kbits=2Mbit

Εύρος συχνοτήτων	VHF(174-230 MHz) UHF(470-838 MHz)	VHF(174-230 MHz) UHF(470-838 MHz)
Διαμόρφωση	16QAM	QPSK
Θερμικός θόρυβος (dBm/Hz)	-174	-174
Εύρος ζώνης(dBHz)	68.8	68.8
Παράγοντας θορύβου	7	7
Απαιτήσεις συστήματος(dB C/N	22	15
Ευαισθησία (dBm)	-76.2	-83.2
Παράγοντας DELTA(dB)	25.5	18.5

Πίνακας 13. Παράμετροι λειτουργίας του DVB-H για διαφορετικά είδη διαμόρφωσης

Παραπάνω φαίνεται ένας πίνακας με κάποιες από τις παραμέτρους λειτουργίας του DVB-H για κάποια είδη διαμόρφωσης, συγκεκριμένα για την QPSK και την 16QAM, σε εύρος συχνοτήτων στις περιοχές VHF και UHF. Έχουν δοθεί σαν παράμετροι ο θερμικός θόρυβος σε dBm/Hz, το εύρος ζώνης συχνοτήτων σε dBHz, ο παράγοντας θορύβου (noise figure), οι απαιτήσεις του συστήματος σε σηματοθορυβικό λόγο σε dB, η ευαισθησία του δέκτη σε dBm και τέλος το DELTA σε dB.

3.4. Σχεδίαση, Μελέτη, Υλοποίηση ενός δικτύου με βάση το πρότυπο DVB-H

3.4.1. Εισαγωγή

Ένα τυπικό δίκτυο¹⁹ αποτελείται από αρκετές SFN περιοχές. Κάθε περιοχή χρησιμοποιεί τη δική της συχνότητα. Το μέγιστο μέγεθος της SFN περιοχής εξαρτάται από το διαθέσιμο τροπο διαμόρφωσης, το guard interval και τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Όπως έχει αναφερθεί η απόσταση ανάμεσα στους μεταδότες μπορεί να αγγίξει τα 70 km. Κάθε SFN περιοχή περιλαμβάνει πιθανώς μερικούς μεταδότες (συγχρονισμένους μέσω GPS), οι οποίοι υποστηρίζονται από επαναλήπτες (repeaters), προκειμένου να καλυφθούν προβληματικά σημεία (holes). Σε σχέση με ένα παραδοσιακό DVB-T δίκτυο, απαιτείται μεγαλύτερο πλήθος συγχρονισμένων μεταδοτών και συνεπώς κεραιές μικρότερου ύψους. Το δίκτυο καλείται πυκνό SFN (dense SFN). Προφανώς το κόστος ενός τέτοιου δικτύου είναι υψηλότερο απ' ότι σε ένα συμβατικό DVB-T δίκτυο. Το πλήθος όμως των υπηρεσιών που παρέχει ο πολυπλέκτης είναι δέκα φορές μεγαλύτερο. Είναι απαραίτητο πρώτα να κάνουμε κάποιους ορισμούς για τη κάλυψη από ένα DVB-H σταθμό εκπομπής. Τέτοιοι ορισμοί πρέπει να βασίζονται σε τεχνικά κριτήρια αλλά θα πρέπει να μπορούν να χρησιμοποιηθούν

¹⁹ David Gómez-Barquero, Jussi Poikonen, Jarkko Paavola, Narcís Cardona. (2010). "Development and applications of a dynamic DVB-H system-level simulator". *IEEE*

και για μη τεχνικούς σκοπούς. Η κάλυψη μιας DVB-T υπηρεσίας χαρακτηρίζεται από μια πολύ γρήγορη μετάβαση από την τέλεια λήψη στην ανυπαρξία λήψης και ως εκ τούτου είναι σημαντικό να μπορεί να οριστεί ποιες περιοχές πρόκειται να καλυφθούν και ποιες όχι. Η περίπτωση του DVB-H είναι πιο απαιτητική καθώς η λήψη αναμένεται να γίνει σε δύσκολες συνθήκες (το τερματικό κινείται, μη οπτική επαφή κ.ά.). Ωστόσο λόγω της πολύ γρήγορης αλλαγής που αναφέρθηκε παραπάνω, υπάρχει μια ποινή αν ο στόχος κάλυψης σε μια μικρή περιοχή (100μ x 100μ) τεθεί πολύ ψηλά. Αυτό συμβαίνει γιατί είναι απαραίτητο είτε ν' αυξηθεί η ισχύς του πομπού είτε να παραχωρηθούν χώροι για πομπούς ώστε να εγγυηθεί η κάλυψη ακόμη και στα ελάχιστα ποσοστά στις χειρότερα εξυπηρετούμενες περιοχές.

3.4.2. Κάλυψη του συστήματος DVB-H

3.4.2.1. ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΑΛΥΨΗ

Στο DVB-H η σταθερή κάλυψη ορίζεται ως η κάλυψη σε μηδενική ή πολύ μικρή ταχύτητα (ταχύτητα περπατήματος)

- Τάξη A λήψη εξωτερικού χώρου με φορητό δέκτη με προσαρμοσμένη ή ενσωματωμένη κεραία. Εξωτερικός χώρος όχι πάνω από 1.5 μέτρα πάνω απ' το έδαφος σε χαμηλή ή καθόλου ταχύτητα
- Τάξη B λήψη εσωτερικού χώρου στο ισόγειο με φορητό δέκτη με προσαρμοσμένη ή ενσωματωμένη κεραία. Εσωτερικός χώρος όχι πάνω από 1.5 μέτρα πάνω απ' το έδαφος σε χαμηλή ή καθόλου ταχύτητα, στο ισόγειο και με ένα παράθυρο στο τοίχο.

Η σταθερή κάλυψη θα συμβεί πρακτικά σε μια μεγάλη ποικιλία καταστάσεων (εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, στο ισόγειο, στο πρώτο όροφο, στους υπόλοιπους ορόφους). Επιπλέον λόγω της φύσης της DVB-H υπηρεσίας, ο κινητός δεκτής πιθανόν να κινείται (με ταχύτητα περπατήματος) ενώ θα παρακολουθείται. Ωστόσο για σχεδιαστικούς σκοπούς μια απλοποίηση μπορεί να θεωρηθεί και για τις δυο τάξεις, A και B. Ο φορητός δέκτης δεν κινείται κατά τη διάρκεια της λήψης και μεγάλα αντικείμενα δίπλα στο δέκτη δεν κινούνται. Επίσης θεωρείται ότι ακραίες περιπτώσεις όπως λήψη σε πλήρως θωρακισμένο δωμάτιο, αγνοούνται. Είναι πιθανόν να βελτιωθεί η λήψη με αλλαγή της θέσης του δέκτη ή με τη χρήση μιας καλύτερης κεραίας.

Αναμένεται να υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις συνθήκες λήψης για σταθερή λήψη εσωτερικού χώρου, εξαρτώμενες ως ενός σημείου, από το επίπεδο του ορόφου στο οποίο γίνεται η λήψη. Ωστόσο θα υπάρχει σημαντική απώλεια από την διείσδυση από ένα κτίριο σε άλλο και σημαντικές διαφοροποιήσεις από ένα μέρος του δωματίου σε άλλο. Επίσης οι κινητοί δέκτες πιθανώς να έχουν απώλειες σώματος σε κάποιες περιπτώσεις π.χ. όταν γίνεται κατέβασμα ενός αρχείου και ο δέκτης είναι στη τσέπη. Αναμένεται ότι η σταθερή κάλυψη επικεντρώνεται σε αστικές περιοχές.

3.4.2.2. ΚΙΝΗΤΗ ΚΑΛΥΨΗ

Στο DVB-H η κινητή λήψη ορίζεται ως η λήψη σε μεσαίες και υψηλές ταχύτητες (δηλαδή όχι ταχύτητες περπατήματος)

- Τάξη C λήψη εξωτερικού χώρου με ένα τερματικό DVB-H που κινείται όπου ο δέκτης κινείται ενώ χρησιμοποιείται. Ο εξωτερικός χώρος νοείται ως επίπεδο έδαφος όχι πάνω από 1.5 μέτρα απ' την επιφάνεια της γης. Ένα παράδειγμα είναι μια ενσωματωμένη κεραία σε αυτοκίνητο.

- Τάξη D εσωτερική λήψη σε κινούμενα αντικείμενα όπως αυτοκίνητα ή οχήματα (λεωφορείο, τρένο, κ.ά.)

Η επίδοση του σηματοθορυβικού λόγου σε κινητά κανάλια θεωρεί ότι ένας ελάχιστος σηματοθορυβικός λόγος + 3 dB πρέπει να ληφθεί υπόψη ($Fd_{C/N \min} + 3$ dB δείχνει την συχνότητα Doppler που μπορεί να επιτευχθεί στο σημείο 3 dB πάνω απ' τον ελάχιστο σηματοθορυβικό λόγο). Πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι το MPE-FEC (προαιρετικό στοιχείο του DVB-H) έχει επίπτωση στον ελάχιστο σηματοθορυβικό λόγο και στη μέγιστη απόκλιση Doppler. Αναμένεται να υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στη λήψη του σήματος για κινητή λήψη, εξαρτώμενες βέβαια από το περιβάλλον του DVB-H τερματικού (εξωτερικός χώρος ή μέσα σε οχήματα). Ωστόσο θα υπάρχουν σημαντικές απώλειες εισόδου εξαιτίας της διαφορετικής κατασκευής των αυτοκινήτων.

Και στις δυο περιπτώσεις θεωρείται ότι οι κινητοί δέκτες κινούνται κατά τη διάρκεια της λήψης και ότι μεγάλα αντικείμενα κοντά στο δέκτη επίσης κινούνται. Υποθέτουμε επίσης ότι ακραίες περιπτώσεις όπως θωρακισμένα οχήματα αγνοούνται.

3.4.2.3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΛΥΨΗΣ

Για να ορίσουμε την περιοχή κάλυψης πρέπει να κάνουμε μια προσέγγιση σε τρία επίπεδα.

3.4.2.3.1 Περιοχή λήψης

Η μικρότερη μονάδα είναι η περιοχή λήψης με διαστάσεις 0.5 μέτρα x 0.5 μέτρα. Στην περίπτωση της φορητής λήψης, θεωρείται ότι οι καλύτερες συνθήκες λήψης θα βρεθούν μετακινώντας είτε την κεραία είτε το τερματικό μέχρι 0.5 μέτρα σε οποιαδήποτε κατεύθυνση. Αυτή η περιοχή θεωρείται ότι καλύπτεται αν ο σηματοθορυβικός λόγος και ο λόγος σήματος προς παρεμβολής επιτυγχάνεται για το 99% του χρόνου.

3.4.2.3.2. Μικρή περιοχή κάλυψης

Το δεύτερο επίπεδο είναι η μικρή περιοχή κάλυψης (100 μέτρα x 100 μέτρα). Η κάλυψη της μικρής περιοχής κατηγοριοποιείται ως εξής: «Καλή», αν τουλάχιστον 95% των περιοχών λήψης στ' άκρα της περιοχής καλύπτονται για φορητή κάλυψη και το 99% των περιοχών λήψης για κινητή κάλυψη. «Αποδεκτή», αν τουλάχιστον 70% των περιοχών στ' άκρα της περιοχής καλύπτονται για φορητή κάλυψη και το 90% των περιοχών για κινητή κάλυψη.

3.4.2.3.4. Περιοχή κάλυψης

Το τρίτο επίπεδο είναι η περιοχή κάλυψης. Η περιοχή κάλυψης ενός πομπού, ή ομάδας πομπών, θεωρείται ότι είναι το σύνολο των μικρών περιοχών κάλυψης όπου επιτυγχάνεται μια δεδομένη κλάση κάλυψης.

3.4.2.4 Η εφαρμογή της ανάλυσης και απόδοσης του συστήματος

Ο σταθμός βάσης (BS) κεραία βρίσκεται στην ταράτσα ενός κτιρίου σε ύψος 64 m. Η περιοχή μέτρησης είναι ως επί το πλείστον προαστιακή. Η κεραία είναι κατευθυντική. Το κέρδος της κεραίας είναι 7.5 dBd. Ένας DVB-H σήμα με διαμόρφωση συστήματος 16-QAM με ρυθμό κωδικοποίησης 2/3 και εύρος ζώνης (BW) στα 7,61 MHz μεταδίδεται από την κεραία εκπομπής (Tx). Η συχνότητα υπό εξέταση είναι 602 MHz. Η αποτελεσματική ακτινοβολούμενη ισχύς (ERP) της BS κεραίας ισούται με 37,76 dBW.

Η κεραία λήψης Rx, είναι κατευθυντική. Οι μετρήσεις διενεργούνται στα 2.85 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Η κεραία του δέκτη είναι κάθετα πολωμένη και το κέρδος είναι 0 dBd. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με εύρος συχνοτήτων από 20 Hz έως σε 26,5 GHz. Η κεντρική συχνότητα κυμαίνεται από 602 MHz, διάρκεια συχνότητας στα 30 MHz και εύρος ζώνης στα 5 MHz. Χρησιμοποιώντας ένα αυτοκίνητο, το RX κινείται με σταθερή ταχύτητα στο περιβάλλον.

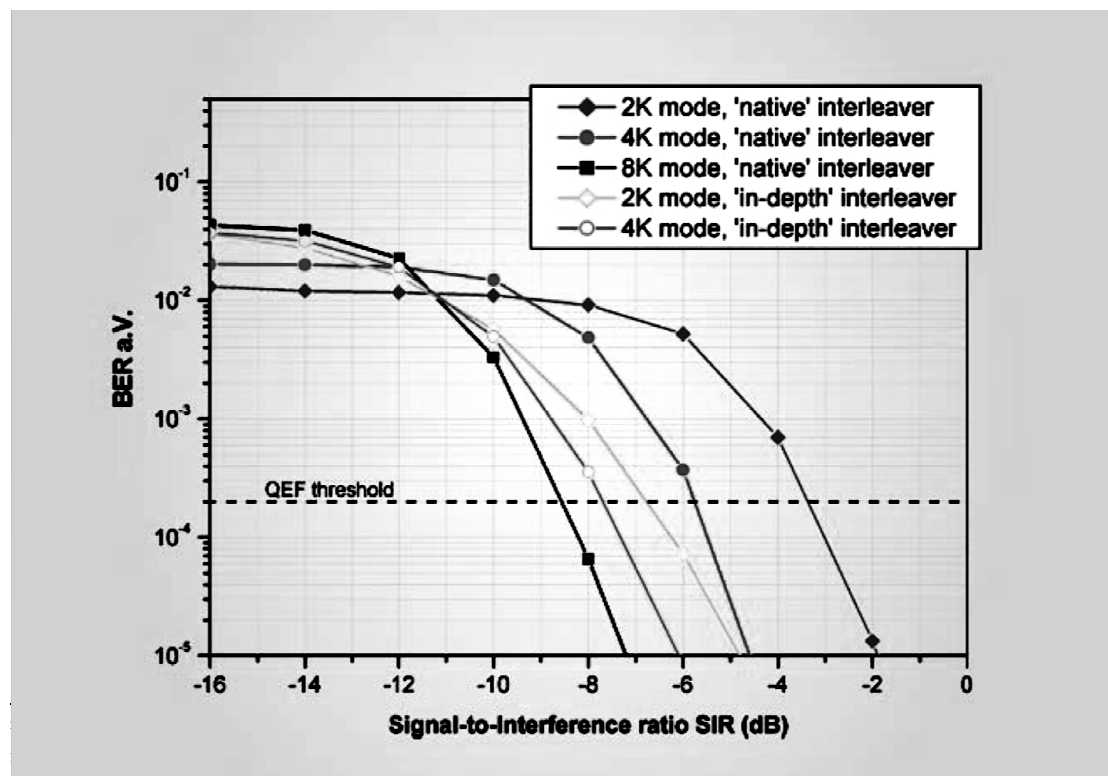
Πρώτον, ο θόρυβος καθορίζεται για κάθε κομμάτι της μέτρησης. Στη συνέχεια, ένα περιθώριο 5 dB, προστίθεται. Τα δείγματα τα οποία είναι κάτω από το κατώφλι του θορύβου συν το περιθώριο αυτό απορρίπτονται. Για να πετύχουμε όσο το δυνατό μικρότερες διακυμάνσεις από την διάλειψη του λαμβανόμενου σήματος έχουμε 50 δείγματα για κάθε 40 μήκη κύματος. Η δειγματοληψία των σημείων μέτρησης εξαρτάται από την ταχύτητα του αυτοκινήτου. κατ' ανώτατο όριο η ταχύτητα που έχει χρησιμοποιηθεί είναι στα 25 km / h για την απόκτηση των δεδομένων των μετρήσεων. Και για κάθε κομμάτι, λήφθηκε υπόψη οι περιβαλλοντικές συνθήκες (μεγάλος / στενός δρόμος, κατοικημένη / προαστιακή περιοχή, ψηλά / χαμηλή κτίρια) Τα συνολικά 1.167.985 δείγματα διατηρούνται για την περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων. Θεωρούμε αποστάσεις από περίπου 100 m έως 14000 m από το Σταθμό Βάσης (BS).

Τα αποτελέσματα προσομοίωσης²⁰ που εξάγονται από το παράδειγμα της ανάλυσης, αφορά την απόδοση από το 4K mode και με την έννοια της χρήσης των «σε βάθος» συμβόλων διεμπλοκής. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης περιγράφουν τον αντίκτυπο του παρέμβασης σήματος από μια πηγή ώθησης θορύβου (στην πράξη μια ακτινοβολούσα ηλεκτρική συσκευή ή σύστημα ανάφλεξης ενός αυτοκινήτου) και αποτελέσματα της κινητής λήψης σε ένα περιβάλλον πολλαπλών διαδρομών, αντίστοιχα. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση ήταν η ακόλουθη:

- 1) 16-QAM διαμόρφωση
- 2) MPE-FEC κωδικοποίηση με ρυθμό 2/3
- 3) μήκος διαστήματος φρουράς GI 1/4.

Όλοι οι τρόποι λειτουργίας του δικτύου (2K, 4K και 8K) συγκρίνονται μεταξύ τους. Επιπροσθέτως, η επίδραση του προαιρετικού «σε βάθος» διεμπλοκέα - που καθορίζεται μόνο για 2K και τις 4K περιπτώσεις - εξετάζεται. Το ποσοστό λάθους bits (BER) παρουσιάζεται ως λειτουργία των βλαβών στα διάφορα κανάλια που εξετάζονται.

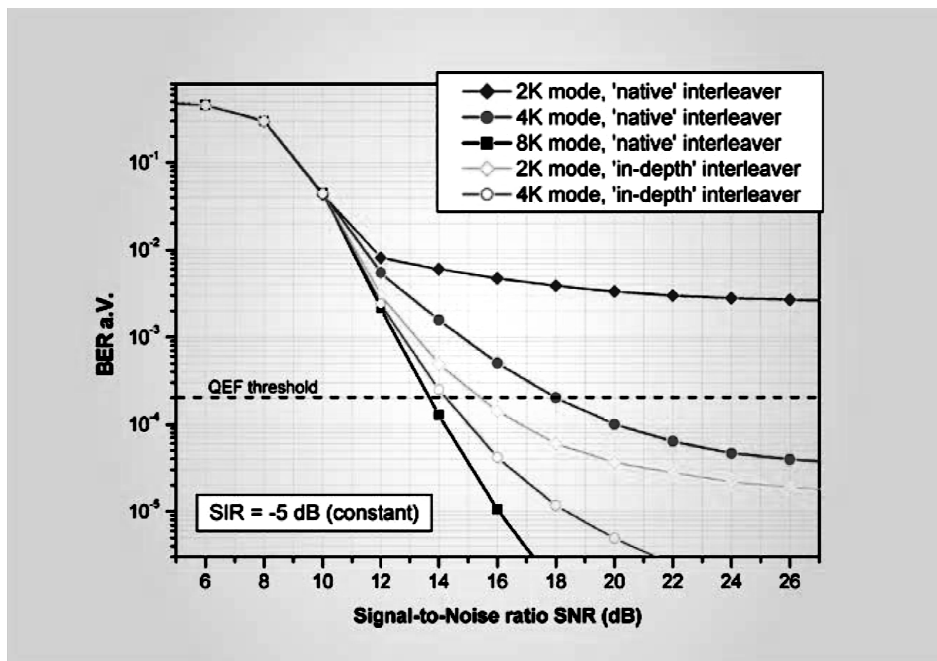
Καταρχάς, η στιγμιαία αναλογία σήματος-παρέμβασης (signal-to-interference ratio) προκλήθηκε χωρίς άλλο θόρυβο ή διαστρέβλωση σήματος όπως παρουσιάζεται στο Σχ. 31.



--H signal

Σχήμα 29. Στιγμαιαία αναλογία σήματος-παρέμβασης

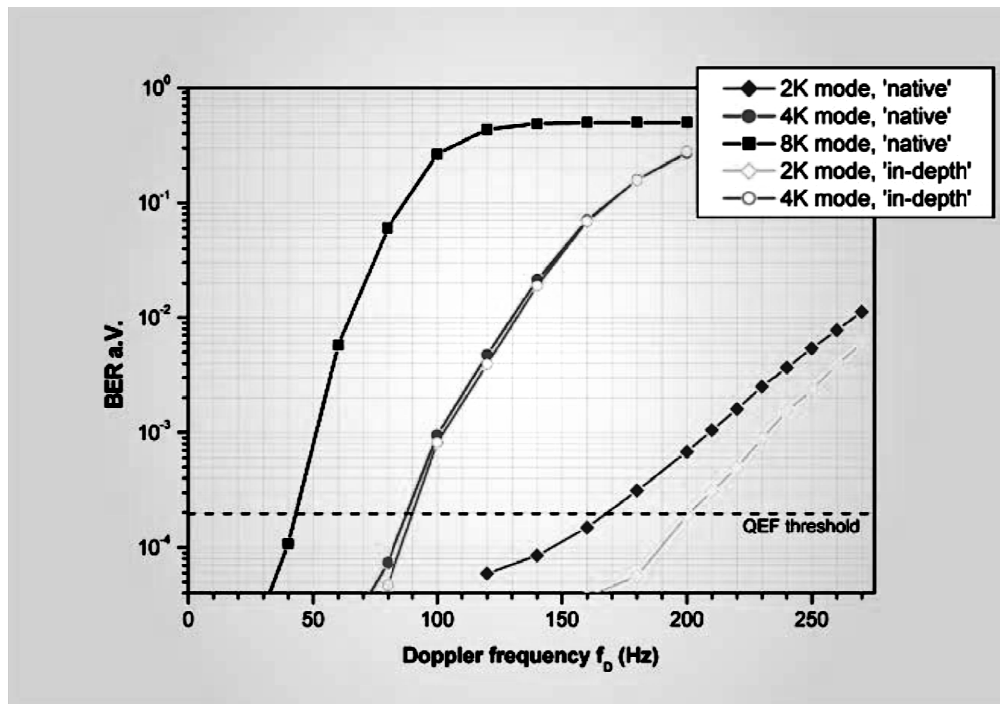
Αφετέρου, στο Σχ.32 παρουσιάζεται η σύγκριση απόδοσης σε ένα σταθερό επίπεδο θορύβου ώθησης 5 DB επάνω από το επίπεδο σημάτων (ο SIR = - 5 DB) ως λειτουργία της αναλογίας του σήματος προς θόρυβο (SNR) όταν έχουμε AWGN (Additive White Gaussian Noise). Τα αποτελέσματα στο σχήμα 32 δείχνουν ότι το «in depth interleaver» προκαλεί ένα πραγματικό όφελος σε σύγκριση με το «native interleaver» αλλά και ότι το 8K ξεπερνά τα 2K και 4K σύμβολα.



Σχήμα 30. Σηματοθορυβικός λόγος για διαφορετικά μεγέθη σύμβολων σε σχέση με το BER

Στη περίπτωση της λήψης από κινητά τερματικά χρησιμοποιήθηκε η συχνότητα Doppler. Η συχνότητα Doppler στο ληφθέν σήμα ποικίλει ανάλογα της ταχύτητας κίνησης του δέκτη.

Τα αποτελέσματα στο σχήμα 33 επιβεβαιώνουν ότι η ανοχή Doppler του 4K βρίσκεται δεξιά από τις αντίστοιχες τιμές που αφορούν την ανοχή Doppler για μεγέθη FFT 2K και 8K. Υπάρχει μια ποσοστιαία διαφορά περίπου 2 μονάδων από τον ένα τρόπο λειτουργίας στον άλλον και επίσης παρατηρούμε ότι ο το «in depth interleaver για μέγεθος FFT 4K καταφέρνει να αλλάξει σημαντικά την απόδοση κατά τη λήψη.



Σχήμα 31.
Ανοχή Doppler
για διαφορετικά
interleavers

Στην συνέχεια παραθέτουμε κάποιες ενδεικτικές τιμές²¹ στο λόγο C/N για διαφορετικές τιμές διαμόρφωσης, συμβόλων OFDM, MPE-FEC κωδικοποίησης και ταχύτητας του κινητού τερματικού που εξετάσαμε καθώς και για τα άλλα σενάρια λήψης όπως η φορητή και η σταθερή.

Διάστημα φάλαξης=1/4			2K		Ταχύτητα (km/h) στη συχνότητα των F _{3db}		4K		Ταχύτητα (km/h) στη συχνότητα των F _{3db}		8K		Ταχύτητα (km/h) στη συχνότητα των F _{3db}	
Διαμόρφωση	Ρυθμός Κωδικοποίησης	MPE-FEC Ρυθμός Κωδικοποίησης	C/Nmin db	Συχνότητα στα 3db(F _{3db}) Hz	476 MHz	746 MHz	C/Nmin db	Συχνότητα στα 3db(F _{3db}) Hz	476 MHz	746 MHz	C/Nmin db	Συχνότητα στα 3db(F _{3db}) Hz	476 MHz	746 MHz
16-QAM	2/3	2/3	18.0	380	866	550	18.0	190	433	275	18.0	95	216	138

Πίνακας 14. Λόγος σήματος προς θόρυβο (C/N) για 5 % MFER σε κινητό κανάλι (Doppler)

Διαμόρφωση	Ρυθμός Κωδικοποίησης	Γκαουσιανό Κανάλι
16-QAM	2/3	11.7

Πίνακας 15. Λόγος σήματος προς θόρυβο (C/N) για 5 % MFER για σταθερή λήψη (Γκαουσιανό κανάλι)

Διαμόρφωση	Ρυθμός Κωδικοποίησης	Rayleigh κανάλι
16-QAM	2/3	16.7

Πίνακας 16. Λόγος σήματος προς θόρυβο (C/N) για 5 % MFER σε φορητό κανάλι (Rayleigh)

²¹ www.dvb.org. "Digital video broadcasting (DVB) DVB-H implementation guidelines." DVB (2009).

(*MFER =υποδοχή μετά από την MPE-FEC διόρθωση)

4. Αρχιτεκτονικές σύγκλισης ασύρματων και ενσύρματων δικτύων

4.1 Εισαγωγή

Μελετώντας τη σημερινή μεταφορά δεδομένων σε κινούμενα τερματικά, φαίνεται ότι η χωρητικότητα των υπαρχόντων συστημάτων επικοινωνίας δεν είναι ικανοποιητική για ένα αρκετά μεγάλο αριθμό εφαρμογών. Παρά το γεγονός ότι τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς (UMTS) είναι περισσότερο κατάλληλα από τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (GSM/UPRS) παρουσιάζουν περιορισμούς όσον αφορά τη μετάδοση ήχου και βίντεο, κάτι το οποίο συνήθως χρειάζεται υψηλή ταχύτητα δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα η μεταφορά δεδομένων που αφορά ένα μεγάλο αριθμό χρηστών την ίδια στιγμή, θα απορροφούσε ένα σημαντικό αριθμό της ισχύς των κινητών δικτύων. Οπότε για αυτό το λόγο πρέπει να βρεθούν καινούργιες λύσεις προκειμένου να διαχειριστούμε μια σημαντική ποσότητα της ισχύς των κινητών δικτύων.

Γενικά ένα υβριδικό δίκτυο²² είναι ένας συνδυασμός από δύο ή περισσότερα ανεξάρτητα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Συγκεκριμένα, ο κοινός σκοπός των ψηφιακών δικτύων εκπομπής (όπως το DVB-T/H) και διαδραστικά δίκτυα όπως το GPRS/UMTS παρουσιάζουν τεράστιο ενδιαφέρον. Προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία των υβριδικών δικτύων θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπ' όψιν τα χαρακτηριστικά των δικτύων που συμμετέχουν σε αυτό το υβριδικό μοντέλο ανεξαρτήτως. Το δίκτυο ευρυεκπομπής έχει τη δυνατότητα εκπομπής ίδιων στοιχείων για ένα μεγάλο αριθμό πελατών. Είναι δυνατόν να μεταφέρουμε μεγάλου όγκου δεδομένα αλλά δεν υπάρχει κανένα κανάλι επιστροφής διαθέσιμο το οποίο μπορεί να αλληλεπιδράσει με τον πάροχο υπηρεσιών..

Σε αντίθεση, τα υβριδικά δίκτυα τηλεπικοινωνιών είναι εξ' ορισμού εξοπλισμένα με ένα κανάλι επιστροφής. Όμως σε αυτή την περίπτωση, ωστόσο μπορούμε μόνο να παρέχουμε ένα σχετικά χαμηλό όγκο δεδομένων στη μετάδοσή τους. Δημιουργώντας μια έξυπνη διαχείριση πρόσβασης που μπορεί να επιτευχθεί από ένα υβριδικό δίκτυο, μπορούμε να πετύχουμε καλύτερη λειτουργία από οποιοδήποτε άλλο δίκτυο που λειτουργεί ξεχωριστά.

Το IP DataCasting αποτελεί τεχνολογία εκπομπής (broadcast) ή πολυεκπομπής (one-to-many/multicast) και συνεπώς αποτελεί οικονομικό και αποδοτικό μέσο για πρόσβαση στο ευρύ κοινό. Για τους καταναλωτές τα οφέλη περιλαμβάνουν ένα νέο τρόπο πρόσβασης ψηφιακού

²² www.Dvb.Org Ulrich, Reimers (2009). "An overview of DVB-H and the IP datacast system."

περιεχομένου και υπηρεσιών, μέσω σταθερών ή κινητών τερματικών συσκευών. Το IP DataCasting στο DVB-H αποτελεί λοιπόν, το τεχνολογικό κλειδί για τη ψηφιακή σύγκλιση μεταξύ παραδοσιακού τηλεοπτικού και τηλεπικοινωνιακού κόσμου. Η σύγκλιση επιτυγχάνεται διότι:

- Η τεχνολογία εκπομπής έχει ψηφιακό μέλλον
- Η ψηφιακή εκπομπή ανοίγει νέους διαύλους διανομής περιεχομένων
- Η τεχνολογία IPDC παρέχει τους πόρους που απαιτούνται για να καταστούν επιτυχείς οι διάφορες υπηρεσίες εκπομπής πολυμεσικών περιεχομένων
- Το ψηφιακό περιεχόμενο είναι ήδη διαθέσιμο και μπορεί να χρεωθεί σύμφωνα με την κατανάλωση.

4.2. Σύγκλιση ενσύρματου και ασύρματου δικτύου για IP Datacasting υπηρεσίες

Στο συγκεκριμένο λοιπόν κομμάτι της έρευνας μας, θα αναλύσουμε και θα προσομοιάσουμε τη λειτουργία ενός υβριδικού μοντέλου. Επίσης θα παρουσιάσουμε έναν αλγόριθμο για μια πιο έξυπνη διαχείριση καθώς και θα δούμε πως αντιμετωπίζονται τα λάθη σε ένα υβριδικό μοντέλο. Οι όροι που θα μελετηθούν είναι οι παρακάτω:

- DVB-H
- Υβριδικά δίκτυα
- Συνάρτηση κόστους (Cost function)
- Διαχείριση πρόσβασης (Access management)
- Κανάλι επιστροφής (Return Channel)

4.2.1. Επισκόπηση Συστήματος

Η κατασκευή ενός end-to-end DVB-H συστήματος ενδέχεται να απαιτεί χρήση των υπαρχόντων δικτύων κινητής τηλεφωνίας πχ. για την τιμολόγηση των συνδρομητών. Η αρχιτεκτονική ενός συνεργατικού συστήματος μεταξύ mobile και broadcast operators παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.

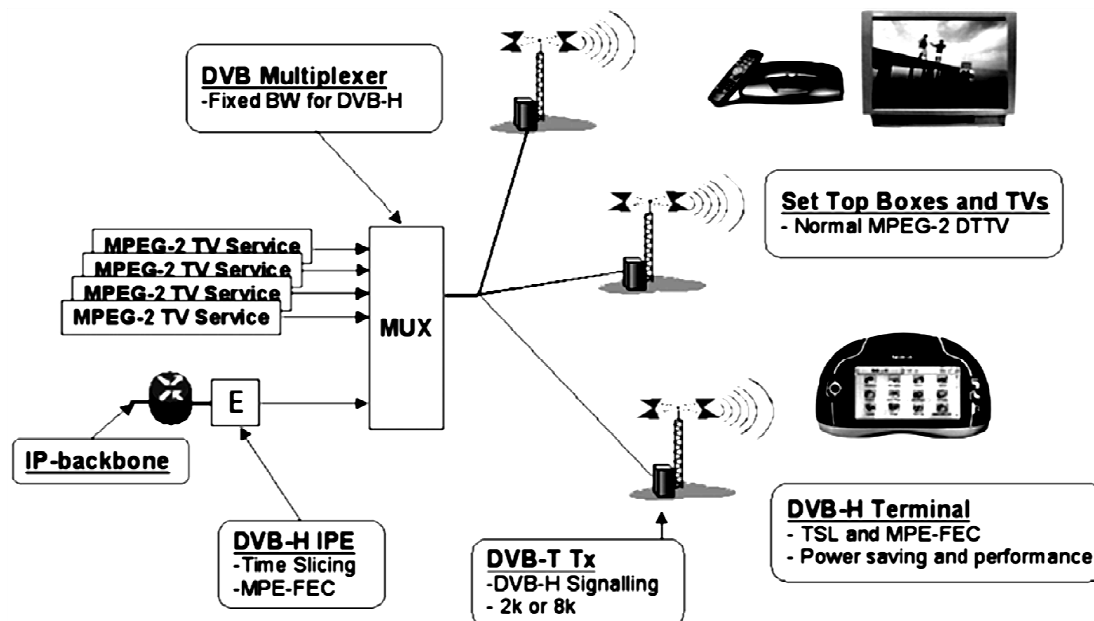
Οι υπηρεσίες εκπομπής μπορούν να μεταδοθούν από το DVB-H χωρίς τη χρήση του καναλιού αλληλεπίδρασης (interaction channel). Αν κριθεί αναγκαίο, το κανάλι παρέχεται από ένα κυψελωτό δίκτυο πχ. GSM δίκτυο. Ενώ τα DVB-T δίκτυα εξυπηρετούν κυρίως roof-top κεραιές, ένα DVB-H σύστημα πρέπει να σχεδιασθεί με προδιαγραφές φορητής λήψης εντός κτιρίων. Απαιτείται λοιπόν ισχυρότερο σήμα προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες. Οι αρχιτεκτονικές των δικτύων DVB-H εξαρτώνται από τις διαθέσιμες συχνότητες, το ύψος των κεραιών, τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ των μεταδοτών κλπ. Τα ακόλουθα δικτυακά σενάρια είναι πιθανά²³ :

- Κοινόχρηστα με DVB-T δίκτυα (DVB-T shared networks)
- Αφιερωμένα DVB-H δίκτυα (dedicated DVB-H networks)

²³ www.dvb.org. "The convergence of broadcast & telecommunications platforms."UMTS23Rev1 (2002).

4.2.1.2. DVB-T Shared Networks

Ένα κοινόχρηστο δίκτυο φαίνεται στο σχήμα.



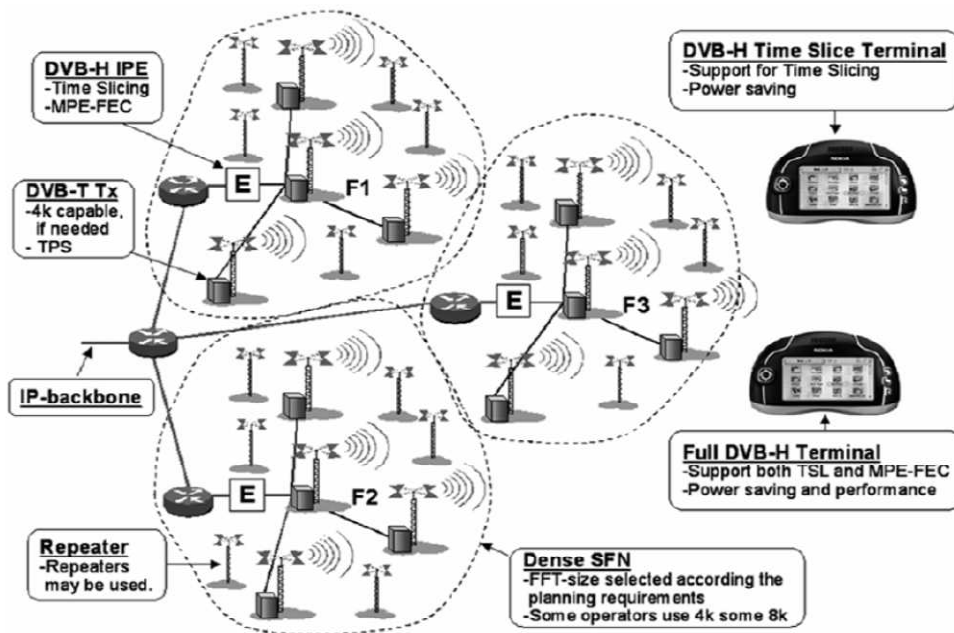
Σχήμα 32. Κοινόχρηστο δίκτυο DVB-T/H

Ένα σύνολο DVB-T μεταδοτών εξυπηρετεί DVB-T και DVB-H τερματικές συσκευές. Το υπάρχον DVB-T δίκτυο πρέπει να είναι σχεδιασμένο για φορητή εσωτερική λήψη (portable indoor reception) και επομένως να παρέχει ισχυρό σήμα στις φορητές συσκευές. Η μόνη απαραίτητη μετατροπή (στους μεταδότες) είναι η ενσωμάτωση των DVB-H bits σηματοδότησης στις παραμέτρους του καναλιού TPS (Transmission Parameter Signalling channel).

Η κοινόχρηστη λειτουργία αφορά το στάδιο της πολύπλεξης. Το DVB-H παρέχει πλήρη ευελιξία στην επιλογή του τμήματος της πολύπλεξης, που θα χρησιμοποιηθεί για DVB-H υπηρεσίες. Το πιο σημαντικό δικτυακό τμήμα είναι ο IP-Encapsulator (DVB-H IPE), όπου υλοποιούνται οι τεχνικές MPE, time-slicing και MPE-FEC. Μια εναλλακτική λύση κοινής χρήσης του δικτύου είναι η υιοθέτηση DVB-T ιεραρχικής διαμόρφωσης (DVB-T hierarchical modulation). Στην περίπτωση αυτή, οι MPEG-2 και DVB-H IP υπηρεσίες κατέχουν ανεξάρτητες εισόδους ροών μετάδοσης στους DVB-T μεταδότες. Οι DVB-H υπηρεσίες χρησιμοποιούν το τμήμα υψηλής προτεραιότητας (high-priority part), το οποίο προσφέρει αυξημένη απόδοση, σε σχέση με το τμήμα χαμηλής προτεραιότητας (low-priority part), το οποίο χρησιμοποιείται από τις κανονικές ψηφιακές τηλεοπτικές υπηρεσίες.

4.2.1.3. Dedicated DVB-H Networks

Η ελευθερία στο δικτυακό σχεδιασμό αυξάνεται όταν μια πλήρης πολύπλεξη μπορεί να αφιερωθεί (dedicate) στο σύστημα DVB-H. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί το νέο 4K mode και οι in-depth interleavers. Ένα αφιερωμένο δίκτυο φαίνεται στο σχήμα.



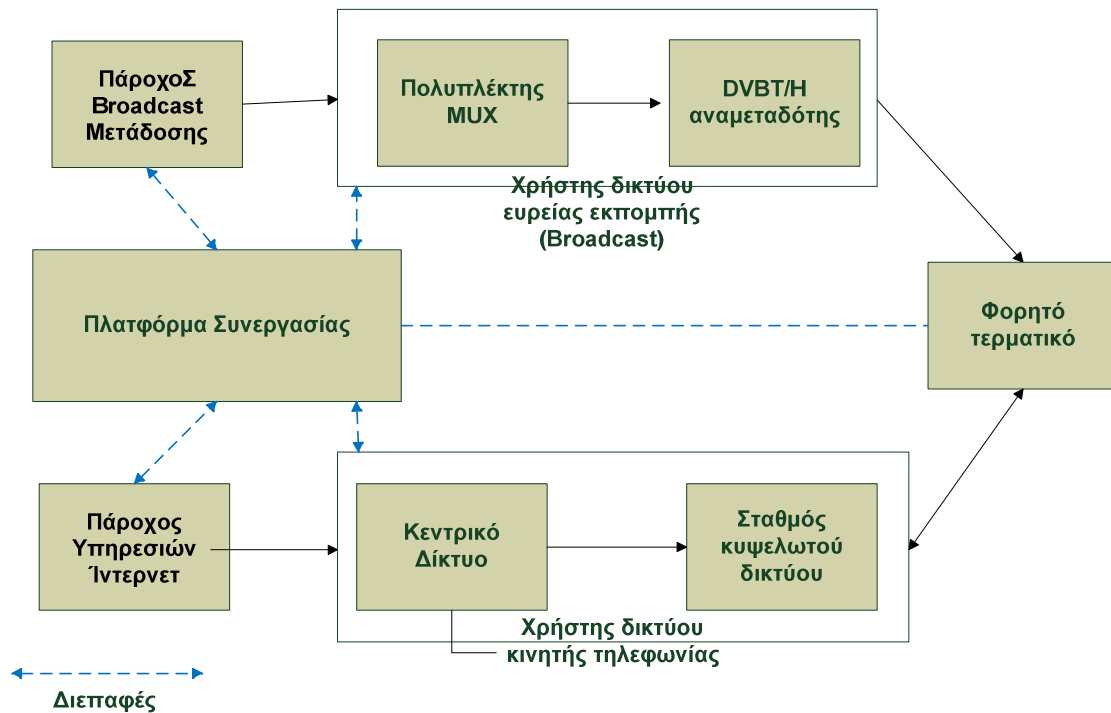
Σχήμα 33. Dedicated DVB-H Networks

Ένα τυπικό δίκτυο αποτελείται από αρκετές SFN περιοχές. Κάθε περιοχή χρησιμοποιεί τη δική της συχνότητα. Το μέγιστο μέγεθος της SFN περιοχής εξαρτάται από το διαθέσιμο mode, το guard interval και τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Όπως έχει αναφερθεί η απόσταση ανάμεσα στους μεταδότες μπορεί να αγγίζει τα 70 km. Κάθε SFN περιοχή περιλαμβάνει πιθανώς μερικούς μεταδότες (συγχρονισμένους μέσω GPS), οι οποίοι υποστηρίζονται από επαναλήπτες (repeaters), προκειμένου να καλυφθούν προβληματικά σημεία (holes). Σε σχέση με ένα παραδοσιακό DVB-T δίκτυο, απαιτείται μεγαλύτερο πλήθος συγχρονισμένων μεταδοτών και συνεπώς κεραίες μικρότερου ύψους. Προφανώς το κόστος ενός τέτοιου δικτύου είναι υψηλότερο απ' ό τι σε ένα συμβατικό DVB-T δίκτυο. Το πλήθος όμως των υπηρεσιών που παρέχει ο πολυπλέκτης είναι δέκα φορές μεγαλύτερο.

4.2.2. Αρχιτεκτονική υβριδικού μοντέλου

Η ανάλυση είναι βασισμένη στο σχήμα 34 παρουσιάζοντας τη δομή ενός υβριδικού μοντέλου²⁴. Στο παρακάτω διάγραμμα, παρουσιάζεται σχηματικά η μορφή ενός υβριδικού μοντέλου το οποίο αποτελείται από ένα πάροχο υπηρεσιών internet (Internet Service Provider), ένα πάροχο broadcast μετάδοσης, και ένα τερματικό κινούμενου χρήστη. Επίσης παρατηρούμε από τι αποτελείται ο πάροχος broadcast μετάδοσης (Broadcast Service Provider) και το τερματικό κινούμενου χρήστη. Για να δημιουργήσουμε μια σύνδεση ανάμεσα στον πάροχο internet (Internet Service Provider) και στο τερματικό του κινούμενου χρήστη (Mobile Terminal), το δίκτυο πρέπει να παρέχει πρόσβαση από διαφορετικά κανάλια πρόσβασης. Γι' αυτό το σκοπό, τα δεδομένα του ISP μεταδίδονται μέσω του καναλιού της broadcast μετάδοσης. Σε ένα διαδραστικό δίκτυο όπως το συγκεκριμένο, τα δεδομένα διαβιβάζονται μέσω πακέτων. Ανάλογα με τη δομή του υβριδικού δικτύου μπορούν να υπάρξουν διάφορα κύτταρα από το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας τα οποία συμπίπτουν με μόνο ένα δίκτυο από το υβριδικό δίκτυο.

²⁴ E. Costa, M. L. (2007) "Hybrid propagation models for broadcast coverage predictions"



Σχήμα 34. Βασική Αρχιτεκτονική ενός Υβριδικού Δικτύου

Σε ένα υβριδικό δίκτυο απαιτείται ένα υποσύστημα που να εξασφαλίζει τον έλεγχο συστημάτων και τη μετάδοση του σήματος μεταξύ των συμβαλλόμενων μερών που συμμετέχουν στην παροχή υπηρεσιών. Αυτός ο στόχος παρέχεται από την πλατφόρμα μεσολάβησης και τις διεπαφές που υποδεικνύονται στο σχήμα. Οι λογικές διεπαφές είναι: I_{MT} , I_{MO} , I_{BO} , και I_{SP} . Οι δείκτες αυτοί περιγράφουν τους συνεργάτες επικοινωνίας του κινούμενου χρήστη που επιτυγχάνεται μέσω της αντίστοιχης διεπαφής.

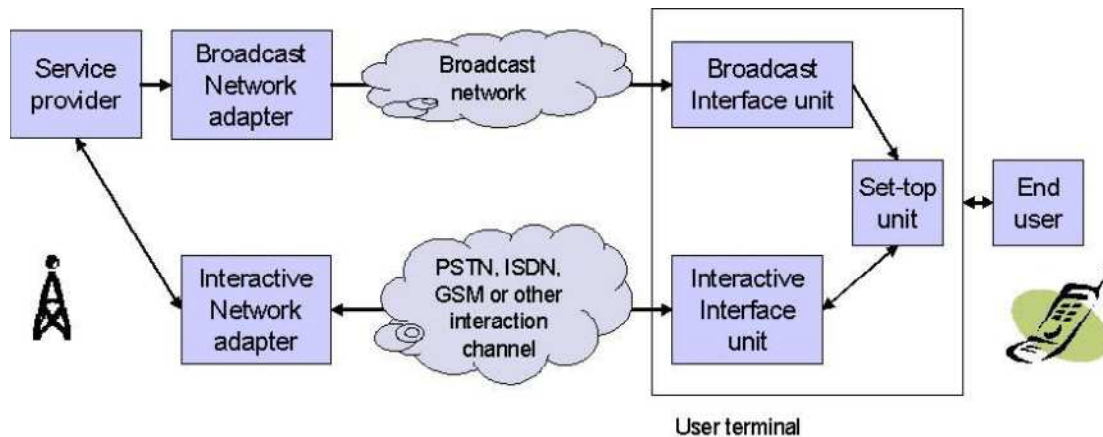
4.2.3. Κανάλι επιστροφής

Όταν το ασύρματο κανάλι²⁵ δεν είναι αξιόπιστο, το σύστημα κάνει πλεονασμό χρήσης για να αποκωδικοποιηθούν όσο το δυνατόν πιο σωστά τα δεδομένα κατά την λήψη. Εντούτοις, αν αυτό γίνει σε μεγάλο βαθμό τότε μειώνεται το bandwidth (εύρος ζώνης) του δικτύου με συνέπεια να μην μπορούν πολλοί χρήστες να εξυπηρετηθούν συγχρόνως. Κατά συνέπεια είναι απαραίτητο να επιλεγεί ένα σχέδιο προστασίας σύμφωνα με τους συνθήκες μετάδοσης κάθε φορά ώστε να έχουμε το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα. Για να ανταποκριθεί ένα σύστημα στις χρονικές διαφορές των καναλιών δημιουργείται ένα κανάλι ενημέρωσης που μεταφέρει τις αναγκαίες πληροφορίες από τα κανάλια στο σύστημα μετάδοσης.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του “κινητού” IPDC είναι η διαθεσιμότητα του αλληλεπιδραστικού καναλιού επιστροφής (return channel). Το πολυμεσικό περιεχόμενο εκπέμπεται μέσω διαύλου εκπομπής και παράλληλα η αλληλεπίδραση λαμβάνει χώρα μέσω του καναλιού επιστροφής του κυψελωτού δικτύου πχ. Αγορά περιεχομένου, ψηφοφορία κλπ. Η συνεργασία των κυψελωτών τεχνολογιών και των αντιστοίχων εκπομπής, επιτρέπει τη δημιουργία νέων υπηρεσιών πχ. mobile TV.

²⁵ www.dvb.org. “IP datacasting in DVB-H.” *Digital Video Broadcasting*, (2003).

Ένας τρόπος για να προστεθεί η αλληλεπίδραση στο σύστημα επικοινωνιών στα πρότυπα DVB είναι να χρησιμοποιήσουμε αμφίδρομες δυνατότητες ενός δικτύου GSM/GPRS που παρέχει ασύρματη μετάδοση στη μεταφορά δεδομένων συνδέοντας χρήστες καναλιών στοιχείων με τους φορείς παροχής υπηρεσιών. Ο GSM κινητός σταθμός (MS) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα διαμορφώνει τη πλατφόρμα διαμεσολάβησης που συνδέει τα τερματικά των χρηστών με ένα δίκτυο GSM. Αυτό είναι εφικτό με τη χρησιμοποίηση των καναλιών επιστροφής που ενημερώνουν οι χρήστες για την κατάσταση του δικτύου καθώς και οι παροχείς των υπηρεσιών όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



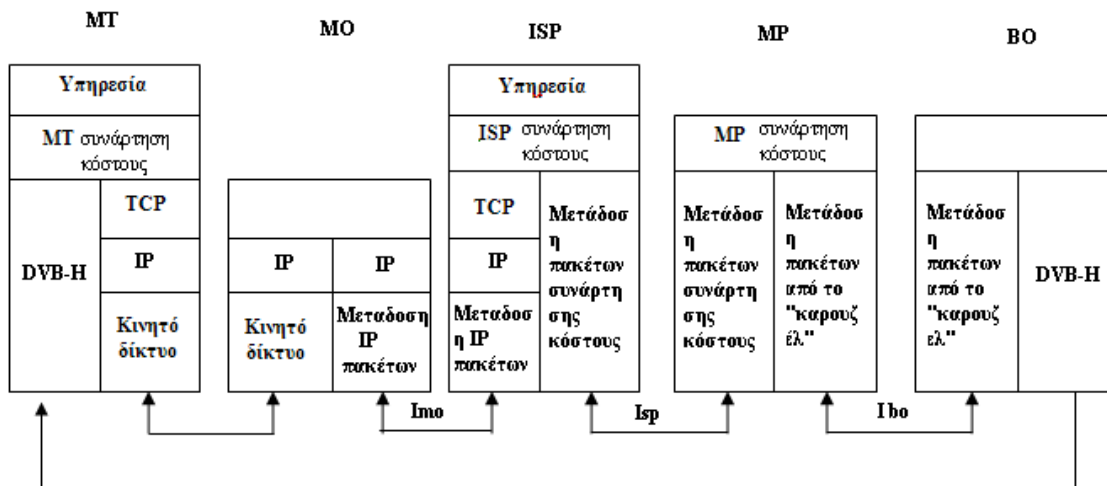
Σχήμα 35. Κανάλι επιστροφής στο υβριδικό δίκτυο

Υποθέτοντας ότι τα τερματικά των χρηστών είναι ικανά να έχουν μια επικοινωνία με τους παρόχους και να τους ενημερώσουν με ακρίβεια για τα λάθη των καναλιών κατά τη μετάδοση, ωστόσο ένα από τα δυσκολότερα ζητήματα που προκύπτουν είναι το πώς μπορούμε να διαχειριστούμε την πληθώρα των χρηστών αλλά και τις διαφορετικές συνθήκες λήψης που αντιμετωπίζει ο καθένας απ' αυτούς.

4.2.4. Θέση της «συνάρτησης κόστους»

Η επιλογή ενός δικτύου για να μεταδώσει δεδομένα είναι η ευθύνη αυτού που καλείται «συνάρτηση κόστους». Μέσα σ' αυτό το πλαίσιο, για να εξηγήσουμε τη λειτουργία του υβριδικού μοντέλου πρέπει αυτή η λειτουργία ελέγχου και βελτιστοποίησης να είναι τοποθετημένη στο κινούμενο τερματικό, στην πλατφόρμα ενδιάμεσης μετάδοσης καθώς επίσης και στο I_{SP} ανάμεσα στο στρώμα μεταφοράς και εφαρμογής όπως απεικονίζεται στο σχήμα 36. Ο πυρήνας του αλγόριθμου βελτιστοποίησης τοποθετείται στην κινούμενη πλατφόρμα. Χρησιμοποιώντας τις λογικές διεπαφές I_{SP} και I_{MT} τα διαφορετικά μέρη της συνάρτησης κόστους επικοινωνούν μεταξύ τους. Οπότε μέσω της I_{BO} και I_{MO} πραγματοποιείται όλη η απαραίτητη εκπομπή σήματος στο BroadcastOperator (BO) και MobileOperator (MO).

Η συνάρτηση κόστους αφαιρεί το φορτίο κίνησης από το διαδραστικό κανάλι μεταδίδοντας τα κατάλληλα δεδομένα μέσω του καναλιού ευρείας εκπομπής (broadcast). Από τη πλευρά της εφαρμογής, διαφορετικά κανάλια υπόκεινται στη συνάρτηση κόστους. Συνεπώς, η επιλογή του δικτύου μετάδοσης είναι ορατή για τον χρήστη.



Σχήμα 36. Στοιβά πρωτοκόλλων ενός υβριδικού μοντέλου

Το σχήμα 36 παρουσιάζονται οι λειτουργίες για μια καλύτερη σύνδεση σε ένα περιβάλλον με διαφορετικούς τύπους δικτύων. Αυτά είναι τα ακόλουθα: υιοθέτηση περιεχομένου, χειρισμός σχεδιαγράμματος, διαχείριση κινητικότητας, επιλογή πρόσβασης και εύρεση πρόσβασης.

Για να κατανοήσουμε τη λειτουργία του υβριδικού μοντέλου πρέπει να τηρήσουμε τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- i) Και τα δύο δίκτυα πρέπει να είναι πάντα διαθέσιμα.
- ii) Η διαδικασία και η διαχείριση μεταφοράς λειτουργούν άψογα χωρίς καμία χρονοκαθυστέρηση.
- iii) Ο χρόνος προσδιορισμού και η επικοινωνία μέσα στον πυρήνα του συστήματος είναι μικρός. Αυτό συμβαίνει μιας και η καθυστέρηση που οφείλεται στη μετάδοση δεδομένων μέσω του αέρα εξαλείφεται, επειδή κυριαρχεί η διαδικασία της βελτιστοποίησης.
- iv) Το απαιτούμενο περιεχόμενο δεν μπορεί να αλλάξει από τους χρήστες του δικτύου.
- v) Ένας αιτών χρήστης δεν μπορεί να ακυρώσει μια σύνοδο.
- vi) Ύπαρξη καναλιών χωρίς λάθη.

4.2.5. Το υβριδικό δίκτυο ως ένα σύστημα αναμονής

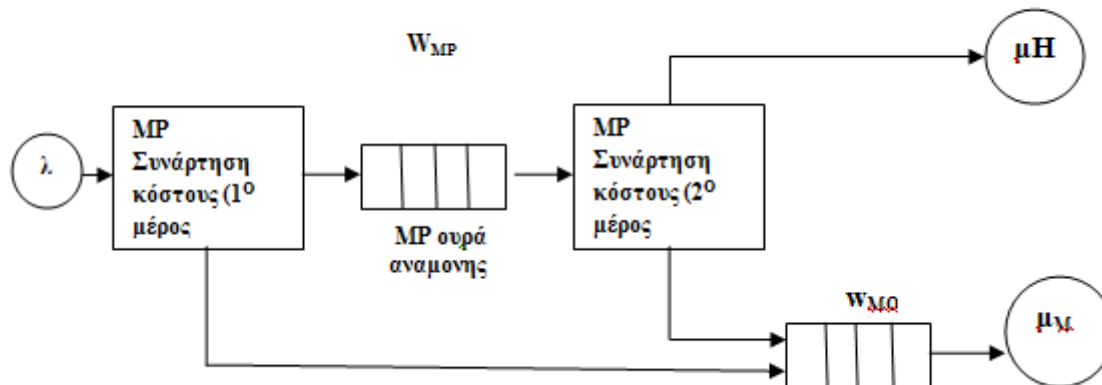
Ένας τρόπος σχεδίασης του υβριδικού είναι να το αντιμετωπίσουμε ως ένα σύστημα αναμονής²⁶ με δύο σταθμούς εξυπηρέτησης. Ο μέσος ρυθμός άφιξης των αιτήσεων εξαρτάται από το μήκος κύματος. Η αξία αυτών έχει να κάνει με τη συμπεριφορά των χρηστών. Η πλατφόρμα διαμόρφωσης είναι αυτή που ελέγχει ολόκληρο το δίκτυο διανέμοντας τα απαιτούμενα δεδομένα προς τους διαθέσιμους σταθμούς εξυπηρέτησης. Αυτό μπορεί να οριστεί ως προγραμματισμένος μηχανισμός. Οι δύο σταθμοί αποτελούν κινητό δίκτυο που έχει ως μέσο όρο μ_M ενώ το DVB-H έχει μέσο όρο μ_H .

Η κατανομή του χρόνου εξυπηρέτησης και στους δύο σταθμούς επηρεάζεται πολύ από τη λειτουργία διανομής του μεγθών των πακέτων και των πηγών των διαθέσιμων δικτύων. Ο μηχανισμός προγραμματισμού καθορίζει ποιο από τα δύο δίκτυα που μεταδίδει τα αιτήματα των

²⁶ Peter Unger, T. K. (2009). "Modeling and performance analysis of hybrid cellular and broadcasting networks". *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting implications.*"

χρηστών είναι καταλληλότερο. Επίσης επηρεάζει την κατανομή των μεγεθών των αρχείων των αιτήσεων που φτάνουν στους διαθέσιμους σταθμούς. Συνεπώς, η πλατφόρμα MP ασκεί επίδραση στον χρόνο που διανέμεται σε κάθε σταθμό εξυπηρέτησης. Έτσι λοιπόν βλέπουμε ότι πολλές παράμετροι πρέπει να ληφθούν υπόψη ώστε να καθορίσουμε τη διανομή του χρόνου σε ένα κινητό δίκτυο.

Ο αριθμός των κυττάρων, η δυνατότητα ταυτόχρονης χρήσης των πηγών των κυττάρων του μηχανισμού σχεδιασμού, χρησιμοποιείται από τον κινητό χρήστη για να διαχέεται η κυκλοφορία μεταξύ της κίνησης αυτών. Ο μέσος χρόνος απόκλισης R ολόκληρου του συστήματος αποτελείται από τους αναμενόμενους χρόνους W_{MP} και W_{MO} στη σειρά και τον χρόνο εξυπηρέτησης από τους σταθμούς.



Σχήμα 37. Διάγραμμα ενός συστήματος αναμονής στο υβριδικό δίκτυο

4.2.6. Ο αλγόριθμος προγραμματισμού

Για να έχει νόημα η επιλογή μας από τα δύο δίκτυα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τα δύο παρακάτω σημεία. Από τη μια πλευρά, η συνάρτηση κόστους θα πρέπει να υπολογίζει τη διαθέσιμη ροή δεδομένων και των δύο δικτύων τόσο της ραδιοτηλεοπτικής μετάδοσης όσο και της μετάδοσης κινητού δικτύου. Από την άλλη πλευρά θα πρέπει να καθορίσουμε τη ροή της ταυτόχρονης χρήσης των όμοιων δεδομένων. Το δεύτερο σημείο περιλαμβάνει τα ειδικά χαρακτηριστικά ενός broadcast καναλιού. Αυτά μπορεί να είναι: η δυνατότητα ταυτόχρονης μεταφοράς δεδομένων σε πολλούς χρήστες.

Συνεχίζοντας, για να έχουμε μια αποδοτική ανταπόκριση στα αιτήματα των χρηστών θα πρέπει να έχουμε γρήγορη ανανέωση στην αποστολή αιτημάτων ως προς τη λειτουργία μετάδοσης. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος όπως βλέπουμε στο σχήμα 38 βρίσκεται στην πλατφόρμα μετάδοσης MP της λειτουργίας του κόστους. Αποτελείται από δύο μέρη. Μια αίτηση φτάνει στον παροχέα υπηρεσιών ιντερνετ. Ο αλγόριθμος ενημερώνει την πλατφόρμα διαμεσολάβησης της λειτουργίας του κόστους σχετικά με την εισερχόμενη αίτηση και το μέγεθος του αρχείου που έχει ζητηθεί. Στη συνέχεια η συνάρτηση κόστους του παρόχου κινητής μετάδοσης ελέγχει εάν το αρχείο που έχει ζητηθεί είναι

κατάλληλο για μετάδοση μέσω του καναλιού broadcast μετάδοσης. Για να συμβεί αυτό, υπολογίζεται η διάρκεια μετάδοσης του αρχείου μέσω του κινητού δικτύου το οποίο $T_{\min M}$ και ελάχιστος χρόνος μετάδοσης από τον παροχέα ίντερνετ στο κανάλι λειτουργίας $T_{\min C}$.

$$T_{\min M} = \frac{s}{O_M - D_{rM}} \text{ Συνθήκη 1}$$

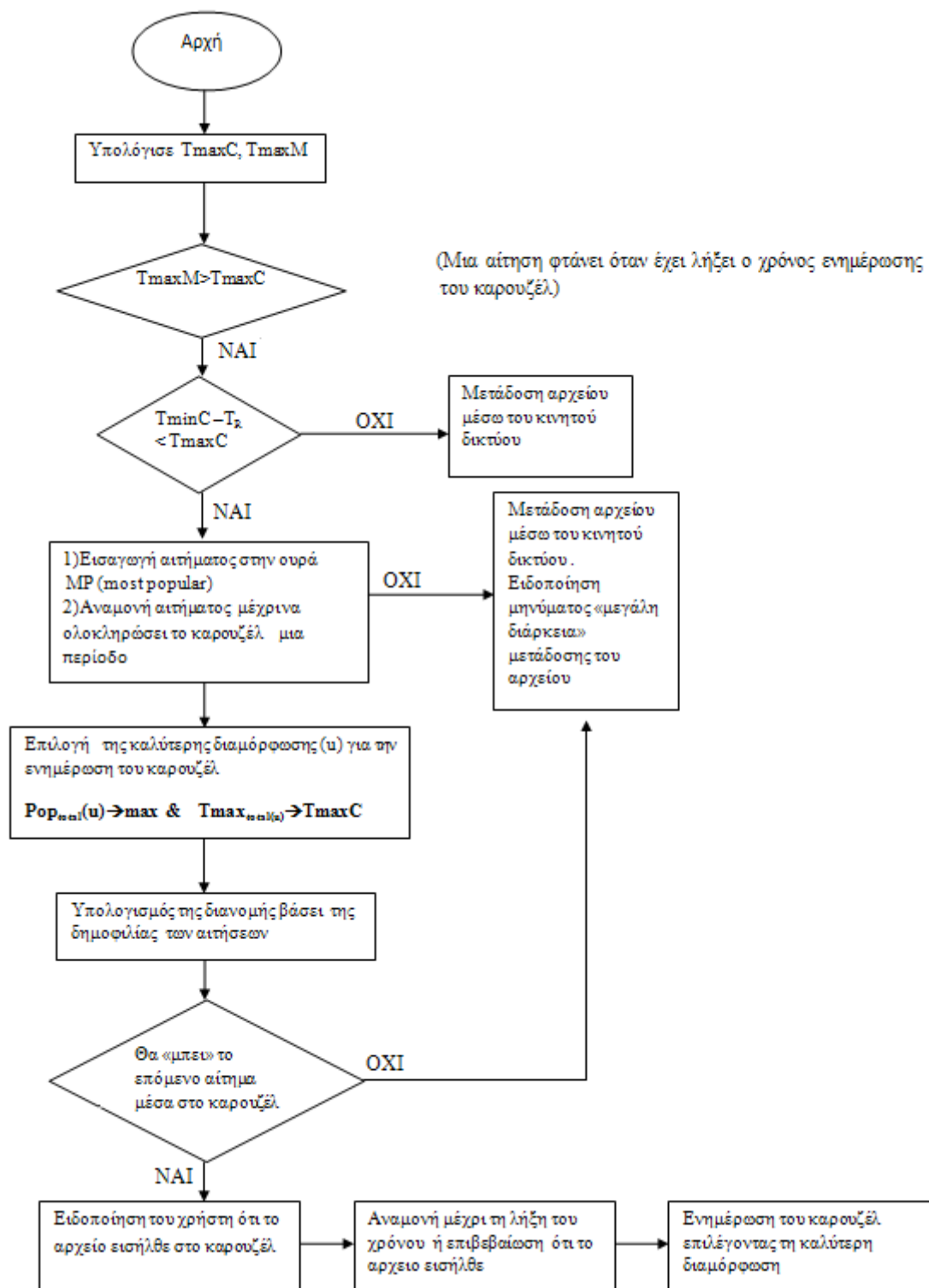
Στον παραπάνω τύπο, το s αντιπροσωπεύει το μέγεθος του φακέλου που ζητείται. Το O_M συμβολίζει την υπάρχουσα έξοδο των διαφορετικών στρωμάτων πρωτοκόλλου από ένα κινητό δίκτυο. Εφαρμόζεται σαν ένας παράγοντας διορθώσεων για το D_{rM} το οποίο αντιπροσωπεύει τη ροή δεδομένων μέσα στο φυσικό στρώμα. Ο παρανομαστής κατά συνέπεια, δείχνει τη ροή των διαθέσιμων στοιχείων γι' αυτή την εφαρμογή.

$$T_{\min C} = \frac{s}{O_c - D_{rC}} \text{ Συνθήκη 2}$$

$$T_{\min M} > T_{\min C} \text{ Συνθήκη 3}$$

$$T_{\min C} - T_R < T_{\max C} \text{ Συνθήκη 4}$$

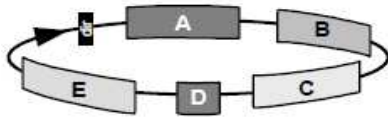
Σε αυτήν την σχέση το O_c αντιπροσωπεύει γενικά την έξοδο πρωτοκόλλου με παρόμοιο τρόπο όπως εξηγείται παραπάνω για το O_M . Το D_{rC} είναι η ροή δεδομένων εξόδου από το καρουζέλ. Εάν οι συνθήκες 3 και 4 ικανοποιούνται, το αρχείο είναι πλέον κατάλληλο για τη μετάδοση μέσω του καναλιού broadcast εκπομπής.



Σχήμα 38. Διάγραμμα Ροής του αλγόριθμου σχεδιασμού ενός υβριδικού δικτύου

Από τη στιγμή που γίνεται μια αίτηση αποστολής ενός αρχείου, αυτή θα τροφοδοτηθεί στη σειρά αναμονής της πλατφόρμας διαμεσολάβησης για να χρησιμοποιηθεί αργότερα στο δεύτερο μέρος του προτεινόμενου αλγορίθμου. Διαφορετικά, εάν το μέγεθος του αρχείου που εξετάζεται κάθε φορά είναι μικρό, εκεί ισχύει η συνθήκη τρία και τελικά αυτό μεταφέρεται μέσω του κινητού δικτύου. Εάν το μέγεθος του αρχείου υπερβαίνει το ανώτερο όριο T_{maxC} (συνθήκη 4) επιλέγεται επίσης το κινητό δίκτυο και μια προειδοποίηση όπως «Η λήψη του αρχείου θα διαρκέσει χ δευτερόλεπτα» θα

σταλεί επιπροσθέτως. Η παράμετρος $T_{\max C}$ μπορεί να ρυθμιστεί από τον διαχειριστή του υβριδικού δικτύου η οποία και δείχνει το μέγιστο αποδεκτό χρόνο μετάδοσης ενός κύκλου καρουζέλ. Τα πακέτα που μεταδίδονται οργανώνονται στα λεγόμενα «καρουζέλ». Το καρουζέλ αποτελείται από ένα σύνολο δεδομένων που συνθέτουν ένα κύκλο που εκπέμπει κατά επανάληψη.



Απεικόνιση ενός «καρουζέλ»

Όταν χρησιμοποιούμε το «καρουζέλ» ο ελάχιστος χρόνος μετάδοσης αποτελείται από τον υπόλοιπο χρόνο μέχρι την επόμενη αναπροσαρμογή και τη διάρκεια της μετάδοσης του αρχείου στο κανάλι broadcast μετάδοσης.

Το δεύτερο μέρος του αλγόριθμου, αρχίζει μετά από τη μετάδοση των περιεχομένων που έχουν φορτωθεί πρόσφατα στο καρουζέλ. Ο αλγόριθμος υπολογίζει τη δημοτικότητα όλων των καταχωρημένων αρχείων με τη χρήση του ακόλουθου ορισμού.

$$Pop_i = \frac{k_i}{k_{total}} \quad \mu\epsilon \quad k_{total} \neq 0 \quad \text{Συνθήκη 5}$$

$$\sum_i Pop_i = 1 \quad \mu\epsilon \quad i = 1 \dots n \quad \text{Συνθήκη 6}$$

Η δημοτικότητα των I-TH αρχείων ορίζονται ως ο λόγος του αριθμού k παίρνοντας υπόψη του τον αριθμό των συνολικών αιτήσεων ως προς τον αριθμό του συνόλου των αιτήσεων k_{total} . Η τιμή του που Pop_i παίρνουν τιμές ανάμεσα στο 0 και στο 1.

Το άθροισμα της <<δημοτικότητας>> όλων των αιτούντων αρχείων του Pop_i είναι 1. Στο επόμενο βήμα ο αλγόριθμος βρίσκει μια βελτιστοποιημένη διαμόρφωση των αιτούντων αρχείων για την ανανέωση του περιεχομένου του καρουζέλ. Η παράμετροι βελτιστοποίησης είναι η διάρκεια ενός κύκλου του καρουζέλ και η δημοτικότητα των αιτούντων αρχείων. Τα αρχεία που περιλαμβάνονται σε μια βελτιστοποιημένη διαμόρφωση πρέπει να έχουν μια υψηλή συνολικά δημοτικότητα και ο συνολικός χρόνος μετάδοσης να είναι περίπου στο T_{\max} . Αυτοί οι στόχοι ανταγωνίζονται ο ένας τον άλλο και αλληλεπιδρούν.

Για να επιτευχθεί καλύτερη διαμόρφωση u αναπροσαρμογών εξετάζονται οι πιθανοί συνδυασμοί αρχείων. Το U ορίζεται ως ένα σύνολο όλων των πιθανών U διαμορφώσεων για την επόμενη ανανέωση. Για κάθε στοιχείο u που ανήκει στο U , υπολογίζεται η συνολική δημοτικότητα $Pop_{total}(u)$ και ο συνολικός χρόνος μετάδοσης $T_{total}(u)$.

Αυτές οι τιμές λαμβάνονται για να καθορίσουν την καταλληλότητα των U να φορτωθούν στο επόμενο κύκλο του καρουζέλ. Για να μετρήσουμε ποσοτικά την καταλληλότητα μιας διαμόρφωσης u και να πάρουμε μια απόφαση τοποθετούνται ασαφή σύνολα. Σε αυτή την κλασική θεωρία συνόλων, υπάρχει μια συνάρτηση $f_a: X \rightarrow \{0,1\}$ η οποία καθορίζει αν ένα στοιχείο x του βασικού συνόλου X ανήκει στο σύνολο A .

Η έννοια των συγκεκριμένων συνόλων χρησιμοποιεί σύνολα συναρτήσεων, αντίθετα η έννοια των ασαφών συνόλων χρησιμοποιεί ένα σύνολο συναρτήσεων $M_A : X \rightarrow [0,1]$ που χαρτογραφούν το βασικό σύνολο σε ένα κλειστό διάστημα $[0,1]$. Ο αλγόριθμος καθορίζει επίσης το βαθμό του μέλους σε ένα σύνολο $A \rightarrow [5]$. Τώρα τα δύο σύνολα Pop και $Time$ καθορίζονται.

$$Pop = \{u \mid Pop_{total}(u) = 1, u \in U\} \quad \text{Συνθήκη 7}$$

$$Time = \{u \mid T_{total}(u) < T_{\max C}, u \in U\} \quad \text{Συνθήκη 8}$$

Όλα τα στοιχεία u με συνολική δυναμικότητα $Pop_{total}(u)$ ανήκουν στο σύνολο Pop . Η συμμετοχή στο σύνολο του χρόνου απαιτεί ένα συνολικό χρόνο μετάδοσης $T_{total}(u)$ μικρότερο από το T_{maxC} . Μόνο λίγες διαμορφώσεις πληρούν και τις δύο συνθήκες Γι' αυτό το λόγο ορίζονται δύο καινούριες συναρτήσεις:

$$M_{Pop} : U \rightarrow [0,1]$$

$$M_{Time} : U \rightarrow [0,1]$$

Για να καθορίσουμε το βαθμό συμμετοχής οι εκφράσεις (9) και (10) χρησιμοποιούνται χωρίς απώλεια της γενικότητας. Ο βαθμός συμμετοχής στο σύνολο Pop είναι μια γραμμική συνάρτηση του συνόλου Pop_{total} . Το M_{Pop} αυξάνεται όσο αυξάνεται η δημοτικότητα του u . Η μεγαλύτερη τιμή που μπορεί να πάρει είναι το 1. Οπότε ορίζουμε:

$$M_{Pop}(u) = Pop_{total}(u)$$

Η αποτύπωση του βαθμού συμμετοχής στο σύνολο του χρόνου φαίνεται ορατή στη συνθήκη 12. Για μια τιμή T_{total} μικρότερη από την τιμή T_{maxC} η συνάρτηση συμμετοχής M_{Time} γίνεται 1. Περαιτέρω αύξηση του T_{total} σημαίνει μείωση του βαθμού συμμετοχής.

$$M_{Time}(u) = \begin{cases} 1 & \mu\epsilon T_{total}(u) < T_{maxC} \\ \frac{1}{T_{total} - T_{totalC}} & \mu\epsilon T_{total}(u) < T_{maxC} \end{cases}$$

Η καταλληλότερη διαμόρφωση του u καθορίζεται από ένα υψηλό βαθμό ιδιότητας συμμετοχής στο σύνολο Pop και στο σύνολο $Time$. Για να βρούμε μια τέτοια διαμόρφωση δημιουργείται μια διατομή στα σύνολα Pop και $Time$. Αυτό το νέο σύνολο κατάλληλων διαμορφώσεων ονομάζεται Opt και καθορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$Pop := Pop \cap Time$$

Η αντίστοιχη συνάρτηση που αφορά τη συμμετοχή καθορίζεται στην παρακάτω σχέση.

$$M_{Opt}(u) = \min(M_{Pop}(u), M_{Time}(u)) \forall u \in U$$

Αυτή η συνάρτηση συμμετοχής μας δίνει την ευκαιρία να επιλέξουμε μια πιο βελτιωμένη διαμόρφωση. Ο αλγόριθμος παίρνει τη διαμόρφωση $u \in U$ με το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής $M_{Opt}(u)$ για να ανανεώσει το περιεχόμενο του καρουζέλ. Σ' αυτό το πλαίσιο, αντιλαμβανόμαστε ότι η παράμετρος T_{maxC} έχει ένα πολύ σημαντικό αντίκτυπο στη διαμόρφωση όλου του συστήματος. Από τη στιγμή που φτάνουν οι αιτήσεις, αυτά πηγαίνουν στην ουρά της πλατφόρμας διαμεσολάβησης (MP), αφού εν τω μεταξύ το προηγούμενο ενημερωμένο περιεχόμενο του καρουζέλ βγαίνει προς τα έξω. Η τιμή του T_{maxC} επηρεάζει το μέσο χρόνο αναμονής του U_{MP} . Επιπροσθέτως ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης των καρουζέλ αλλάζει. Κατά τη διάρκεια επιλογής της καταλληλότερης διαμόρφωσης, ο αλγόριθμος του σχεδιασμού, ελέγχει εάν το αιτών αρχείο είναι διαθέσιμο μέσω του καρουζέλ. Εάν όχι τότε η πλατφόρμα διαμεσολάβησης προειδοποιεί το I_{sp} και στέλνεται το αρχείο μέσω του κινητού δικτύου. Αλλιώς παρέχεται η συνάρτησης κόστους MP με το ψηφιακό αντικείμενο δικαιωμάτων (DRO) το οποίο διευκολύνει το χρήστη να έχει πρόσβαση στο κανάλι ραδιοτηλεοπτικής μετάδοσης. Αφού συμβεί αυτό, τότε εισέρχεται η βέλτιστη διαμόρφωση αρχείων και μεταφέρεται στο καρουζέλ.

Η συνάρτηση κόστους MT αναλύει τα δεδομένα του παρόχου και φιλτράρει τα αιτούντα αρχεία. Έπειτα τα στοιχεία που έχουν διαβιβαστεί, προωθούνται στην εφαρμογή. Για ένα ορισμένο αρχείο που λαμβάνεται μέσω ενός καναλιού broadcast μετάδοσης, οι πληροφορίες που στέλνει το σήμα πρέπει να φτάσουν στα τερματικά των χρηστών πριν την έξοδο τους από το καρουζέλ. Άρα αυτή η ακολουθία πρέπει να γνωρίζει την άφιξη του DRO πριν αλλάξει το περιεχόμενο του καρουζέλ. Αν υπάρξουν πολλές αιτήσεις στο κύτταρο κινητής τηλεφωνίας τότε αργεί να γίνει η ανανέωση του περιεχομένου του καρουζέλ μιας και υπάρχει ένας χρονομετρητής τοποθετημένος στο σύστημα.

Ειδικότερα ο χρονομετρητής, μετράει αν ο χρόνος μεταξύ της μετάδοσης του DRO και της άφιξης μιας επιβεβαίωσης από ένα χρήστη υπερβαίνει μια ορισμένη αξία T_{X1} , τότε παρόλα αυτά η συνάρτηση κόστους MP θα ξεκινήσει την ανανέωση του καρουζέλ. Από την μεριά του τερματικού, ξεκινάει ένας χρονομετρητής όταν στείλει ο χρήστης την επιβεβαίωση για το DRO. Αν ο χρήστης δε λάβει τον φάκελο που πρέπει σε μια χρονική περίοδο $T_{maxC} + T_{X1}$, τότε η συνάρτηση κόστους MT θα ξεκινήσει μια νέα διαδικασία αίτησης. Λαμβάνεται υπόψη ο χρόνος καθυστέρησης T_{X2} του uplink .

4.2.7. Αποτελέσματα

Υπάρχουν τρεις παράμετροι²⁷ που επηρεάζουν την απόδοση του προτεινόμενου μηχανισμού σχεδιασμού. Αυτοί είναι: T_{X1} , T_{X2} , T_{maxC} . Συνήθως σε ένα κινητό δίκτυο γίνεται το εξής: τα πακέτα είναι πολύ μικρά και αποστέλλονται ύστερα από μια μικρή καθυστέρηση. Αν οι παράμετροι T_{X1} , T_{X2} έχουν τεθεί επαρκώς, οι χρονομετρητές δε θα λήξουν ποτέ κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου σχεδιασμού.

Με βάση την παραπάνω υπόθεση, στην παρακάτω ανάλυση δεν λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη χρονομετρητή. Η τρίτη παράμετρος T_{maxC} ορίζεται από τη λειτουργία του δικτύου. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει ασκεί μια σημαντική επίδραση στο μέσο χρόνο ανταπόκρισης του υβριδικού δικτύου. Αν όλες οι αιτήσεις πρέπει να ικανοποιηθούν από ένα κινητό δίκτυο (όπου $T_{maxC} = 0$), τα αρχεία μεταφέρονται τόσες φορές όσες και οι αιτήσεις. Η πιθανότητα μιας ταυτόχρονης χρήσης του ίδιου κελιού αυξάνεται. Σε αυτή την περίπτωση διαφορετικοί χρήστες πρέπει να μοιράζονται τις πηγές των κελιών. Για αυτό το λόγο λοιπόν, ο χρόνος καθυστέρησης στη μεταφορά των αρχείων αυξάνεται. Επίσης αυξάνεται και ο μέσος χρόνος ανταπόκρισης.

Μια χαμηλή τιμή στο T_{maxC} μας δείχνει ότι μόνο μικρός αριθμός αρχείων μπορούν να εισέλθουν στο καρουζέλ. Παρόλα αυτά, ακόμα και αρχεία που συχνά ζητούνται, πρέπει να μεταφερθούν μόνο μια φορά στο καρουζέλ λόγω της φύσης της ραδιοηλεκτρονικής μετάδοσης. Λόγω αυτού η επίδραση του T_{maxC} είναι σημαντική. Σημαντικό στοιχείο για την έρευνα μας αποτελεί το ότι όσο υπάρχει μεγάλο πλήθος αιτήσεων που πρέπει να εξυπηρετηθούν, ο μέσος χρόνος ανταπόκρισης ενός δικτύου επηρεάζεται αισθητά από τη χωρητικότητα μετάδοσης δεδομένων ενός κινητού.

Παράμετρος	Τιμή
Drc	500000 bit/s
GPRS	
Κωδικοποίηση	CS2
Αριθμός πακέτων μεταγωγής ανά πλαίσιο	4
Τεχνική προγραμματισμού	Round Robin
O_M	0.75
O_c	0.75

Πίνακας 17. Ρυθμίσεις παραμέτρων του υβριδικού μοντέλου

Αντιθέτως για μια υψηλή τιμή του T_{maxC} οι περισσότερες από τις αιτήσεις ικανοποιούνται από το καρουζέλ. Συνεπώς, ο μέσος χρόνος απόκρισης βασίζεται στα χαρακτηριστικά του καναλιού ραδιοηλεκτρονικής μετάδοσης και το μέσο χρόνο εξόδου των δεδομένων από το καρουζέλ. Η τελευταία παράμετρος δεν επηρεάζεται από την αύξηση των χρηστών αλλά από τον αριθμό των αρχείων που φορτώνονται σε ένα κύκλο. Με μια μεγάλη τιμή του T_{maxC} περισσότερα αρχεία μπορούν να εισέλθουν στο καρουζέλ.

Συνεπώς, λόγω του μεγαλύτερου χρόνου εξόδου, αντιστοίχως αυξάνεται και ο μέσος χρόνος αναμονής W_{MP} . Επίσης αυξάνεται και ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης των συσσωρευμάτων

²⁷ Christoph Heuck. (2004). "Analysis of the performance of hybrid (broadcast/dmobile) networks." *IEEE*.

αιτημάτων. Όλα τα παραπάνω, έχουν σαν αποτέλεσμα να δώσουν μια μεγαλύτερη τιμή στο μέσο χρόνο απόκλισης. Αν ο συνολικός χρόνος εξόδου όλων των αρχείων είναι μικρότερος από το $T_{\max C}$ τότε όλες οι αιτήσεις ικανοποιούνται από το καρουζέλ οπότε δε χρειάζεται επιπλέον χρόνος για να ανανεωθεί το καρουζέλ. Άρα και ο μέσος χρόνος απόκλισης R παραμένει σταθερός.

Για να έχουμε μια καλύτερη τιμή του $T_{\max C}$ θα πρέπει προφανώς να μειωθεί η ταυτόχρονη χρήση ενός από τα κελιά του κινητού δικτύου. Επιπλέον, τόσο ο χρόνος αναμονής και ο χρόνος εξυπηρέτησης από το κανάλι μετάδοσης βελτιώνονται. Συνεπώς ο μέσος χρόνος απόκλισης μειώνεται.

Σε έρευνες που έγιναν έχουν ληφθεί υπόψη όλα τα σημαντικά πρωτόκολλα. Η δομή του υβριδικού μοντέλου που αναλύεται αποτελείται από ένα κελί DVB-H το οποίο εμπεριέχει κελιά GPRS. Στον πίνακα 18, παρουσιάζονται οι ρυθμίσεις για το υβριδικό δίκτυο που χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις. Στο κινητό δίκτυο, το overhead των μεταφερόμενων πακέτων είναι περίπου στο 20%-30%. Για να κατανοήσουμε τη συμπεριφορά του υβριδικού δικτύου η παράμετρος O_M είναι ορισμένη στην τιμή $O_c = 0,75$. Η ικανότητα του δικτύου broadcast μετάδοσης επηρεάζεται από τα δεδομένα που είναι εμφωλευμένα μέσα στα MPEG πακέτα.

Σε κάθε κύτταρο GPRS υποθέτουμε ότι υπάρχουν οκτώ ενεργοί χρήστες. Όλοι αυτοί κάνουν χρήση του δικτύου με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον πίνακα 19 όπως παρακάτω. Άλλη υπόθεση που γίνεται επίσης είναι το ότι είκοσι διαφορετικοί φάκελοι μπορούν να ληφθούν. Η δημοτικότητα αυτών κατανέμεται ομοιόμορφα. Όλοι οι φάκελοι που έχουν ζητηθεί είναι κατάλληλοι για καρουζέλ μετάδοση μέσω του παρόχου broadcast μετάδοσης εξαιτίας του μεγέθους τους.

Βάσει αυτών των κριτηρίων, η επίδραση του μέγιστου επιτρεπτού χρόνου για μια περίοδο του καρουζέλ $T_{\max C}$, το υβριδικό μοντέλο λοιπόν έχει προσομοιωθεί στο μέσο χρόνο απόκλισης R . Έχουμε λάβει υπόψη την κίνηση του δικτύου για μία ώρα. Διαφορετικά κανάλια GPRS τα οποία συγκλίνουν με ένα κύτταρο DVB-H έχουν επίσης ληφθεί υπόψη. Συνεπώς αυξάνεται, τόσο η χωρητικότητα του κινητού δικτύου, όσο και ο αριθμός των ενεργών χρηστών. Λόγω της σύγκλισης, οι διαθέσιμες πηγές του κινητού δικτύου δεν αλλάζουν. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αυτής απεικονίζονται στο σχήμα 39. Είναι προφανές ότι οι τιμές που βρίσκονται στο αριστερό μέρος των γραφημάτων εξαρτώνται από τον αριθμό των χρηστών. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των ενεργών χρηστών, η επίδραση του κινητού δικτύου μέσα στη σύγκλιση αυτή που γίνεται, παίζει ένα ρόλο ολοένα και περισσότερο σημαντικό. Για υψηλές τιμές του $T_{\max C}$ ο μέσος χρόνος ανταπόκρισης εξαρτάται από τον αριθμό των ζητούμενων αρχείων. Αν οι αιτήσεις προκύπτουν από 64 χρήστες (8 GPRS κελιά), όλες οι αιτήσεις ικανοποιούνται από το καρουζέλ όταν ο χρόνος του $T_{\max C}$ ξεπερνά τα 64 δευτερόλεπτα. Ως εκ τούτου, ο μέσος χρόνος απόκλισης R δεν αυξάνεται παραπάνω.

Αντιθέτως, για ένα μεγάλο αριθμό χρηστών, η τιμή $T_{\max C}$ στα 64 δευτερόλεπτα, βάζει όριο στον αριθμό των αρχείων που εισέρχονται στο καρουζέλ. Λόγω του παραπάνω περιορισμού, δεν μπορούν να παραδοθούν μέσω του καρουζέλ. Γ' αυτό το λόγο, ο μέσος χρόνος απόκλισης αυξάνεται με μια παράλληλη αύξηση του $T_{\max C}$. Ο μέσος χρόνος απόκλισης δε διαφέρει για ένα μεγάλο αριθμό χρηστών μιας και οι αιτήσεις που μπορούν να καλυφθούν από τον broadcast δίκτυο είναι πολλές και το κινητό δίκτυο δεν είναι παραφορτωμένο.

Επίσης, παρατηρείται ότι μια ελάχιστη μετατόπιση της καμπύλης γίνεται όταν αλλάξουμε τον αριθμό των κελιών. Αυτό εξηγείται αν λάβουμε υπόψη μας τις τιμές $T_{\max C}$ που είναι 24 δευτερόλεπτα και 64 χρήστες (8 GPRS κελιά) Με αύξηση του αριθμού των χρηστών στους 128 (16 GPRS κελιά) ο μέσος χρόνος απόκλισης του υβριδικού μοντέλου αυξάνεται ο από 35 δευτερόλεπτα στα 53. Η αύξηση αυτή του μέσου χρόνου απόκλισης προέρχεται από τον αυξανόμενο αριθμό των αιτήσεων. Συνεπώς αυξάνεται ταυτόχρονα η δυνατότητα μεταφοράς περισσότερων αρχείων. Από τη στιγμή που η διάρκεια του μέγιστου επιτρεπτού χρόνου μεταφοράς σε ένα κύκλο καρουζέλ είναι ακόμα στα 24 δευτερόλεπτα, προφανώς περισσότερες αιτήσεις θα λάβουν απάντηση χρησιμοποιώντας το κινητό δίκτυο για 24 χρήστες απ' ότι αυτό που είναι για 64 χρήστες. Αυξάνοντας τη τιμή του $T_{\max C}$ αυξάνεται και ο αριθμός των αρχείων που μπορούν να μπουν στο καρουζέλ. Για ένα $T_{\max C}$ μικρότερο των 40 δευτερολέπτων ο μέσος χρόνος απόκλισης του $T_{\max C}$ μειώνεται.

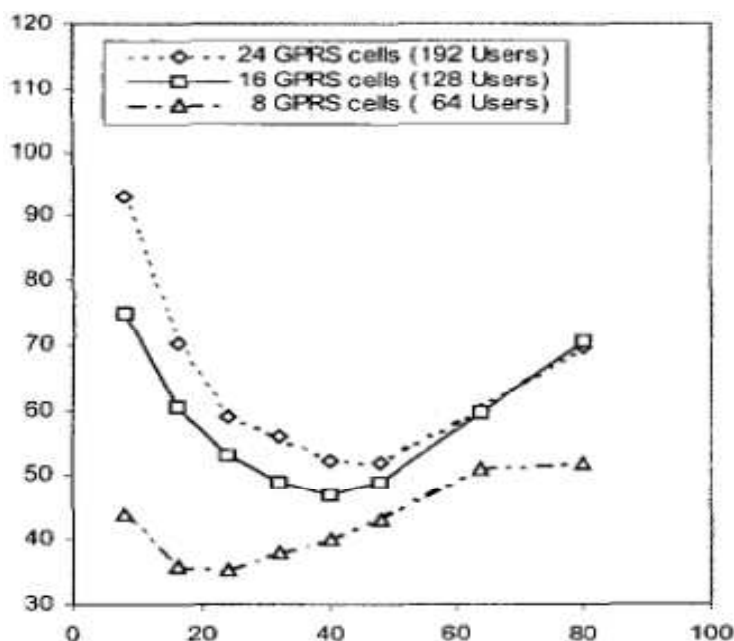
Παράμετρος	Τιμή
Μέγεθος αιτούντων πακέτων	8 Bytes
Διανομή της «δημοτικότητας» των αρχείων	uniform
Αριθμός διαθέσιμων αρχείων	20

Μέγεθος κάθε αρχείου	200000 Bytes
Μέγεθος D_{RO}	8 Bytes
Μέγεθος πακέτων επιβεβαίωσης	8 Bytes

Πίνακας 18. Παράμετροι των εφαρμογών και των δεδομένων σηματοδότησης

Παράμετρος	Τιμή
Μέσος χρόνος παρουσίας	100 sec
Διανομή χρόνου παρουσίας	εκθετική

Πίνακας 19. Παραδοχή συμπεριφοράς των χρηστών



Μέγιστος αποδεκτός χρόνο μετάδοσης $T_{max} c$ (s)

Σχήμα 39. Μέγιστος αποδεκτός χρόνος μετάδοσης ενός κύκλου του καρουζέλ $T_{max} C$ σε σχέση με το χρόνο απόκρισης (R) για 64, 128 και 192 χρήστες.

5. Σύγκριση των προτύπων DVB-H και DVB-T2

5.1. IP datacasting στα δύο πρότυπα

5.1.1. DVB-T2

Το DVB-T2 περιέχει δύο πρωτόκολλα ενθυλάκωσης²⁸, το MPEG-T2 (TS) το οποίο παρέχει κλασικές υπηρεσίες για DVB πρωτόκολλα και τη γενική ενθυλάκωση ρευμάτων (General Stream Encapsulation), η οποία είναι σχεδιασμένη για να παρέχει την κατάλληλη ενθυλάκωση για την μεταφορά IP δεδομένων. Οι τυποποιημένοι τρόποι να φερθούν σε διαγράμματα δεδομένων IP πάνω

²⁸ Lukasz Kondrad, I Vinod Kumar Malamal Vadakital, Imed Bouazizi, Miika Tupala, Moncef Gabbouj1. (2010). "Cross-layer optimization of DVB-T2 system for Mobile services". *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting*,

σε MPEG2-TS, είναι η ενθυλάκωση πρωτοκόλλων MPE (multiprotocol encapsulation) και ομοιοκατευθυνόμενη Ελαφριά ενθυλάκωση Unidirectional Lightweight Encapsulation (ULE).

Εντούτοις, ο σχεδιασμός τους περιορίστηκε από το γεγονός ότι πρωτόκολλο DVB χρησιμοποιεί το Mpeg-2 TS στο link layer (στρώμα σύνδεσης). Το Mpeg-2 TS είναι μια τεχνολογία για την βελτίωση της μετάδοσης μέσω και όχι για μετάδοση υπηρεσιών IP. Επιπλέον, η MPEG2 TS MPE/ULE ενθυλάκωση των διαγραμμάτων δεδομένων IP προσθέτει επιπλέον overheads στα δεδομένα μεταφοράς, μειώνοντας κατά συνέπεια την αποδοτικότητα στη χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης καναλιών.

Μια εναλλακτική λύση στο για IP Datacasting στο DVB-T2 είναι το GSE που ήταν σχεδιασμένο κυρίως για να μεταδίδει το περιεχόμενο IP. Το GSE είναι σε θέση να παρέχει αποδοτική ενθυλάκωση διαγραμμάτων δεδομένων IP πέρα από το στρώμα ζεύξης δεδομένων με διαφορετικό μήκος το καθένα τα οποία σχεδιάζονται άμεσα στο φυσικό στρώμα μέσω των BB πλαισίων. Η χρησιμοποίηση GSE στα διαγράμματα δεδομένων μεταφορών IP μειώνει το overhead 2 έως 3 φορές σε σχέση με την MPEG-TS μετάδοση.

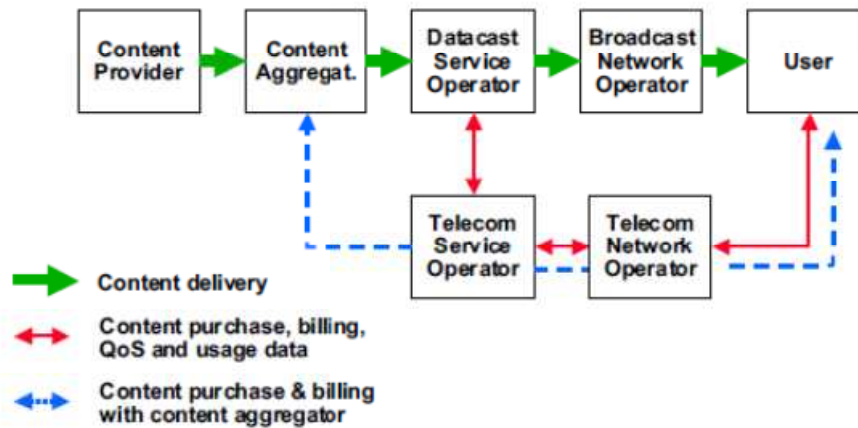
5.1.2. DVB-H

Σε αντίθεση με το πρότυπο DVB-T2 το σύστημα DVB-H βασίζεται στο πρωτόκολλο IP²⁹. Επομένως η διεπαφή του DVB-H μπορεί να συνδυαστεί με άλλα IP δίκτυα. Ο συνδυασμός αυτός είναι ένα χαρακτηριστικό του συστήματος IP Datacasting. Πάντως, οι ροές μετάδοσης (TS) του MPEG-2 εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται από το επίπεδο βάσης. Τα δεδομένα IP ενσωματώνονται στις ροές μετάδοσης με τη βοήθεια του Multi-Protocol Encapsulation (MPE).

Το πρότυπο DVB-H έρχεται να προσθέσει την ικανότητα για κινητή λήψη σημάτων ψηφιακής τηλεόρασης. Η δυνατότητα του DVB-H για datacasting μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να μεταδώσει όχι μόνο ψηφιακά πολυμέσα αλλά και ψηφιακές υπηρεσίες. Συνεπώς ο ογκώδης αριθμός χρηστών μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αυτές τις πολυμεσικές υπηρεσίες οπουδήποτε οποτεδήποτε αρκεί να έχουν την κατάλληλη συσκευή. Μια νέα πλατφόρμα για broadcast υπηρεσίες και καθολική πρόσβαση προκύπτει λοιπόν αφού πολλοί χρήστες μπορούν να έχουν συσκευές με λειτουργίες βασισμένες στο πρότυπο DVB-H. Αρχικά το σύστημα υπηρεσιών (service system) παράγει τις διάφορες IP ροές στο δίκτυο π.χ. ροές εικόνας. Αυτές κατόπιν διανέμονται μέσω του multicast intranet στους IP encapsulators, οι οποίοι δίνουν ως έξοδο τις ροές DVB-H TS. Οι TS ροές προωθούνται στους DVB-T/H μεταδότες. Ο κόμβος e-Commerce μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τιμολόγηση των χρηστών. Το IPDC σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει λειτουργίες, δανεισμένες από το GPRS

²⁹ May, G. (2004). "The IP datacast system - overview and mobility aspects". *IEEE*,

(General Packet Radio Service) ή το UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).



Σχήμα 40. Πλατφόρμα IP Datacasting

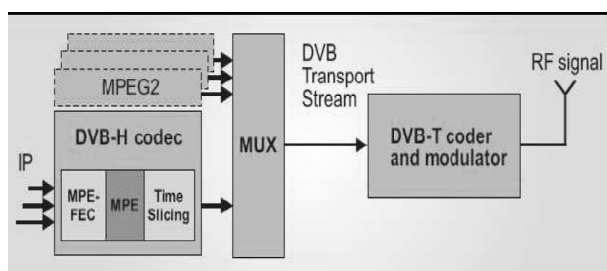
Το σχήμα παρουσιάζει υψηλού επιπέδου διάγραμμα datacasting πλατφόρμας. Οι καταναλωτές μπορούν να ωφεληθούν από το datacasting επειδή έχουν περισσότερες επιλογές στην πρόσβαση στο περιεχόμενο πολυμέσων και στη χρήση Internet χρησιμοποιώντας PC's ή κινητά τηλέφωνα. Το Datacast μπορεί επίσης να υποκινήσει τους προμηθευτές για να προσφέρει περισσότερα διαφορετικά προγράμματα καθώς γίνεται οικονομικά εφικτή η διανομή και η χρέωση multimedia προϊόντων.

5.2. Αντιμετώπιση λαθών κατά τη μετάδοση IP πακέτων

5.2.1. DVB-H

Εφόσον το DVB-H μπορεί να υποστηρίξει την διανομή προγραμμάτων, το ασύρματο περιβάλλον μετάδοσης συνεχώς μπορεί να εξασθενίσει από τα λάθη³⁰ των καναλιών και τη φύση της ευρείας (broadcast) μετάδοσης, έτσι γίνεται δύσκολο να αναμεταδώσει τα χαμένα πακέτα σε κάθε ένα από τους δέκτες. Για οπτικο-ακουστικά προγράμματα η απώλεια πακέτων σημαίνει υποβάθμιση της ποιότητας η οποία είναι ανεκτή αν η διάρκεια μετάδοσης είναι σύντομη αλλά τι γίνεται με δεδομένα όπως π.χ. λογισμικά που θέλει ο χρήστης να κατεβάσει; Σε αυτή την περίπτωση ακόμα και ένα λάθος bit μπορεί να καταστήσει τα δεδομένα αυτά άχρηστα. Γι' αυτό και η αντιμετώπιση λαθών είναι πολύ σημαντική σε αυτή την καινούρια πλατφόρμα μετάδοσης για το IP datacasting.

Οι διάφορες IP ροές εισόδου (που προέρχονται από διαφορετικές πηγές) πολυπλέκονται βάσει της τεχνικής time-slicing. Η προστασία σφαλμάτων MPE-FEC υπολογίζεται χωριστά για κάθε μια ροή. Κατόπιν τα IP πακέτα ενθυλακώνονται στις ροές μεταφοράς. Όλες οι πιθανές επεξεργασίες λαμβάνουν χώρα πριν από την ενθυλάκωση αυτή, προκειμένου να εγγυηθεί τη συμβατότητα με το DVB-T δίκτυο μετάδοσης.

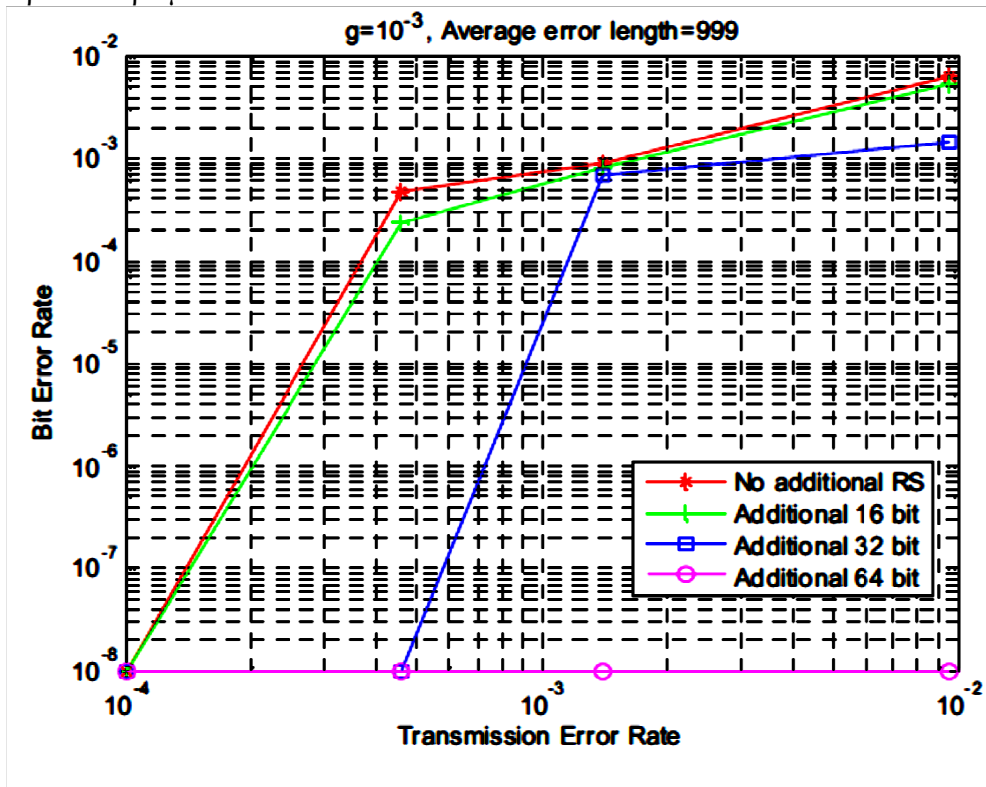


Σχήμα 41. Είσοδος πολλαπλών IP ροών

³⁰ Jason Yao, Ming Syan Chen, Weifen Huang. (2005). "IP datacasting and channel error handling with DVB-H." *IEEE*

Σε αυτή τη μελέτη γίνεται προσπάθεια να μελετήσουμε τις πρόσθετες δυνατότητες που μας δίνει η τεχνική της εμπρόσθιας διόρθωσης λαθών (FEC) που είναι διαθέσιμη στο πρότυπο DVB-H που προσφέρει πάνω από 64 bits πλεονασμού RS για κάθε πακέτο δεδομένων. Στο παρακάτω σχήμα δίνεται η γραφική παράσταση των εσφαλμένων bits σε σχέση με τα λάθη που παρουσιάζονται κατά τη μετάδοση. Όπως παρατηρούμε όταν εφαρμόζουμε εμπρόσθια διόρθωση λαθών μειώνεται σημαντικά ο ρυθμός λαθών κατά τη μετάδοση όπως φυσικά και τα εσφαλμένα bits ανάλογα με τα bits πλεονασμού που εφαρμόζουμε κάθε φορά.

Πρέπει όμως να τονίσουμε ότι η μέθοδος αυτή είναι αποτελεσματική για ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών bits πλεονασμού. Το συγκεκριμένο αυτό το εύρος τιμών πρέπει να εκμεταλλευτούμε κατάλληλα με ένα αλγόριθμο σχεδιασμένο έτσι ώστε να ελέγχουμε την ροή λαθών κατά την μετάδοση πολυμεσικών εφαρμογών και προγραμμάτων. Ο αλγόριθμος δουλεύει ως εξής. Γίνεται γενικός έλεγχος λαθών ώστε να δούμε ποια είναι ανεκτά κατά τη λήψη από τους χρήστες εικόνας και ήχου (ώστε να δώσουμε και το κατάλληλο εύρος bits πλεονασμού). Ο έλεγχος γίνεται πιο αυστηρός κατά τη μετάδοση αυτών των εφαρμογών καθώς είναι πιο επιρρεπής σε λάθη κατά τη μετάδοσή τους. Αυτή η προσαρμοστική μέθοδος (ανάλογα δηλαδή με τι δεδομένα μεταδίδονται κάθε φορά) προφανώς μας κάνει καλύτερη χρήση του εύρους ζώνης του δικτύου άρα καλύτερη εξυπηρέτηση χρηστών και περισσότερων σε αριθμό.



Σχήμα 42. Γραφική παράσταση των εσφαλμένων bits σε σχέση με τα λάθη που παρουσιάζονται κατά τη μετάδοση για διαφορετικές τιμές bits πλεονασμού

Πρέπει να αναγνωρίσουμε δύο παράγοντες που καθιστούν αυτή τη μέθοδο προσαρμοστικής αντιμετώπισης λαθών απαγορευτική.

- 1) Όταν το ποσοστό λαθών είναι πάρα πολύ υψηλό. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν ο δέκτης τρέχει σε ένα σημείο που δεν καλύπτεται από τη broadcast μετάδοση.
- 2) Το κανάλι επιστροφής μπορεί να μην είναι έγκαιρο και ακριβές. Υπάρχει πάντα μια καθυστέρηση πριν ο φορέας broadcasting μετάδοσης ενημερωθεί για τις συνθήκες του καναλιού.
- 3) Μπορεί να μην είναι αποδοτικό να χρησιμοποιηθεί υπερβολικό FEC για μερικούς χρήστες με χαμηλή λήψη.

Δύο λύσεις μπορούν να δοθούν για να καταστεί η μέθοδος πιο αποτελεσματική.

1. Λύση client –Server. Ο δέκτης μπορεί να λάβει τα χαμένα πακέτα μέσω του δικτύου GSM/GPRS τους. Από τη στιγμή που η χρήστες ενημερωθούν για τη κατάσταση στο δίκτυο μπορούν ταυτόχρονα να κάνουν αίτηση για τα χαμένα πακέτα. Αυτή η λύση είναι απλή αν και ο κεντρικός υπολογιστής μπορεί γεμίσει με αιτήματα όταν ξαφνικά το κανάλι ραδιοφωνικής μετάδοσης γίνει πολύ θορυβώδες.
2. Λύση Peer to peer. Σε περίπτωση που οι δέκτες μπορούν να είναι οργανωμένοι σε ένα ειδικό δίκτυο (κινητό Δίκτυο, MANET), μπορούν να ζητήσουν τα χαμένα πακέτα από τα peers χωρίς να συνδεθούν με το Server. Εντούτοις, μπορούν ακόμα να πρέπει να ανακτήσουν μερικά στοιχεία από τους κεντρικούς υπολογιστές εάν δεν μπορούν να βρουν έναν τοπικό αντίγραφο χαμένου πακέτου από τους peers.

5.2.2. DVB-T2

Το DVB-T2 πρότυπο όπως μελετήσαμε και σε παραπάνω κεφάλαιο χρησιμοποιεί κωδικοποίηση FEC στο φυσικό στρώμα με την εισαγωγή ενός FEC-ΠΛΑΙΣΙΟΥ³¹. Συνεπώς, ότι λάθη μετάδοσης υπάρξουν μετά από την αποκωδικοποίηση στο φυσικό στρώμα απεικονίζονται στο επίπεδο πλαισίων του BB. Επιπλέον, εάν η συνδυασμένη αποκωδικοποίηση BCH/LDPC FEC αποτύχει, κατόπιν ολόκληρο το πλαίσιο του BB χάνεται. Εντούτοις, τα αλλοιωμένα στοιχεία από το πλαίσιο του BB μπορούν να ανακτηθούν εάν οποιαδήποτε μέθοδος UL-FEC εφαρμοστεί στα μεταδιδόμενα στοιχεία.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι UL-FEC που προσαρμόζονται για διαφορετικούς τύπους μεταδόσεων και διαφορετικών ομάδων δεκτών. Για παράδειγμα, εάν ένα αρχείο πρέπει να μεταδοθεί τότε το στρώμα FEC εφαρμογής (AI-FEC) μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Αφ' ετέρου, εάν μια ροή δεδομένων πρέπει να μεταδοθεί στους φορητούς δέκτες τότε μπορεί να εφαρμοστεί MPE-FEC, MPE-iFEC, ή στρώμα συνδέσεων FEC (LI-FEC).

Το MPE-FEC αποδείχθηκε ότι παρέχει οφέλη για κινητή μετάδοση στο πρότυπα DVB-H. Ομοίως, ένα LI-FEC θα μπορούσε να εφαρμοστεί στο DVB-T2 για να καταπολεμήσει τα λάθη που προκαλούνται από την εξασθένηση του καναλιού στα κινητά τερματικά. Εντούτοις, δεδομένα στο DVB-T2 μπορούν να διαβιβαστούν με τη χρησιμοποίηση MPE/TS, ULE/TS ή με τη χρήση GSE. Όταν το MPE/TS χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων, η τεχνολογία MPE-FEC που χρησιμοποιείται στο DVB-H μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Εάν έχουμε IP μετάδοση μέσω ULE/TS ή των GSE τότε απαιτείται μια μέθοδος για IL-FEC μαζί με μια νέα μέθοδο για τη σηματοδότηση. Για να αποφευχθεί η διαφοροποίηση FEC μεθόδου ανάλογα με τη τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων, προτείνεται να χρησιμοποιηθεί χαμηλότερο στρώμα, το στρώμα πλαισίων του BB (BB-FEC).

5.3. Κατανάλωση ισχύος

5.3.1. DVB-T2

Τα φορητά κινητά τερματικά λειτουργούν σε μια περιορισμένη ισχύ³². Επομένως, η βελτιστοποίηση ισχύος γίνεται ένα σημαντικό ζήτημα για να εξεταστούν κατά το σχεδιασμό των τεχνολογιών μετάδοσης για τις φορητές συσκευές. Μια λύση για να αντιμετωπιστεί η κατανάλωση

³¹ <http://www.etsi.org>: “Digital Video Broadcasting (DVB): Specification for the use of Video and Audio Coding in DVB services delivered directly over IP protocols” ETSI TS 102 005 V1.4.1,

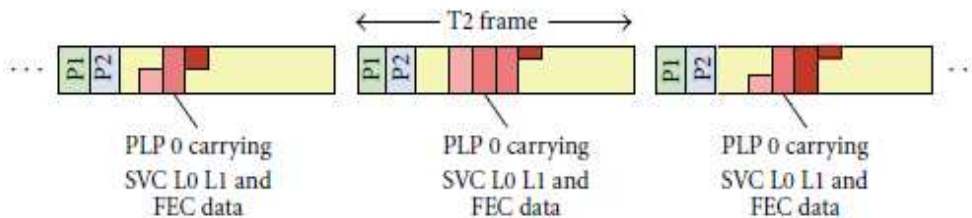
³² Lukasz Kondrad, I Vinod Kumar Malamal Vadakital, Imed Bouazizi, Miika Tupala, Moncef Gabbouj1. (2010). “Cross-layer optimization of DVB-T2 system for Mobile services». *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting*

ισχύος κατά τη μετάδοση δεδομένων σε φορητές συσκευές είναι η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM). Η ιδέα είναι να σταλούν στοιχεία με εκρήξεις (bursts) έτσι ώστε ένας δέκτης να μπορεί να σβήσει το διαβιβασθέν στοιχείο με συνέπεια να αποταμιεύεται ισχύς. Αυτό συμβαίνει και στα δυο πρότυπα όπως είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια.

Πιο συγκεκριμένα στο DVB-T2 η έννοια TDM (time division multiplexing) εισάγεται με τα στοιχεία PLPs μέσα σε ένα Πλαίσιο (frame) T2 ή με τη χρονική παρεμβολή λευκών σελίδων (time interleaving). Το PLP μπορεί να μην εμφανιστεί μέσα κάθε πλαίσιο T2 του superframe, και αυτό επισημαίνεται από την παράμετρο του time interleaving. Εντούτοις, το διάστημα μεταξύ δυο διαδοχικών πλαισίων είναι καθορισμένο και δεν μπορεί να αλλάξει μέσα σε ένα superframe.

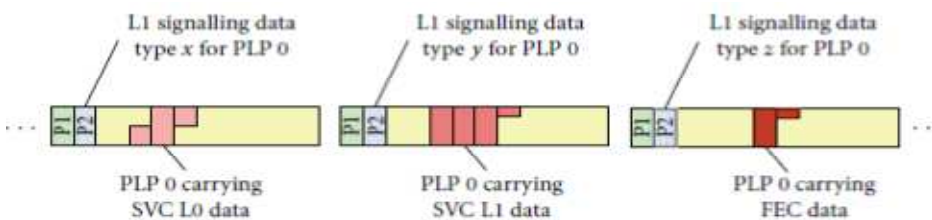
Επομένως, ο χρονικός τεμαχισμός δεν είναι τόσο εύκαμπτος όπως στη περίπτωση του DVB-H. Επιπλέον, από τη στιγμή που τα στοιχεία διαβιβάζονται (στο DVB-T2 σύστημα), στα PLP's για να αποκωδικοποιηθούν από ένα δέκτη πρέπει αρχικά να αναλύσουν τις πληροφορίες του σήματος που συνδέονται με τα στοιχεία και έπειτα να αναλυθεί το κατάλληλο PLP. Ο τύπος στοιχείων στο PLP σε ένα πλαίσιο T2 είναι άγνωστο στο δέκτη, έως ότου αναλυθεί από τα ανώτερα στρώματα. Μόνο όταν τα στοιχεία αναλύονται από τα ανώτερα στρώματα, ο δέκτης μπορεί να απορρίψει άσχετο στοιχείο που ανήκει στα ανώτερα στρώματα. Η έλλειψη πληροφοριών για τον τύπο στοιχείου που μεταφέρεται στους PLP σωλήνες έχει σαν αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται μεγάλη ισχύ από τα περιορισμένα φορητά τερματικά. Το πρόβλημα θα μπορούσε να λυθεί με την επισήμανση του τύπου από τα στοιχεία που περιλαμβάνονται σε κάθε πλαίσιο T2 για κάθε συγκεκριμένο PLP.

Αυτές οι πληροφορίες θα χρησιμοποιούνταν έπειτα από το δέκτη για να μεταπηδήσουν τα στοιχεία PLPs σε ένα πλαίσιο που δεν περιέχει τις απαραίτητες πληροφορίες. Αυτή η λύση θα επέτρεπε επίσης τη χρήση ενός ενιαίου PLP για ολόκληρη την υπηρεσία, συμπεριλαμβανομένου όλου του σχετικού στρώματος αποφεύγοντας έτσι το περιορισμό στη ισχύ των δεκτών. Το DVB-T2 επιτρέπει τη δυναμική σηματοδότηση. Επομένως, αυτές οι πρόσθετες πληροφορίες μπορούν να περιληφθούν στη L1 σηματοδότηση πάνω σε κάθε πλαίσιο T2. Οι πληροφορίες μπορούν να αλλάξουν σε κάθε πλαίσιο T2, με αποτέλεσμα να γίνεται γνωστός ο τύπος των στοιχείων όπου μεταφέρονται από PLP σύμβολα σε ένα πλαίσιο Ένα συγκριτικό παράδειγμα για το πώς το στοιχείο



Σχήμα 43.
Μεταφορά
δεδομένων πάνω
σε ένα PLP

μεταφέρεται πάνω σε ένα PLP και πώς μπορεί να διαβιβαστεί εάν τα δεδομένα καθορίζονται σε ένα PLP χρησιμοποιώντας τη μέθοδο L1 signalling παρουσιάζεται στα σχήματα 43 και 44, αντίστοιχα.



Σχήμα 44.
Μεταφορά
καθορισμένων
δεδομένων
πάνω σε ένα
PLP
προσθέτοντας
L1 signalling

Λόγω των πληροφοριών των τύπων δεδομένων που φέρονται στα σύμβολα PLP σε οποιοδήποτε δεδομένο πλαίσιο T2, ο δέκτης θα μπορούσε να απορρίψει το πλαίσιο εάν δεν απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία. Επιπλέον, εάν χρησιμοποιηθεί η χρονική έννοια δέλτα, όπως στο πρότυπο

DVB-H, ο δέκτης θα ήταν σε θέση να ξέρει το χρόνο στο επόμενο πλαίσιο T2, το οποίο περιλαμβάνει τα αναγκαία στοιχεία, επιτρέποντας κατά συνέπεια περισσότερη αποταμίευση δύναμης. Επιπλέον, τα αναγκαία στοιχεία θα μπορούσαν να εξαχθούν από έναν δέκτη με την ανάλυση μόνο του απαραίτητου PLP. Ο δέκτης θα πρέπει να διατηρήσει τον πόρο για κάθε PLP χωριστά το οποίο θα απαιτούσε μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ, μνήμη, και ενέργεια γεγονός που ελαχιστοποιεί τη διάρκεια ζωής μπαταριών. Επιπλέον, πρόσθετα στοιχεία κυκλώματος ουσιαστικά για την ταυτόχρονη υποδοχή πολλαπλών PLPs θα μπορούσε να αυξήσει το κόστος του δέκτη σε σύγκριση με ένα PLP πρότυπο. Τέλος, αυτή η λύση προϋποθέτει ότι δέκτες ενδιαφερόμενοι στην υψηλότερη ποιότητα/ανάλυση είναι σε θέση να λαμβάνουν πολλαπλά PLPs ταυτόχρονα, κάτι που δεν υποστηρίζεται από το DVB-T2 πρότυπο.

5.3.2. DVB-H

Στο DVB-H η αποταμίευση ισχύος επιτυγχάνεται πάλι με την χρήση της τεχνικής time slicing όπου εκεί έχουμε εκρήξεις κατά τη μετάδοση των πακέτων. Όπως αναλύσαμε στο κεφάλαιο για το DVB-H υπάρχουν πέντε επίπεδα κατανάλωσης ισχύος γεγονός που το καθιστά πιο ευέλικτο στην διαχείριση της κατανάλωσης από τα φορητά τερματικά. Η μέση κατανάλωση ισχύος θα πρέπει να είναι αρκετά χαμηλά.

5.4. Χαρακτηριστικά λειτουργίας των δύο προτύπων

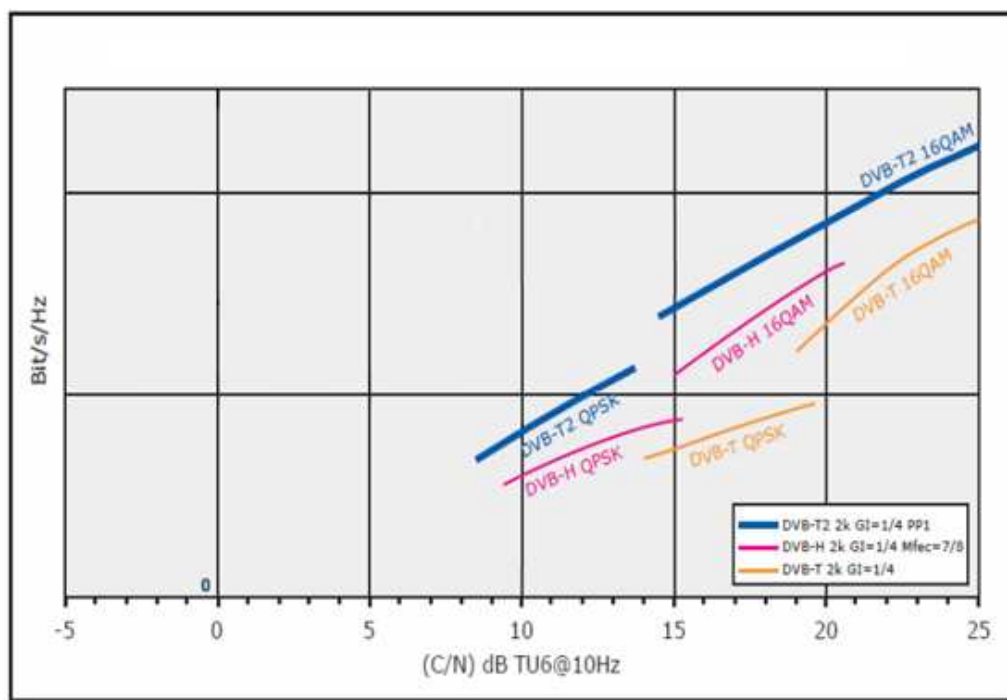
Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των δυο προτύπων³³ που μελετήσαμε σε αυτή εδώ την εργασία παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα

Πρότυπα	DVB-H	DVB-T2
Μπάντες συχνοτήτων	VHF-III (170 - 230 MHz) UHF-IV/V (470 - 862 MHz)	VHF-III (170 - 230 MHz) UHF-IV/V (470 - 862 MHz)
Εύρος ζώνης	5, 6, 7, 8 MHz	1.7, 5, 6, 7, 8, 10 MHz (10MHz για επαγγελματικές εφαρμογές)
Διαμόρφωση	OFDM	OFDM
Μεγέθη FFT	2K, 4K, 8K	1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K.
Είδη Κωδικοποίησης	QPSK, /16QAM/ 64QAM	QPSK, 16/64/256 QAM
Διαστήματα φρουράς	1 /4, 1 /8, 1/16, 1/32	1 /4, 19/256, 1 /8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
Προστασία λαθών (FEC) και Ρυθμοί Διόρθωσης	Convolutional (συνελικτική) + Reed Solomon 1 /2, 2/3, 3 /4, 5/6, 7 /8 και MPE-FEC	LDPC+BCH 1 /2, 3/5/, 2/3, 3 /4, 4/5, 5/6
Αναστροφή αστερισμών	Δεν υπάρχει	Είναι διαθέσιμη (Δίνει σημαντική βελτίωση στην

³³ Himmanen, H. (2009). "Quality issues in future multimedia systems: An overview" (Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, 2009. BMSB '09. IEEE International Symposium) *IEEE*.

		ευρωστία του δικτύου)
Υποστήριξη MIMO	MONO SISO	SISO, MISO, MIMO
Είδη μετάδοσης	DVB-IPDC and MPEG-2 TS	TS, GSE, GCS ή GFPS
Ταχύτητα μετάδοσης	4.976 ~ 31.668 Mbps	Πάνω από 50.34 Mbps
Physical Layer Pipe (PLP)	ΌΧΙ δεν παρέχεται η δυνατότητα	Υπηρεσίες η σύνολο υπηρεσιών που χρησιμοποιούν ίδιο ρυθμό κωδικοποίησης η διαμόρφωση
Future Extension Frames (FEF)	Όχι	Μελλοντική επέκταση για το NGH (next generation handheld) ή επεκτάσεις πάνω στο ίδιο πρότυπο DVB-T2 το οποίο μπορεί να διαθέτει πλήρης ροή MIMO
Μέγιστο Bit rate	17.2 Mbit/s	50,6 Mbps σε 32k φέρον
C/N ρυθμοί (Gaussian μοντέλο μετάδοσης)	Χαμηλό C/N κατάλληλο για μετάδοση τηλεόρασης σε φορητά τερματικά	Κατάλληλο κυρίως για σταθερές λήψεις με υψηλό ρυθμό μετάδοσης
Interleavers	In depth interleavers Μεγάλο βάθος κατάλληλο για φορητή λήψη γύρω στα 10 sec	Bit, cell και time interleavers Το μέγιστο βάθος των interleavers είναι στα 100ms
Patterns	1 σχηματισμός πιλότων	8 σχηματισμοί πιλότων (pilot patterns: pp1 έως pp8)
Άλλα χαρακτηριστικά	Time slicing	Δεν διαθέτει

Πίνακας 20. Διαφορές των δύο προτύπων



Το παραπάνω σχήμα δείχνει την απόδοση των τριών προτύπων σε περιβάλλον φορητής μετάδοσης. Συγκεκριμένα το DVB-T2 παρουσιάζει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων όμως ο λόγος C/N είναι επίσης μεγαλύτερος γεγονός που επηρεάζει αισθητά την ποιότητα της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Οι μετρήσεις έγιναν για το κανάλι TU6 με συχνότητα 10 Hz και για φέροντα στα 2K με διαστήματα φύλαξης $\frac{1}{4}$. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικές διαμορφώσεις όπως βλέπουμε στον πίνακα.

Ένας σημαντικός παράγοντας που καθιστά κατάλληλο το πρότυπο DVB-H για φορητή λήψη είναι οι σε βάθος interleavers που φτάνουν σε μέγιστη τιμή τα 10 sec. Αυτό σημαίνει μεγαλύτερη διάρκεια χρονικών ριπών άρα και διόρθωσης λαθών (με τη τεχνική MPE-FEC) ενώ το DVB-T2 έχει μέγιστο βάθος interleavers στα 100ms που δεν είναι κατάλληλο για τη φορητή λήψη.

Για διαμόρφωση QPSK το DVB-T2 παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά κατά τη κινητή λήψη καθώς και ο λόγος C/N είναι λίγο μικρότερος αλλά και ο ρυθμός μετάδοσης σαφώς υψηλότερος. Βέβαια για διαμόρφωση 16QAM το DVB-H αν και πάλι έχει μικρότερο ρυθμό μετάδοσης παρουσιάζει μεγάλη βελτίωση στο λόγο φέροντος προς θόρυβο γύρω στα 4-5 db. Αυτό συμβαίνει κυρίως με τη χρήση της επιπρόσθετης διόρθωσης λαθών, τεχνική που χρησιμοποιείται από το πρότυπο και καθιστά την φορητή μετάδοση λιγότερο επιρρεπή σε λάθη.

Στο DVB-T2 οι ρυθμοί κωδικοποίησης δεν είναι αρκετά χαμηλοί για κινητές λήψεις. Συγκεκριμένα ρυθμοί κάτω από το $\frac{1}{2}$ είναι κατάλληλη για μετάδοση TV. Το DVB-H αν και έχει επίσης ελάχιστο ρυθμό $\frac{1}{2}$, όμως σε συνδυασμό με τη τεχνική MPE-FEC αποδίδει καλύτερα ακόμα και στα «δύσκολα» κανάλια.

Τα μεγέθη FFT είναι τα ίδια αν και το DVB-T2 έχει δύο παραπάνω φέροντα στα 16K και 32K όμως τα μεγέθη αυτά είναι κατάλληλα μόνο για σταθερές λήψεις.

Η αναστροφή αστερισμών δίνουν σημαντική ευρωστία στο δίκτυο π.χ. για ρυθμό κωδικοποίησης $\frac{5}{6}$ έχουμε γύρω στα 5db βελτίωση στο σηματοθορυβικό λόγο κυρίως για επίγεια ψηφιακά κανάλια. Στο DVB-H δεν υπάρχει η τεχνική ανεστραμμένων σχηματισμών. Αυτό σημαίνει και χαμηλότερο bitrate δηλαδή μικρότερη ροή δεδομένων. Το DVB-H έχει ένα σχηματισμό πιλότων ενώ το DVB-T2 8 σχηματισμούς PP1-PP8. Το PP1 έχει περίπου -8% μείωση στη ρυθμό μετάδοσης (bit rate) ενώ όσο πάμε σε μεγαλύτερο PP μικραίνει και το ποσοστό μείωσης π.χ. το PP8 έχει μείωση στο -1%. Η χρήση πιλότων γίνεται για να αυξηθεί η χωρητικότητα του δικτύου και να έχουμε πάλι υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης όμως και πάλι δεν είναι κατάλληλο για κινητή λήψη TV αφού τα κανάλια δεν παρουσιάζουν καλή απόδοση, είναι επιρρεπή σε λάθη και παρουσιάζουν μεγάλο θόρυβο.

Το DVB-H χρησιμοποιεί την τεχνική του χρονικού τεμαχισμού όπως είδαμε παραπάνω, που έχει ως αποτέλεσμα τη μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας στην μπαταρία του φορητού δέκτη εισάγει μια εμπρόσθια διόρθωση λαθών (MPE-FEC) για την αξιόπιστη μετάδοση σήματος σε δύσκολες συνθήκες υποδοχής. Στο DVB-H μια μετάδοση συμβόλου 4K ορίζεται για να προσφέρει τη δυνατότητα εναλλαγής συχνότητας μεταξύ της κυψελών. Η πολυπλοκότητα του DVB-H προτύπου απαιτεί ευελιξία και εξαιρετική διαμόρφωση για την ανάπτυξη και την αξιολόγηση του συστήματος.

Το DVB-T2 όντας μια βελτιωμένη επέκταση του προηγούμενου προτύπου επίγεια ψηφιακής τηλεόρασης-βίντεο (DVB-T) βελτιώνει την απόδοση και την λειτουργία κυρίως των δικτύων μονής συχνότητας (SFN), προσφέρει επίσης καλύτερη αντιμετώπιση στην διόρθωση λαθών καθώς και την καλύτερη διαχείριση τόσο του διαθέσιμου εύρους ζώνης όπως και των διαθέσιμων συχνοτήτων. Όπως είδαμε και αναπτύξαμε σε προηγούμενα κεφάλαια το DVB-T2 με την χρήση των ανεστραμμένων σχηματισμών δίνει και αυτό σημαντική βελτίωση στη μετάδοση σήματος σε δύσκολες συνθήκες λήψης. Η λειτουργία των πολλαπλών σωλήνων στο φυσικό στρώμα (MULTI-PLP's) παρέχεται για να ρυθμίσει ξεχωριστά την ευρωστία της μετάδοσης κάθε υπηρεσίας μέσα σε ένα κανάλι για την κάλυψη των απαιτούμενων συνθηκών κατά την λήψη. Επιπλέον, ο δέκτης μπορεί να εξοικονομήσει

ενέργεια από την αποκωδικοποίηση μόνο μιας υπηρεσίας και όχι ολόκληρου του πολυπλεγμένου σήματος που περιέχει πολλές υπηρεσίες μαζί.

5.5 Συμπεράσματα

Η επιλογή προτύπου λοιπόν για την μετάδοση υπηρεσιών σε κινητούς δέκτες είναι μια δύσκολη διαδικασία καθώς και τα δυο πρότυπα παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η μετάδοση ψηφιακής τηλεόρασης απαιτεί χαμηλό λόγο φέροντος προς θόρυβο όταν πρόκειται να γίνει για φορητά τερματικά άρα προτιμάται το DVB-H. Αντιθέτως για σταθερές λήψεις ψηφιακής τηλεόρασης όπου έχουμε και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης το DVB-T2 συμπεριφέρεται καλύτερα.

Εκτός αυτού το DVB-H απευθύνεται σε δίκτυα κινητών τερματικών συσκευών που κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούν το αμφίδρομο δίκτυο του παρόχου κινητού δικτύου, και η εφαρμογή του DVB-H γίνεται μόνο όταν οι συνθήκες είναι τέτοιες που να κάνουν τη χρήση του ευνοϊκότερη από το δίκτυο κινητών συσκευών, δηλαδή όταν πολλές κινητές συσκευές επιθυμούν ταυτόχρονη πρόσβαση στην ίδια υπηρεσία. Σε αντίθεση το DVB-T2 είναι ένα πρότυπο ψηφιακής τηλεόρασης για τηλεοπτικά δίκτυα που μεταδίδουν συνεχώς στην περιοχή που καλύπτουν ανεξάρτητα με το πόσες συσκευές λήψης λειτουργούν και τι πρόγραμμα αυτές ζητούν.

Επίσης το DVB-T2 κάνει χρήση αλγορίθμων που έχουν αυξημένες απαιτήσεις επεξεργαστικής ισχύος και χωρητικότητας μνήμης από τη συσκευή λήψης σε διάφορα στάδια, όπως το στάδιο της αποδιαμόρφωσης και της λειτουργίας ελέγχου και διόρθωσης σφαλμάτων.

Αντίθετα το DVB-H απευθύνεται σε συσκευές λήψης οι οποίες είναι κινητές και κατά κύριο λόγο συσκευές χειρός που είναι δύσκολο να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις επεξεργαστικής ισχύος και χωρητικότητας μνήμης ενός προτύπου σαν το DVB-T2. Έτσι στο DVB-H υπάρχει ειδικός σχεδιασμός ώστε οι συσκευές λήψης να μπορούν να κάνουν εξοικονόμηση ενέργειας με την τεχνική του time slicing χωρίς να θέτει τη συσκευή σε μεγάλη αναμονή όσο περιμένουμε για το επόμενο πακέτο πληροφορίας.

5.6 Επίλογος

Η ψηφιακή τηλεόραση αποτελεί την τεχνολογία βάσει της οποίας θα αναπτυχθούν οι τηλεοπτικές υπηρεσίες στο μέλλον. Αν και υπάρχουν αρκετά πρότυπα ψηφιακής τηλεόρασης τα πρότυπα DVB γνωρίζουν ευρεία αποδοχή και είναι ταυτόχρονα από τα πιο ανταγωνιστικά όσον αφορά τις παραμέτρους λειτουργίας, γιατί επιτρέπουν προσαρμογή σε διάφορες συνθήκες λήψης και το πως μπορούν να υλοποιήσουν δίκτυα κάλυψης από πανεθνικό επίπεδο μέχρι πολύ περιορισμένης γεωγραφικής κάλυψης.

Τα πρότυπα DVB-T και DVB-T2 έχουν στόχο την ψηφιακή τηλεόραση που μεταδίδεται με επίγεια μέσα. Αποτελούν κατά κάποιο τρόπο ανταγωνιστές μεταξύ τους, πράγμα που είναι λίγο παράδοξο αν σκεφτούμε ότι υπάρχει προς τα πίσω συμβατότητα του DVB-T2, αφού υπάρχει δυσκολία να υιοθετηθεί το DVB-T2 από χώρες όπου ήδη βρίσκεται σε λειτουργία ένα δίκτυο DVB-T, κυρίως λόγω οικονομικών λόγων, επειδή είναι δύσκολο να γίνει εκ νέου δαπάνη για υποδομή ψηφιακής τηλεόρασης μιας και η υιοθέτηση το DVB-T μπορεί να είναι πρόσφατη.

Όσον αφορά τις υπηρεσίες που μπορούν να προσφέρουν αυτά τα δίκτυα είναι πολλές και μάλιστα τελείως νέες όσον αφορά το μέσο της τηλεόρασης. Ένα εμπόδιο για την υλοποίηση αυτών των λειτουργιών είναι κατά πόσο θα είναι πιο ελκυστικές σε σχέση με την ίδια υπηρεσία που προσφέρεται με βάση άλλη τεχνολογία. Για παράδειγμα η πρόσβαση στο διαδίκτυο είναι μία νέα δυνατότητα που δίνει το πρότυπο DVB-H, αλλά κατά πόσο θα προτιμηθεί αυτός ο τρόπος πρόσβασης από τον πιο “συμβατικό” τρόπο μέσω τηλεφωνικού καλωδίου είναι κάτι που θα πρέπει να το λάβουμε υπόψη μας.

Από τεχνικής πλευράς αυτό το οποίο επιτυγχάνεται και είναι σημαντικό είναι ότι έχουμε καλύτερη χρησιμοποίηση του φάσματος πράγμα το οποίο θα δώσει δυνατότητα ύπαρξης περισσότερων καναλιών και περισσότερων υπηρεσιών ανά κανάλι.

Ένα μειονέκτημα των προτύπων αυτών και ειδικά του DVB-T2 είναι η πολυπλοκότητά τους πράγμα που είναι απόρροια των πολλών εμπλεκόμενων φορέων στην ανάπτυξή τους που αφ' ενός για να υπάρξει συμβιβασμός μεταξύ όλων αναγκαστικά λαμβάνονται υπόψη όλων οι απαιτήσεις, αφ' ετέρου η πολυπλοκότητα κάνει απαγορευτική την υλοποίηση του προτύπου από μικρούς φορείς που δεν μπορούν να αντεπεξέλθουν οικονομικά στο κόστος υλοποίησής τους.

Εν κατακλείδι μπορούμε να πούμε ότι η ψηφιακή τηλεόραση και τα πρότυπα DVB είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη της τηλεόρασης στην Ευρώπη και στις χώρες που τα υιοθετούν και είναι τεχνικά άρτια αν και κάπως πολύπλοκα για να υλοποιηθούν στο σύνολό τους.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. <http://www.etsi.org>: "Digital Video Broadcasting (DVB), Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television (DVB-T)" *ETSI EN 300 744 V1.4.1 (2001-01)*
2. DVB BlueBook A114, "Commercial requirements for DVB-T2." (2007).
3. DVB Fact Sheet - September 2010. (2010). "2nd generation terrestrial the World's most advanced digital terrestrial TV system". *IEEE*
4. JokelaTero, Tupala Miika, Paavola Jarkko. (SEPTEMBER 2010). "Analysis of physical layer signaling transmission in DVB-T2 systems". *IEEE*
5. www.dvb.org. "Modulator interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)." *DVB Document, A136. (2009)*
6. <http://www.etsi.org>: "Digital video broadcasting (DVB) frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)" *ETSI EN 302 755. (2009)*.
7. Jokela, T., Paavola, J., & Turku Centre for Comput. Sci., Turku. (2009). Robustness analysis of physical layer signaling transmission in DVB-T2. *IEEE*,
8. Reljin, I. S., & Sugaris, A. N. (2009). "DVB standards development". *IEEE*,
9. Berjon-Eriz, G., Eizmendi, I., Velez, M., Prieto, G., Correia, S., Arrinda, A., & Angueira, P. (2010). "Laboratory tests for testing DVB-T2 mobile performance". *IEEE, (Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*,
10. <http://www.etsi.org>: "Digital Video Broadcasting (DVB):Specification for the use of Video and Audio Coding in DVB services delivered directly over IP protocols".¹ *ETSI TS 102 005 V1.4.1*,
11. Lukasz Kondrad,1 Vinod Kumar Malamal Vadakital, Imed Bouazizi, Miika Tupala, Moncef Gabbouj1. (2010). "Cross-layer optimization of DVB-T2 system for Mobile services. *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting,*"
12. David Gozálvéz, David Vargas, David Gómez-Barquero, Narcís Cardona. (2010). "Performance evaluation of DVB-T2 time interleaving in mobile environments." *IEEE*
13. Inaki Eizmendi, Gorka Prieto, Gorka Berjon-Eriz, Manuel Velez, Susana Correia, Amaia Arrinda, Pablo Angueira (2009) "HDTV field trials using DVB-T and DVB-T2 broadcasting systems" *IEEE*
14. Jukka, Henriksson. (2005). "DVB-H standard, principles and services" *DVB-H_HUT magazine*

15. Gerard, faria, jukka a. henriksson, erik stare, pekka talmola. (2006). "DVB-H: Digital broadcast services to handheld devices". *IEEE*
16. Kornfeld, M.Ulrich. (2005). "DVB-H the emerging standard for mobile data communication" *EBU TECHNICAL REVIEW*
17. www.dvb.org. "Digital video broadcasting (DVB) DVB-H implementation guidelines" *DVB* (2009).
18. David Gómez-Barquero, Jussi Poikonen, Jarkko Paavola,, Narcís Cardona. (2010). "Development and applications of a dynamic DVB-H system-level simulator" *IEEE*,
19. David Plets, Wout Joseph, Emmeric Tanghe, Leen Verloock, and Luc Martens. (1998). "Analysis of propagation of actual DVB-H signal in a suburban environment" *IEEE*,
20. www.Dvb.Org Ulrich, Reimers (2009). "An overview of DVB-H and the IP datacast system."
21. www.dvb.org. "The convergence of broadcast & telecommunications platforms." *UMTS23Rev1* (2002)
22. E. Costa, M. L. (2007) "Hybrid propagation models for broadcast coverage predictions" *IEEE*,
23. www.dvb.org. "IP datacasting in DVB-H." *Digital Video Broadcasting*, (2003).
24. Peter Unger, T. K. (2009). "Modeling and performance analysis of hybrid cellular and broadcasting networks" *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting implications.*"
25. Christoph, Heuck. (2004). "Analysis of the performance of hybrid (broadcast/mobile) networks" *IEEE*,
26. Lukasz Kondrad,1 Vinod Kumar Malamal Vadakital, Imed Bouazizi, Miika Tupala, Moncef Gabbouj1. (2010). "Cross-layer optimization of DVB-T2 system for Mobile services". *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting*
27. May, G. (2004). "The IP datacast system - overview and mobility aspects" *IEEE*,
28. Jason Yao,Ming Syan Chen, Weifen Huang. (2005). "IP datacasting and channel error handling with DVB-H" *IEEE*,
29. Himmanen, H. (2009). "Quality issues in future multimedia systems: An overview" (Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, 2009. BMSB '09. IEEE International Symposium) *IEEE*.,

7. Παράρτημα

7.1 Γλωσσάριο

APS	Average Packet Size
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BBC	British Broadcasting Company
BCH	Bose-Chaudhuri-Hosquengham
BB header	Baseband Header
BER	Bit Error Rate
BICM	Bit interleaved coding and modulation
BO	Broadcast Operator
BW	Bandwidth
CNR	Carrier to Noise Ratio
CRC	Constellation Rotation and Cyclic Q-delay.
DTT	Digital Terrestrial Television
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-H	Digital Video Broadcasting – Handheld
DVB-T	Digital Video Broadcasting-Terrestrial
DVB-T2	Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial
EBU	European Broadcasting Union
ES	Elementary Stream
ETSI	European Telecommunications Standard Institute
FEC	Forward Error Correction
FEF	Future extension frames
FFT	Fast Fourier Transform
FPS	Frame Per Second
G.I.	Guard Interval
GSE	Generic Elementary Stream
GPRS	General Packet radio service
GSM	Global System for Mobile Communications
HD	High Definition
HDTV	High Definition Television
HP	High Priority
ITU	International Telecommunication Union
IPE	IP-Encapsulator
IPP	Input PreProcessor
ISP	Internet Service Provider
LDPC	Low Density Parity Check
LP	Low Priority
MER	Modulation Error Ratio
MFER	Modulation Frequency Error Ratio
MO	Mobile Operator
MP	Mobile Provider
MPE	Multi Protocol Encapsulation
MPEG	Moving Picture Experts Group
MPEG-2 TS	MPEG-2 Transport Stream
MUX	Multiplexer
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing

PAL	Phase Alternating Line
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PLL	Phase Lock Loop
PLPs	Physical Layer Pipes
PP	Pilot Pattern
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
PSNR	Peak Signal-to-Noise Ratio
RF	Radio frequency
RS	Reed-Solomon
RTP	Real-Time transport Protocol
SIR	Signal to Interference Ratio
SD	Standard Definition
SDTV	Standard Definition Television
SFN	Single Frequency Network
SNR	Signal to Noise Ratio
TFS	Time Frequency Slicing
TR	Tone Reservation
TPS	Transmission Parameter Signaling channel.
TS	Transport Streams
UDP header	User Datagram Protocol header
UHF	Ultra high frequency
ULE	Unidirectional Lightweight Encapsulation
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VHF	Very high frequency