



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ  
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
‘ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ’

ΜΑΘΗΜΑ: ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: Δρ. Ν. Δεσύπρης

**DVB-T & DVB-T2 : differences and prospects**

**Ομάδα 1:**

*Ηλιάδης Νίκος, ΜΟΠ 301  
Κακκάβας Γρηγόρης, ΜΟΠ 302  
Μανώλη Ελένη, ΜΟΠ 315  
Μουρτζάκη Δήμητρα, ΜΟΠ 316  
Σαλάπας Θεοφάνης, ΜΟΠ 326*

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΥΠΟΒΟΛΗΣ  
31 Μαΐου 2011

---

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα .....	2
Abstract .....	3
Keywords.....	3
Εισαγωγή.....	3
Επισκόπηση του προτύπου DVB-T.....	3
Προσαρμογή πολυπλεξίας και διασπορά ενέργειας.....	4
Εξωτερικός κωδικοποιητής .....	5
Εξωτερικός Διεπλοκέας (Interleaver).....	5
Εσωτερικός κωδικοποιητής.....	5
Εσωτερικός Διεπλοκέας (Interleaver) .....	5
Προσαρμογή πλαισίου .....	5
Πιλοτικά Σύμβολα και TPS σήματα.....	6
Διαμορφωτής OFDM .....	6
Εισαγωγή Guard Interval .....	6
Μετατροπέας ψηφιακού σε αναλογικό (DAC) .....	7
Υπόβαθρο και εμπορικές προδιαγραφές του προτύπου DVB-T2.....	8
Επισκόπηση του προτύπου DVB-T2.....	9
Κωδικοποίηση προστασίας σφαλμάτων.....	11
Χρονοδρομολόγηση (Scheduling).....	11
Τεχνικές Διαμόρφωσης.....	13
Περιστρεφόμενοι αστερισμοί (Rotated Constellations).....	13
Μείωση του PAPR.....	13
Συγχρονισμός και εκτίμηση καναλιού .....	14
Σύμβολο P1 .....	14
Σύμβολα P2 .....	15
Κατακερματισμένοι και συνεχείς πιλότοι .....	15
Πιλοτικές ακολουθίες αναφοράς.....	16
Τεχνικές πολλαπλών κεραιών .....	16
Επίδοση και σύγκριση τρόπων λειτουργίας.....	17
Σύγκριση των προτύπων DVB-T και DVB-T2.....	17
Η μελλοντική αγορά.....	19
DVB-T2 business issues.....	21
Ζήτηση για το πρότυπο DVB-T2 .....	21
Πιθανή μετάβαση από το DVB-T προς DVB-T2; .....	23
Επόμενα βήματα για το DVB-T2.....	23
Στρατηγικές για την εμπορία του DVB-T2.....	23
Συμπεράσματα.....	24
References .....	25

---

## Abstract

Το DVB-T έχει καθιερωθεί σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο για την DTT. Ορισμένες χώρες έχουν ολοκληρώσει τη διαδικασία της ψηφιακής μετάβασης ενώ άλλες δεν έχουν ξεκινήσει ακόμη τις υπηρεσίες DTT. Μία νέα πλατφόρμα για μεταδόσεις υψηλής ευκρίνειας (HDTV), με τη μορφή ενός δεύτερης γενιάς προτύπου επίγειας μετάδοσης για την εκπομπή ψηφιακής τηλεόρασης (DVB-T2), αναπτύχθηκε από το DVB Project και έχει εκδοθεί από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (European Telecommunications Standard Institute, ETSI). Το νέο πρότυπο περιλαμβάνει έναν αριθμό τεχνολογικών καινοτομιών που βελτιώνουν τη ρυθμοαπόδοση (throughput), αυξάνουν την κάλυψη των δικτύων SFN (single-frequency-network) και διευκολύνουν την υλοποίηση των πομπών και των δεκτών. Αυτό το άρθρο ξεκινά από τα κίνητρα που οδήγησαν το DVB Project στη δημιουργία του νέου προτύπου και στη συνέχεια ερευνά τις βασικές τεχνολογίες πίσω από το DVB-T2, συμπεριλαμβανομένων του σχήματος εμπρόσθιας διόρθωσης σφαλμάτων LDPC/BCH, της χρονοδρομολόγησης εκπομπής, της ορθογώνιας πολυπλεξίας με διαίρεση συχνότητας (orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM), των μεταδόσεων πολλαπλών κεραιών και των τεχνικών συγχρονισμού. Επίσης, παρέχεται μια σύγκριση με το υφιστάμενο πρότυπο DVB-T, που αποδεικνύει ότι το DVB-T2 αυξάνει τη ρυθμοαπόδοση ωφέλιμου φορτίου και επιτρέπει την εκπομπή HDTV με τον τρέχοντα σχεδιασμό δικτύου. Το DVB-T2 παρέχει σημαντική ευελιξία για την παροχή νέων υπηρεσιών ψηφιακής τηλεόρασης στην DTT, όπως για παράδειγμα HDTV, SDTV, 3D TV, video-on-demand

## Keywords

DVB-T, DVB-T2, DTT, forward error correction (FEC), guard interval (GI), περιστρεφόμενοι αστερισμοί, πολλαπλές PLPs, OFDM, BCH, LDPC

## Εισαγωγή

Το DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial) είναι ένα δεύτερης γενιάς σύστημα επίγειας μετάδοσης για την εκπομπή ψηφιακής τηλεόρασης. Στηρίζεται στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται ως μέρος του συστήματος πρώτης γενιάς, DVB-T, το οποίο αναπτύχθηκε πριν από μια δεκαετία. Το DVB-T2 επεκτείνει το εύρος των περισσότερων παραμέτρων του DVB-T και μειώνει σημαντικά το κόστος κατασκευής ενός συστήματος με ρυθμοαπόδοση (throughput) κοντά στη θεωρητική χωρητικότητα του καναλιού, με τη βέλτιστη δυνατή ταχύτητα μετάδοσης. Το βασικό κίνητρο πίσω από αυτό το πρότυπο ήταν η επιθυμία προσφοράς υπηρεσιών τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας (HDTV) σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες, με όσο το δυνατόν πιο αποδοτικό και αποτελεσματικό τρόπο. Η στροφή στην HDTV συνοδεύεται αναπόφευκτα από μια αλλαγή στην κωδικοποίηση πηγής που καθιστά αναγκαία την εισαγωγή νέου οικιακού εξοπλισμού λήψης (set-top boxes και TV sets) και ως εκ τούτου προσφέρει την ιδανική ευκαιρία για ταυτόχρονη αναβάθμιση του συστήματος μετάδοσης. Στη συνέχεια, περιγράφονται οι βασικές τεχνολογίες που περιλαμβάνονται στα συστήματα DVB-T και DVB-T2 και παρουσιάζονται αποτελέσματα προσομοιώσεων που αποδεικνύουν ότι ικανοποιήθηκαν όλες οι εμπορικές προδιαγραφές.

## Επισκόπηση του προτύπου DVB-T

Το πρότυπο επίγειας ψηφιακής ευρείας εκπομπής video (DVB-T) σχεδιάστηκε, αρχικά, για να παρέχει υπηρεσίες σε ακίνητους δέκτες, με κεραία λήψης τοποθετημένη στις οροφές κτηρίων, όπως συμβαίνει με την αναλογική τηλεόραση. Ωστόσο, από τις πρώτες δοκιμές που έγιναν στη Γερμανία το 1997, δόθηκε η εντύπωση ότι το σύστημα μπορεί να παρέχει υπηρεσίες σε φορητούς δέκτες, σε εσωτερικούς χώρους, σε κινητούς δέκτες, αλλά και σε οχήματα που είναι εν κινήσει.

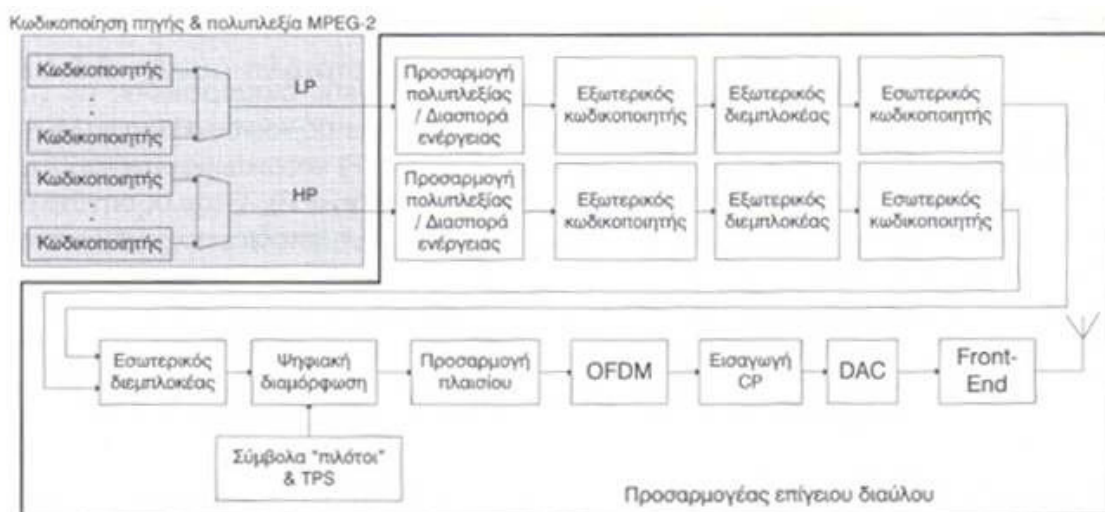
Το πρότυπο εδώ και χρόνια έχει αρχίσει να λειτουργεί σε χώρες όπως η Γαλλία, η Αγγλία και η Γερμανία ενώ όλες οι ευρωπαϊκές χώρες είναι υποχρεωμένες να ακολουθήσουν την πορεία αυτή μέχρι το τέλος του 2012 (σε διεθνές επίπεδο, η συμφωνία της Γενεύης το 2006 ορίζει την 17η Ιουνίου ως καταληκτική ημερομηνία). Το 2012 είναι το έτος, δηλαδή, που θα σταματήσουν να

εκπέμπουν οι αναλογικοί πομποί τηλεόρασης, ώστε να παραχωρηθούν οι συχνότητες που καταλαμβάνουν τώρα σε άλλες υπηρεσίες. Μάλιστα, πολλές χώρες έχουν ολοκληρώσει τη μετάβασή τους από την αναλογική τηλεόραση στην επίγεια ψηφιακή αρκετά νωρίτερα, περίπου από το έτος 2008 όπως η Σουηδία, αφού ήδη καλύπτουν ψηφιακά όλη την επικράτειά τους.(9)

Οι προδιαγραφές του προτύπου αυτού είναι οι εξής:

- ✦ Έχουμε κωδικοποίηση MPEG-2
- ✦ Η μετάδοση γίνεται στη ζώνη UHF και VHF.
- ✦ Μπορεί να λειτουργήσει σε κανάλια με εύρος ζώνης 6,7 και 8MHz
- ✦ 3 επιλογές διαμόρφωσης QPSK/16-QAM/64-QAM σε σχήμα πολλαπλών ορθογωνίων φερόντων (Coded OFDM)
- ✦ 5 διαφορετικούς ρυθμούς FEC(Forward Error Correction)
- ✦ 4 επιλογές Guard Interval
- ✦ Concentrated Coding, Convolutional+Block coding
- ✦ Ωφέλιμο bit rate από 4.98Mbps έως 31.67Mbps.

Παρακάτω φαίνεται το δομικό διάγραμμα ενός συστήματος εκπομπής DVB-T:



Αρχικά γίνεται η κωδικοποίηση και η πολυπλεξία του MPEG2. Η ροή δεδομένων video,ήχου και εικόνας κωδικοποιούνται στη μορφή MPEG-2 PS (Program Stream). Στη συνέχεια, ένα ή περισσότερα MPEG-2 PS ενώνονται και δημιουργούν τη νέα μορφή MPEG-2 TS (Transport Stream). Πρόκειται για τη βασική ψηφιακή ροή που εκπέμπεται αλλά και λαμβάνεται από τις ψηφιακές συσκευές DVB-T. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων είναι από 4.98Mbps έως 31.67Mbps, η διακύμανση αυτή εξαρτάται από την κωδικοποίηση και τη διαμόρφωση που έχει γίνει όπως επίσης και το διάστημα φύλαξης που έχει υιοθετηθεί.(8)

### **Προσαρμογή πολυπλεξίας και διασπορά ενέργειας**

Είναι το πρώτο στάδιο επεξεργασίας του σήματος βασικής ζώνης. Το MPEG-2 TS προσδιορίζεται ως μια ακολουθία πακέτων δεδομένων προκαθορισμένου μεγέθους της τάξης των 188 bytes. Εφαρμόζοντας μια τεχνική που ονομάζεται διασπορά ενέργειας (Energy Dispersal-ED), ουσιαστικά αυτό που επιτυγχάνουμε είναι μια επίπεδη φασματική πυκνότητα ισχύος.

---

## **Εξωτερικός κωδικοποιητής**

Στη συνέχεια ένα πρώτο επίπεδο προστασίας εφαρμόζεται στα μεταδιδόμενα δεδομένα, χρησιμοποιώντας έναν μη δυαδικό κώδικα, τον αλγόριθμο Read-Solomon-RS, ο οποίος επιτρέπει τη διόρθωση μέχρι και 8 λανθασμένων bytes για κάθε πακέτο των 188 bytes.(10)

## **Εξωτερικός Διεπλοκίας (Interleaver)**

Στο στάδιο αυτό γίνεται μια αναδιάταξη των bytes για προστασία από την επιρροή λαθών. Στην περίπτωση που έχουμε λανθασμένα bytes τότε είναι πιθανό αυτά να είναι περισσότερα από όσα μπορεί να διορθώσει ο κώδικας Read-Solomon-RS.

## **Εσωτερικός κωδικοποιητής**

Μετά την εξωτερική κωδικοποίηση ακολουθεί το δεύτερο στάδιο διόρθωσης λαθών μέσω της τεχνικής συνελκτικής κωδικοποίησης (Convolutional Coding), που ουσιαστικά στοχεύει στην αύξηση της απόδοσης της κωδικοποίησης Read-Solomon. Η κωδικοποίηση αυτή είναι η τρίτη στη σειρά των κωδικοποιήσεων που υπόκειται η μεταδιδόμενη πληροφορία, προηγείται κωδικοποίηση Reed Solomon και ένας εξωτερικός interleaver. Με τη συνελκτική κωδικοποίηση τα δεδομένα αφού κωδικοποιηθούν με τη μέθοδο Forward Error Correction, τροφοδοτούνται σε μια μνήμη RAM και μεταδίδονται αναδιατεταγμένα. Με τη χρήση μιας δεύτερης μνήμης RAM κατά τη λήψη, τα δεδομένα τοποθετούνται στην αρχική τους δομή. Το αποτέλεσμα της κωδικοποίησης είναι η συναρμολόγηση των δυαδικών ψηφίων που έχουν υποστεί σφάλμα να μετατρέπεται σε ένα μεγάλο αριθμό ενιαίων εσφαλμένων συμβόλων, τα οποία είναι εύκολα διορθώσιμα. Στο συρμό δεδομένων εφαρμόζεται ένας συνελκτικός κώδικας που βασίζεται σε ρυθμό  $1/2$  και μήκος 7.(8) Ο κώδικας αυτός ανάλογα το ρυθμό του παράγει περισσότερα bits από τα αρχικά αλλά δίνει τη δυνατότητα διόρθωσης τόσων bits όσο είναι η παράμετρος  $d$ . Το σύστημα επιτρέπει συνελκτικούς κώδικες με ρυθμούς  $1/2$ ,  $2/3$ ,  $3/4$ ,  $5/6$  και  $7/8$ . Επομένως, 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 αλλά και να διορθώνει κάποια λάθη.

## **Εσωτερικός Διεπλοκίας (Interleaver)**

Δεν υπάρχει μόνο ο εξωτερικός αλλά και ο εσωτερικός διεπλοκίας, στον οποίο οι ακολουθίες των δεδομένων αναδιατάσσονται και πάλι με μοναδικό στόχο να μειωθεί η επιρροή των λαθών. Στην περίπτωση μη ιεραρχικού τρόπου λειτουργίας, η μοναδική ροή bits, διασπάται σε  $v$  ροές, όπου  $v=2$  για το QPSK,  $v=4$  για το 16-QAM, και  $v=6$  για το 64-QAM. Στην περίπτωση ιεραρχικού τρόπου λειτουργίας, η ροή υψηλής προτεραιότητας χωρίζεται σε δύο ροές και η ροή χαμηλής προτεραιότητας σε  $v-2$ .(9)

## **Προσαρμογή πλαισίου**

Δημιουργούνται block σταθερού μεγέθους 1512,3024, ή 6048 σύμβολα ανά block. Συνεπώς, 68 blocks αποτελούν ένα πλαίσιο, και ένα υπερ-πλαίσιο αποτελείται από 4-πλαίσια.

## Πιλοτικά Σύμβολα και TPS σήματα

Εκτός από τα δεδομένα που εκπέμπονται, στα blocks εισάγονται και κάποια επιπλέον σήματα με μια επιπλέον πληροφορία για το δέκτη για κάποιες παραμέτρους εκπομπής. Η πληροφορία με τις παραμέτρους αυτές είναι :

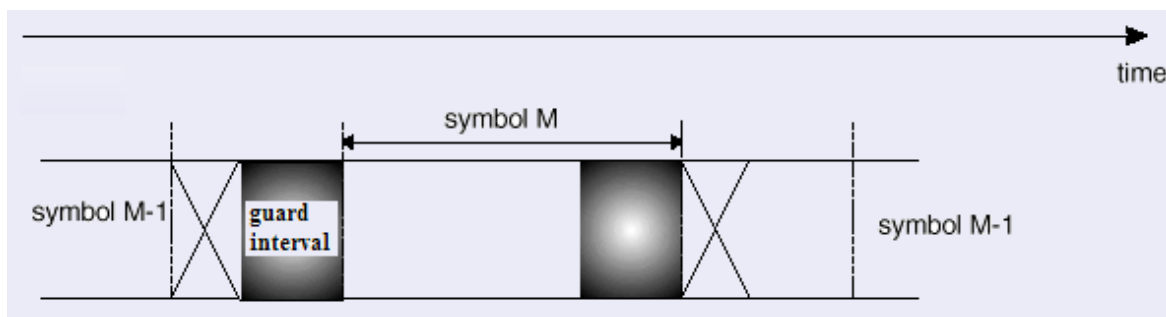
- ♣ Η διαμόρφωση και η τιμή του  $\alpha$  δηλαδή του παράγοντα διαμόρφωσης ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της ελάχιστης απόστασης ανάμεσα σε δύο σημεία του αστερισμού που φέρουν διαφορετικές τιμές bits υψηλής προτεραιότητας προς την ελάχιστη απόσταση ανάμεσα σε δύο οποιαδήποτε σημεία του αστερισμού
- ♣ Επιλογή ιεραρχικού ή μη ιεραρχικού τρόπου μετάδοσης
- ♣ Το διάστημα διαφύλαξης (guard interval)
- ♣ Οι εσωτερικοί ρυθμοί μετάδοσης
- ♣ Ο τρόπος μετάδοσης (2K ή 8K)
- ♣ Ο αριθμός του πλαισίου στο υπερ-πλαίσιο
- ♣ Η ταυτοποίηση κελιού

## Διαμορφωτής OFDM

Το DVB-T υποστηρίζει τρία διαφορετικά OFDM modules. Η ακολουθία των blocks διαμορφώνεται σύμφωνα με την OFDM τεχνική, χρησιμοποιώντας 2048, 4046, ή 8192 φορείς με 2k,4k,8k αντίστοιχα. Περισσότερες φέρουσες ισοδυναμούν με περισσότερη μεταδιδόμενη πληροφορία αλλά το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι δημιουργούν επισφαλείς συνθήκες διάδοσης κυρίως ως προς τη διατήρηση της ορθογωνιότητας στο δέκτη.(10)

## Εισαγωγή Guard Interval

Για να μειωθεί η πολυπλοκότητα του δέκτη, κάθε OFDM block επεκτείνεται αντιγράφοντας στην αρχή του, το τέλος του (κυκλικό πρόθεμα). Το μήκος αυτών των guard intervals μπορεί να είναι  $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$ ,  $1/32$  του αρχικού μήκους του block. Ουσιαστικά, το guard interval επιτρέπει τη λειτουργία της DTT σε μονοσυχνοτικό δίκτυο και την κάνει αρκετά ανεκτική σε ανακλάσεις. Όσο μεγαλύτερο είναι το διάστημα προστασίας τόσο ισχυρότερη γίνεται η συμπεριφορά του μεταδιδόμενου συμβόλου έναντι της διασυμβολικής παρεμβολής αλλά και της παρεμβολής μεταξύ των φερουσών λόγω αλλοίωσης της ορθογωνιότητας. Ταυτόχρονα, όμως, η αύξηση του διαστήματος προστασίας ισοδυναμεί με λιγότερη μεταδιδόμενη πληροφορία και άρα μικρότερους ρυθμούς (bit rate).(9)



---

## **Μετατροπές ψηφιακού σε αναλογικό (DAC)**

Είναι το τελικό στάδιο στο οποίο το ψηφιακό σήμα μετατρέπεται σε αναλογικό.

Επιπρόσθετα, το πρότυπο DVB-T δίνει την δυνατότητα της επιλογής τριών διαφορετικών διαμορφώσεων. Συγκεκριμένα, υπάρχουν οι διαμορφώσεις QPSK, 16 QAM, 64 QAM (όπως αναφέρθηκε και παραπάνω). Για την κάθε μια ισχύει :

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

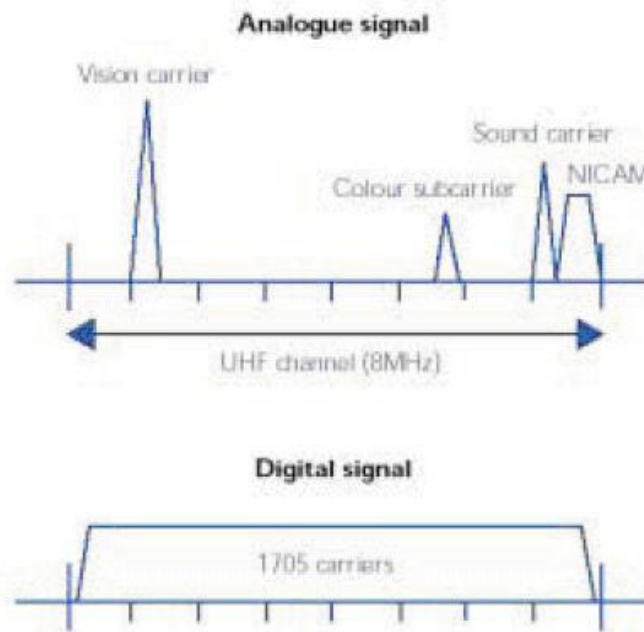
▲ 16 QAM: Σχετική ανεκτικότητα απέναντι στις παρεμβολές με ικανοποιητικές τιμές απόδοσης εύρους ζώνης. (οι ρυθμοί μετάδοσης που επιτυγχάνονται κυμαίνονται από 10Mbps – 21Mbps)

▲ 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)

Επιπρόσθετα, υπάρχει η δυνατότητα λειτουργίας σε κανάλια 6,7 ή 8 MHz εύρους ζώνης (με εικόνα στα 50 ή 60 Hz). Υποστηρίζει τρία 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.

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 στη COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) διαμόρφωση, βασικό πλεονέκτημα της οποίας είναι η υψηλή προστασία του σήματος από τις απώλειες της πολυδιαδρομικής διάδοσης. Με άλλα λόγια, μέχρι κάποιο σημείο, το σήμα δεν επηρεάζεται από τις συχνότερες “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 στη διακαναλική 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 το σχεδιαστή του συστήματος, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιήσει τεχνικές πολυεπίπεδων συστημάτων ώστε το μεγαλύτερο ποσοστό των χρηστών να λαμβάνει τουλάχιστον το ελάχιστο αποδεκτό σήμα. Με τον όρο πολυεπίπεδο σύστημα εννοείται, για παράδειγμα, ένα σύστημα που αποτελείται από δύο 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.(8)



Εικόνα : Φάσμα αναλογικού και ψηφιακού σήματος.

## Υπόβαθρο και εμπορικές προδιαγραφές του προτύπου DVB-T2

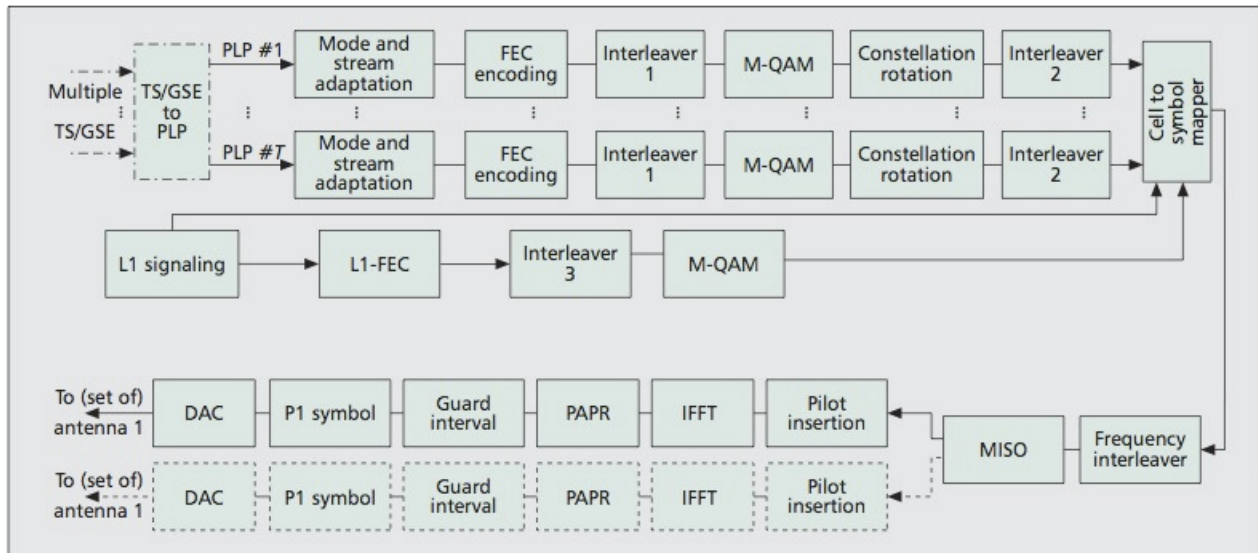
Το DVB-T είναι ο πλέον διαδεδομένος τρόπος διανομής ψηφιακής τηλεόρασης στην Ευρώπη και σε πολλά άλλα μέρη του κόσμου. Ωστόσο, η επιτυχία του αμφισβητήθηκε μετά την εισαγωγή του προτύπου συμπίεσης MPEG4 και του νέου προτύπου εκπομπής ψηφιακού βίντεο για δορυφορικές μεταδόσεις, DVB-Satellite – Second Generation (DVB-S2), τα οποία οδηγούν στην πρώτη υιοθέτηση της HDTV στα δορυφορικά και καλωδιακά δίκτυα. Έτσι, το 2006 η κοινότητα επίγειας εκπομπής τηλεόρασης είχε την ανάγκη για ένα βελτιωμένο σύστημα. Μολονότι η βελτίωση της ρυθμοαπόδοσης (throughput) και της αντοχής (ruggedness) ήταν οι αρχικοί σκοποί κατά την κατασκευή ενός συστήματος δεύτερης γενιάς, η εργασία ακολούθησε το σύνηθες μοτίβο της DVB, εμπλέκοντας όλα τα μέρη της αλυσίδας αξίας (πολυ)εκπομπής: εκπομποί (broadcasters), διαχειριστές δικτύου, προμηθευτές εξοπλισμού, προμηθευτές ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και κατασκευαστές δεκτών. Καταρχήν, σε χρόνο ρεκόρ έως το Μάρτιο του 2007, γράφτηκε ένα λεπτομερές σύνολο εμπορικών προδιαγραφών για το σύστημα. Συγκεκριμένα, το DVB-T2 θα έπρεπε να παρέχει:

- ▲ Επαναχρησιμοποίηση των ήδη υπάρχουσών εγκαταστάσεων οικιακών κεραιών λήψης και υποδομών αποστολής σήματος. Παρά τα σημαντικά οφέλη που θα μπορούσαν να αποφέρουν στις επίγειες μεταδόσεις οι τεχνικές πολλαπλής εισόδου – πολλαπλής εξόδου (multiple input – multiple output, MIMO), θα απαιτούσαν αντικατάσταση των κεραιών οροφής που χρησιμοποιούνταν μέχρι τότε και επομένως δεν επιλέχθηκαν.
- ▲ Ελάχιστη αύξηση της τάξεως του 30% στη ρυθμοαπόδοση σε σύγκριση με το DVB-T δουλεύοντας κάτω από τις ίδιες συνθήκες και ίδιους περιορισμούς.
- ▲ Βελτιωμένη επίδοση SFN (single-frequency-network) σε σύγκριση με το DVB-T.
- ▲ Ευρωστία (robustness) για εξειδικευμένες υπηρεσίες. Παραδείγματος χάριν, η προσφορά κάποιων υπηρεσιών για λήψη από την οροφή και άλλων υπηρεσιών για φορητή λήψη μέσα στο ίδιο κανάλι 8 Mhz.
- ▲ Ευελιξία στο εύρος ζώνης και στην κατανομή συχνοτήτων στις ζώνες UHF (ultra high



frequency) και VHF (very high frequency), αλλά με επιπλέον λειτουργίες για την υποστήριξη υψηλότερων ζωνών συχνοτήτων.

▲ Ένα μηχανισμό μείωσης του λόγου μέγιστης προς μέσης ισχύος (peak-to-average-power ratio) του μεταδιδόμενου σήματος με στόχο τη μείωση του κόστους μετάδοσης.(10)



Εικόνα 1: Δομικό διάγραμμα DVB-T2

## Επισκόπηση του προτύπου DVB-T2

Το πρότυπο DVB - T2 είναι το πιο προηγμένο ψηφιακό σύστημα, σε παγκόσμιο επίπεδο, επίγειας μετάδοσης (DTT) που προσφέρει υψηλή αποδοτικότητα, ευρωστία και ευελιξία. Εισάγει τις τελευταίες τεχνικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, ικανές να χρησιμοποιούν με μεγάλη απόδοση το διαθέσιμο επίγειο φάσμα συχνοτήτων (spectrum) για τη μετάδοση βίντεο, ήχου και υπηρεσίες δεδομένων μέσω κινητών και φορητών συσκευών.(6) Αυτές οι νέες τεχνικές κάνουν το DVB-T2 50% πιο αποδοτικό από οποιαδήποτε άλλο DTT (ψηφιακό επίγειας μετάδοσης) σύστημα στο κόσμο. Η προδιαγραφή του συστήματος DVB-T2, που εγκρίθηκε πρόσφατα από το DVB project και εστάλη στο Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (European Telecommunications Standard Institute, ETSI) για τυποποίηση, περιλαμβάνει τις ακόλουθες βασικές λειτουργίες:

▲ Την ίδια βασική τεχνική διαμόρφωσης με το DVB-T: ορθογώνια πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM) με διάστημα διαφύλαξης (guard interval, GI), η οποία προσφέρει ένα θεμελιωδώς ανθεκτικό σύστημα μετάδοσης για το επίγειο κανάλι.

▲ Επέκταση του εύρους των μεγεθών του γρήγορου μετασχηματισμού Fourier (fast Fourier transform, FFT) του OFDM για τη βελτίωση της επίδοσης SFN (single-frequency-network performance) και για την παροχή σημαντικά βελτιωμένης αποδοτικότητας εύρους ζώνης, σε συνδυασμό με ένα διευρυμένο αριθμό GIs (guard interval, GI: διάστημα διαφύλαξης). (3)

▲ Τους ίδιους μηχανισμούς πλαισίωσης βασικής ζώνης (baseband framing) και διόρθωσης σφαλμάτων FEC (forward error correction) που περιλαμβάνονται στο DVB-S2. Επιπλέον, με την προσθήκη του αστερισμού 256-QAM (quadrature amplitude modulation) γίνεται δυνατή η πλήρης εκμετάλλευση της αποδοτικότητας της τεχνικής διόρθωσης σφαλμάτων. Τέλος, εισάγεται η έννοια της περιστροφής αστερισμού (constellation rotation) που μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την επίδοση του συστήματος σε επίγεια κανάλια επιλογής συχνότητας (frequency selective terrestrial channels).(1)

▲ Μία μέθοδο μεταφοράς μεμονωμένων υπηρεσιών δεδομένων σε ξεχωριστά λογικά κανάλια, που είναι γνωστά ως PLPs (physical layer pipes), εντός του φυσικού επιπέδου. Η κωδικοποίηση διόρθωσης σφάλματος και το interleaving εφαρμόζονται ξεχωριστά σε κάθε PLP, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο την υλοποίηση της ευρωστίας για εξειδικευμένες υπηρεσίες.

▲ Ένα χρονικό διαπλοκέα (time interleaver) τουλάχιστον 70 ms για υπηρεσίες υψηλού ρυθμού δεδομένων, με στόχο την επίτευξη αυξημένης ανοσίας στις κρουστικές παρεμβολές (impulsive interference).

▲ Μία ιδιαίτερα ευέλικτη δομή πλαισίου, όπου τα δεδομένα μπορούν είτε να κατανεμηθούν ομοιόμορφα σε ένα ολόκληρο πλαίσιο για μέγιστο διαφορισμό χρόνου (time diversity) είτε να συγκεντρωθούν σε ριπές, επιτρέποντας τη χρήση τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας στο δέκτη. Η δομή πλαισίου περιλαμβάνει ένα αποδοτικό μηχανισμό σηματοδοσίας φυσικού επιπέδου που “επικοινωνεί” με όλες τις παραμέτρους του συστήματος μετάδοσης στο δέκτη. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται σηματοδοσία L1 (layer 1).

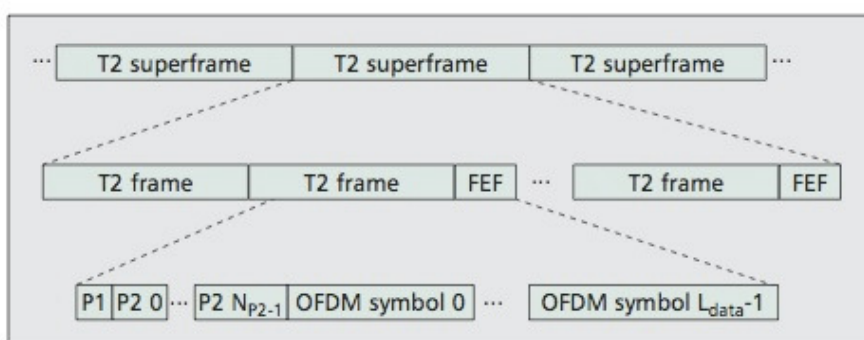
▲ Ένα διευρυμένο σύνολο σημάτων αναφοράς (scattered pilots, SPs και continual pilots, CPs) που επιτρέπουν την εκλογή της βέλτιστης επιλογής για κάθε δεδομένο κανάλι.

▲ Ένα προαιρετικό μηχανισμό για διαφορισμό μετάδοσης που βασίζεται στο σχήμα Alamouti και βελτιώνει τη λήψη σε περιοχές όπου επικαλύπτονται δύο πομποί.

▲ Δύο ξεχωριστούς μηχανισμούς μείωσης του λόγου μέγιστης προς μέσης ισχύος (PAPR) του μεταδιδόμενου σήματος.

▲ Σηματοδοσία που θα επιτρέπει σε μελλοντικά πρότυπα με συμβατότητα με παλαιότερες εκδόσεις να χρησιμοποιούν μέρη της δομής πλαισίου του T2: τεμαχισμός πεδίου χρόνου – συχνότητας (time-frequency slicing, TFS) που επιτρέπει σε έναν αριθμό RF (radio frequency) καναλιών να χρησιμοποιηθούν μαζί για βελτίωση της χωρητικότητας και του διαφορισμού συχνότητας και προαιρετικά τμήματα του πλαισίου, το περιεχόμενο των οποίων θα προσδιοριστεί στο μέλλον σαν τμήμα FEF (future extension frame).

Στην εικόνα 1 παρουσιάζεται το σχηματικό διάγραμμα ενός πομπού DVB-T2. Ένας πομπός DVB-T2 έχει την ικανότητα διαχείρισης πολλαπλών PLPs για να παράσχει πολλαπλές υπηρεσίες, ενώ ο δέκτης DVB-T2 χρειάζεται να αποκωδικοποιεί ένα μοναδικό data PLP μαζί με το συσχετιζόμενο με αυτό common PLP (εφόσον υπάρχει τέτοιο).(6)



Εικόνα 2: Δομή πλαισίου του DVB-T2

Το DVB-T2 επιτρέπει σε κάθε PLP να μεταφέρει τη δικιά του ανεξάρτητη ροή μεταφοράς (transport stream, TS) ή ροή GSE (generic stream encapsulation). Ωστόσο, το πρότυπο DVB-T2 προσδιορίζει μια πιθανή μέθοδο αποφυγής της επαναλαμβανόμενης μετάδοσης της ίδιας πληροφορίας κατά τη διαχείριση πολλαπλών TSs. Στην περίπτωση που πολλαπλές TSs μοιράζονται κοινά πακέτα, αυτά μπορούν να αφαιρεθούν και να απεικονιστούν στο common PLP. Ο δέκτης στη συνέχεια, θα συγχωνεύσει το περιεχόμενο του common PLP και των data PLP που επιλέγονται από το χρήστη για την ανακατασκευή της έγκυρης TS. (2)

Το μπλοκ *TS/GSE to PLP* της εικόνας 1 εφαρμόζει τη συνάρτηση διαχωρισμού και συγχώνευσης, η

---

οποία διασφαλίζει το συγχρονισμό ανάμεσα στα επιλεγόμενα από το χρήστη data PLPs και του common PLP και παρέχει πλήρη και από άκρου εις άκρον διαφάνεια της TS με βελτιωμένη αποδοτικότητα εύρους ζώνης. Στο ίδιο σχήμα, το επόμενο μπλοκ *mode and stream adaptation* απεικονίζει τη ροή εισόδου σε μπλοκ DVB-T2, με τη συμπίεση των κενών πακέτων MPEG2 (MPEG2 null-packets) και την εισαγωγή bits ελέγχου κυκλικού πλεονασμού (cyclic redundancy check, CRC).(5)

## Κωδικοποίηση προστασίας σφαλμάτων

Ακολουθώντας τη φιλοσοφία της οικογένειας των προτύπων DVB, η εμπρόσθια διόρθωση σφαλμάτων (forward error correction) του DVB-T2 περιλαμβάνει το BCH και ένα υποσύνολο των κωδικών ελέγχου ισοτιμίας χαμηλής πυκνότητας (low density parity check, LDPC) του DVB-S2 με νέους bit interleavers. Η επιθυμητή επίδοση για τα συστήματα DVB (σχεδόν χωρίς λάθη, quasi error free [QEF]) προσδιορίζεται ως “λιγότερο από μία περίπτωση αδιόρθωτου σφάλματος ανά πρόγραμμα ανά ώρα μετάδοσης”, η οποία για μία υπηρεσία 5 Mb/s μεταφράζεται σε πιθανότητα σφάλματος ψηφίων (bit error rate, BER) της τάξης του  $10^{-10}$ . Ο κώδικας LDPC δε μπορεί να εγυηθεί πάντα αυτή την επίδοση από μόνος του, οπότε ένας κώδικας BCH συνδυάζεται με τον LDPC για την αποφυγή των μη ανιχνευόμενων σφαλμάτων σε χαμηλά BER και παράλληλη διατήρηση υψηλού ρυθμού κωδικοποίησης.(4)

Προκειμένου να μειωθεί η πολυπλοκότητα κωδικοποίησης, οι πίνακες ελέγχου ισοτιμίας του LDPC είναι της μορφής  $\mathbf{H} = [\mathbf{AB}]$ , όπου ο  $\mathbf{A}$ , που εφαρμόζεται στο μέρος πληροφορίας, είναι ένας αραιός κυκλικός πίνακας και ο  $\mathbf{B}$ , που εφαρμόζεται στο μέρος ισοτιμίας, έχει κλιμακωτή μορφή, με μόνο την κύρια και την αμέσως από κάτω της διαγώνιό του να περιέχουν μονάδες. Η κυκλική φύση του  $\mathbf{A}$  μειώνει τις απαιτήσεις σε αποθηκευτικό χώρο.

Δύο μήκη μπλοκ είναι διαθέσιμα: 64800 bits ή 16200 bits. Η επίδοση των σύντομων κωδικών είναι μερικές δεκάδες dB χειρότερη από αυτή των κανονικών κωδικών, αλλά επιτρέπει εφαρμογές χαμηλού ρυθμού bit με μικρότερη καθυστέρηση.(1) Οι ρυθμοί κωδικοποίησης LDPC που είναι διαθέσιμοι στο DVB-T2 είναι μια επιλογή των ρυθμών κωδικοποίησης του κώδικα DVB-S2: 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, και 5/6 που χρησιμοποιούνται για PLP προστασία και 1/4, μόνο για τον κώδικα μικρού μήκους που χρησιμοποιείται για την προστασία της σηματοδοσίας L1.

Οι κώδικες LDPC του DVB-T2 είναι ακανόνιστοι (irregular) και το επίπεδο προστασίας σφαλμάτων του κάθε ψηφίου του κώδικα (code bit) δεν είναι ομοιόμορφο, αλλά εξαρτάται από το βάρος της στήλης του πίνακα ελέγχου ισοτιμίας. Επομένως, χρησιμοποιείται η διαμόρφωση BICM (bit interleaved coded modulation) για την απεικόνιση των ψηφίων του κώδικα σε σύμβολα του αστερισμού (constellation symbols), με την εν σειρά σύνδεση ενός διαπλοκέα (interleaver) και ενός αποπολυπλέκτη (demultiplexer) μεταξύ του κωδικοποιητή (coder) και του mapper, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.(7)

## Χρονοδρομολόγηση (Scheduling)

Προκειμένου να προσφέρει ευρωστία για εξειδικευμένες υπηρεσίες και να βελτιστοποιήσει τις απαιτήσεις σε μνήμη λόγω χρονικής παρεμβολής (time-interleaving), το σύστημα DVB-T2 μπορεί να περιγραφεί σαν ένα σύνολο πλήρως διαφανών PLPs, καθένα από τα οποία εκτελεί ανεξάρτητη προσαρμογή λειτουργίας (mode adaptation), κωδικοποίηση FEC, απεικόνιση ψηφίων σε σημεία/κύτταρα του αστερισμού (bitmapping onto constellation points/cells) και χρονική παρεμβολή (time interleaving). Ο χρονοδρομολογητής (scheduler) ή κατασκευαστής πλαισίων είναι το λειτουργικό στοιχείο που απεικονίζει τα κύτταρα δεδομένων της εξόδου των χρονικών διαπλοκέων (time interleavers) σε σύμβολα OFDM, προσθέτοντας επιπλέον πληροφορία σηματοδοσίας για την κατασκευή πλαισίων DVB-T2 και υπερπλαισίων (εικόνα 2).(5)

Στην εικόνα 3 παρουσιάζεται ένα απλοποιημένο παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο κελιά που προέρχονται από διαφορετικά PLPs (προσδιορίζονται με διαφορετικό χρώμα) μπορούν να

διαβαστούν από τις μνήμες χρονικής παρεμβολής (time interleaving, TI) και να απεικονιστούν σε σύμβολα OFDM (κάθετα κουτιά). Η στρατηγική απεικόνισης κελιών στα πεδία χρόνου και συχνοτήτων μπορεί να επιλεγεί με ένα πολύ ευέλικτο τρόπο. Ένας πιθανός στόχος μπορεί να είναι η επίτευξη του μέγιστου διαφορισμού χρόνου (time diversity), οπότε πραγματοποιείται διασπορά των κελιών από ένα PLP σε όλα τα σύμβολα OFDM ενός πλαισίου ή ακόμα και σε πολλαπλά πλαίσια. Για να επιτευχθεί αυτό, η μνήμη TI ενός δεδομένου PLP διαχωρίζεται σε επιμέρους τομές που απεικονίζονται σε σύμβολα OFDM εναλλάξ με τις επιμέρους τομές των άλλων PLPs. Αυτό συνεπάγεται ότι για τη λήψη της επιλεγμένης υπηρεσίας, ο δέκτης πρέπει να λειτουργεί συνεχώς για όλα τα σύμβολα OFDM σε ένα πλαίσιο. Ένας άλλος στόχος θα μπορούσε να είναι η μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας στο δέκτη (π.χ. για φορητές συσκευές με μπαταρίες) με τη λειτουργία του δέκτη μόνο για ένα μικρό ποσοστό του χρόνου. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί με τη διαχρονική συγκέντρωση των κελιών ενός PLP σε ένα περιορισμένο αριθμό γειτονικών συμβόλων OFDM, χωρίς διαχωρισμούς, όπως φαίνεται στην εικόνα 3. Σημειώνεται ότι η εικόνα παρουσιάζει δύο πλαίσια DVB-T2 όπου οι ρυθμοί δεδομένων των PLPs είναι σταθεροί. Εάν οι ρυθμοί δεδομένων μεταβάλλονταν, το μέγεθος των τομών θα άλλαζε αντιστοίχως από πλαίσιο σε πλαίσιο.(2)

Η δομή του πλαισίου DVB-T2 παρουσιάζεται στην εικόνα 2. Στο ανώτερο επίπεδο, η δομή του πλαισίου αποτελείται από υπερπλαίσια (superframes), με μέγιστη διάρκεια 64s όταν δε χρησιμοποιούνται FEFs. Αυτά διαιρούνται σε πλαίσια DVB-T2, τα οποία με τη σειρά τους διαιρούνται περαιτέρω σε σύμβολα OFDM. Το πλήθος των πλαισίων DVB-T2 ανά υπερπλαίσιο είναι τέτοιο ώστε κάθε data PLP να έχει ένα ακέραιο αριθμό πλαισίων παρεμβολής (interleaving frames) ανά υπερπλαίσιο. Με τη σειρά του, το υπερπλαίσιο μπορεί να έχει προαιρετικά τμήματα FEF, τα οποία είναι χρονικές περιόδους που δε χρησιμοποιούνται από το σήμα DVD-T2 και επιτρέπουν την ύπαρξη μελλοντικών υπηρεσιών που δεν έχουν προσδιοριστεί ακόμα. Το πλαίσιο αρχίζει με ένα σύμβολο αναφοράς που λέγεται P1 και ένα ή περισσότερα σύμβολα αναφοράς που λέγονται P2. Στη συνέχεια, έπεται ένας παραμετροποιήσιμος αριθμός συμβόλων δεδομένων. Η διάρκεια του πλαισίου είναι της τάξης των 100 έως 250 ms. Ένα data PLP δε χρειάζεται να διαπλεχθεί εξ ολοκλήρου εντός ενός πλαισίου DVB-T2, αλλά μπορεί να εξαπλωθεί σε περισσότερα πλαίσια.



Εικόνα 3: Διαφορετικά PLPs που κατέχουν διαφορετικές τομές διαμόρφωσης, ρυθμού κωδικοποίησης και time interleaving. Παρουσιάζονται δύο πλαίσια.

Ο βασικός σκοπός των συμβόλων P2 είναι η μεταφορά δεδομένων σηματοδότησης. Όπως έχει ειπωθεί ήδη, η ρυθμοαπόδοση των PLP είναι χρονικά μεταβαλλόμενη. Επομένως, η θέση στο χρόνο και στη συχνότητα των κυττάρων που συσχετίζονται με ένα PLP αλλάζει από πλαίσιο σε πλαίσιο. Εφόσον ο δέκτης πρέπει να είναι σε θέση να εξάγει τουλάχιστον το επιλεγόμενο από το χρήστη data PLP και το common PLP (όταν υπάρχει), απαιτείται να ανιχνεύει τη θέση των κελιών δεδομένων. Το σύστημα DVB-T2 μπορεί να επηρεαστεί από κρουστικό θόρυβο (impulsive noise) ακόμα και στην περίπτωση στατικής λήψης.(3) Ως εκ τούτου έχει δοθεί ιδιαίτερη σχεδιαστική φροντίδα στη σηματοδότηση θέσης των κελιών (την επονομαζόμενη δυναμική L1 πληροφορία) με τη συμπερίληψη διάφορων μηχανισμών μετάδοσης που βασίζονται στη διόρθωση και ανίχνευση σφαλμάτων και στην επανάληψη. Η σηματοδότηση L1 μεταδίδεται σε κάθε πλαίσιο εντός του

---

συμβόλου P2, αλλά η πληροφορία σχετικά με το επόμενο πλαίσιο μπορεί να ενσωματωθεί στα δεδομένα του PLP. Η επανάληψη αυτής της πληροφορίας είναι, επιπλέον, δυνατή μέσω της σηματοδότησης L1 στα τρέχοντα και στα επόμενα πλαίσια.(7)

## Τεχνικές Διαμόρφωσης

Το DVB-T2 χρησιμοποιεί coded OFDM (COFDM), μια τεχνική διαμόρφωσης που συναντάται επίσης στο DVB-T, στο DAB (digital audio broadcasting), στο ISDB-T (terrestrial integrated services digital broadcasting), στα πρότυπα (πολυ)εκπομπής DRM (digital radio mondiale) και σε άλλα ραδιοσυστήματα όπως είναι το IEEE 802.11a/n και το Long Term Evolution (LTE) του 3GPP. Συγκριτικά με το DVB-T όμως, προσφέρει μεγαλύτερο εύρος OFDM παραμέτρων, ενώ αλλαγές παρουσιάζει και η κωδικοποίηση. Υπάρχουν 1 K, 2 K, 4 K, 8 K, 16 K και 32 K μεγέθη FFT και κάθε υποφέρουσα, σε κάθε σύμβολο, διαμορφώνεται χρησιμοποιώντας αστερισμούς QAM. Όσον αφορά στο ωφέλιμο φορτίο δεδομένων διατίθεται ένα εύρος επιλογών: 4-, 16-, 64- και 256-QAM. Ο συνδυασμός του 256-QAM με τη νέα διόρθωση σφαλμάτων LDPC προσφέρει αυξημένη ρυθμοαπόδοση με επίδοση που είναι χονδρικά συγκρίσιμη με το 64-QAM στο DVB-T.(2)

### Περιστρεφόμενοι αστερισμοί (Rotated Constellations)

Οι κώδικες LDPC του DVB-T2 έχουν υψηλή επίδοση σε μη-επιλεκτικά κανάλια, με τη χρήση υψηλότερων ρυθμών κωδικοποίησης από το DVB-T. Με αυτόν τον τρόπο αποδίδουν υψηλότερη ρυθμοαπόδοση. Ωστόσο, τα επιλεκτικά στη συχνότητα κανάλια (frequency selective channels) απαιτούν επιπλέον πλεονασμό που προηγουμένως προέκυπτε από έναν κώδικα χαμηλότερου ρυθμού.

Το DVB-T2 περιλαμβάνει, επίσης, περιστρεφόμενους αστερισμούς, μια προαιρετική λειτουργία για τη βελτίωση της επίδοσης ακόμα και για frequency-selective κανάλια. Η περιστροφή του αστερισμού κατά μία κατάλληλη γωνία συνεπάγεται ότι κάθε σημείο του αστερισμού απεικονίζεται σε ένα διαφορετικό σημείο σε κάθε έναν από τους άξονες I και Q. Έτσι, ένας αστερισμός 16-QAM έχει 16 διαφορετικές τιμές για τα I και Q (εικόνα 4). Αυτό από μόνο του δε θα επέφερε καμία αλλαγή. Ωστόσο, οι τιμές των I και Q που παράγονται από τον περιστρεφόμενο αστερισμό διαχωρίζονται με την κυκλική καθυστέρηση του Q πριν τη χρονική και τη συχνοτική παρεμβολή (time and frequency interleaving). Οι αστερισμοί που μεταδίδονται στην πραγματικότητα μετά τη διαδικασία interleaving περιλαμβάνουν άσχετες μεταξύ τους I και Q τιμές, οι οποίες παράγονται από διαφορετικούς αρχικούς περιστρεφόμενους αστερισμούς (εικόνα 4). Όταν οι τιμές I και Q επανενωθούν στο δέκτη μετά τη διαδικασία deinterleaving, θα έχουν επηρεαστεί με διαφορετικό τρόπο από την επιλεκτική στη συχνότητα παραμόρφωση (frequency selective fading). Στην ακραία περίπτωση που κάποια χυθεί εντελώς, οι εναπομείναντες άξονες συνεχίζουν να εμπεριέχουν πληροφορία για όλα τα πιθανά σημεία. Επομένως, παρά τη μειωμένη αξιοπιστία δεν υπάρχει ολική διαγραφή. Ο περιστρεφόμενος αστερισμός εισάγει περαιτέρω διαφορισμό, καθώς το ίδιο bit απεικονίζεται συγχρόνως σε περισσότερες υποφέρουσες. Κάτι τέτοιο δε θα ήταν δυνατό με πιο πυκνούς αστερισμούς και χαμηλότερους ρυθμούς κωδικοποίησης, αφού κάθε bit δεδομένων θα απεικονιζόταν σε ένα μικρότερο αριθμό υποφερουσών. Προσομοιώσεις αποδεικνύουν ότι ο περιστρεφόμενος αστερισμός επιτυγχάνει, με πολύ μικρή αύξηση στο κόστος υλοποίησης, αύξηση έως 0.75 dB σε σύγκριση με το συμβατικό QAM σε ασύρματα κανάλια.(5)

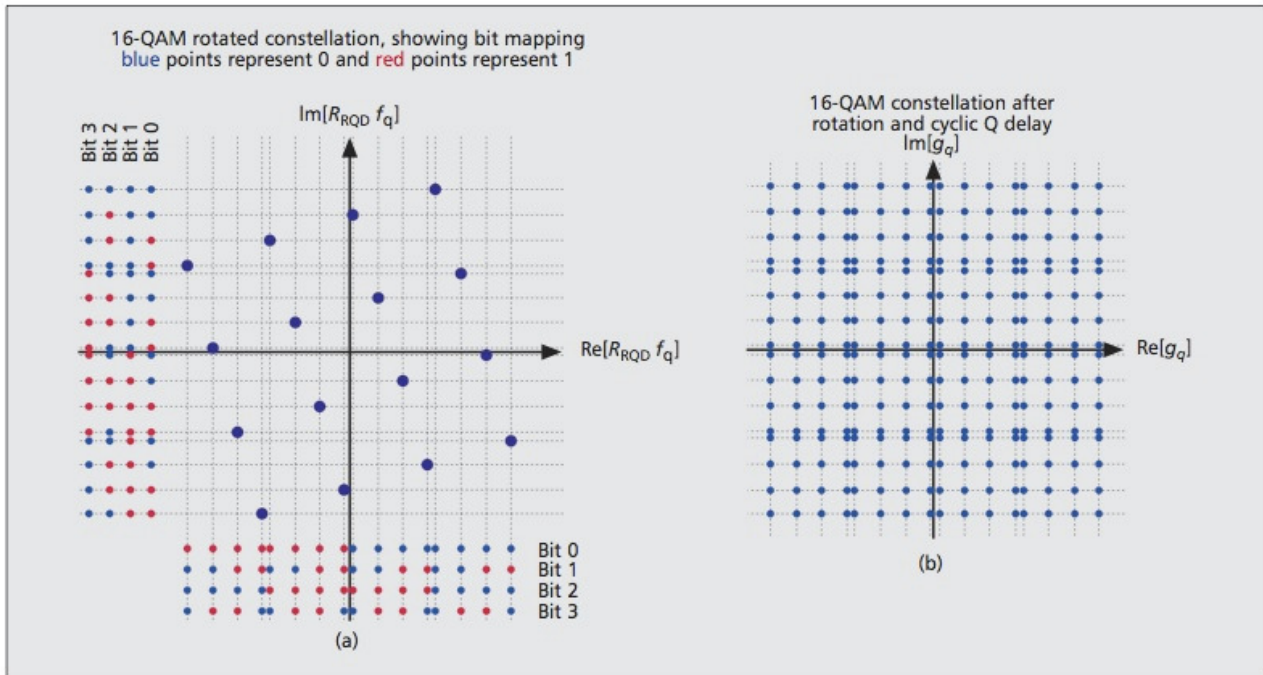
### Μείωση του PAPR

Το OFDM έχει το μειονέκτημα πως καθώς ο αριθμός των υποφερουσών αυξάνει, το μεταδιδόμενο σήμα προσομοιάζει όλο και περισσότερο σε Gaussian θόρυβο. Κατά συνέπεια, ο λόγος μέγιστης-προς-μέσης-ισχύος (PAPR- Peak to Average Power Ratio) είναι υψηλός, κάτι που αυξάνει τις απαιτήσεις από τον ενισχυτή ισχύος του πομπού. Το DVB-T2 περιλαμβάνει δύο προαιρετικές λειτουργίες που μπορούν να μειώσουν το PAPR.

Η ενεργή επέκταση αστερισμού (active constellation extension, ACE) τροποποιεί κάποιους από

τους μεταδιδόμενους αστερισμούς με την επιλεκτική μετακίνηση των πιο εξωτερικών τους σημείων σε θέσεις με μεγαλύτερο πλάτος. Το ACE μειώνει το PAPR χωρίς απώλεια ρυθμοαπόδοσης, αλλά δε χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με περιστρεφόμενο αστερισμό.

Η Reserved-carrier PAPR reduction θυσιάζει ένα μικρό ποσό ρυθμοαπόδοσης με τη δέσμευση κάποιων υποφερουσών που δε μεταφέρουν δεδομένα. Αντί αυτού χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά αυθαίρετων τιμών, που επιτρέπουν τη σύνθεση μια κυματομορφής ακύρωσης κορυφών (peak-canceling waveform).(3)



Εικόνα 4: Περιστρεφόμενος αστερισμός με κυκλική Q καθυστέρηση: α) περιστρεφόμενος 16-QAM αστερισμός πριν την κυκλική Q καθυστέρηση β) περιστρεφόμενος 16-QAM αστερισμός μετά την κυκλική Q καθυστέρηση, επιδεικνύοντας πως πλέον υπάρχουν  $16^2 = 256$  πιθανές καταστάσεις

## Συγχρονισμός και εκτίμηση καναλιού

Το πρότυπο DVB-T2 περιλαμβάνει λεπτομερείς σχεδιαστικές λύσεις για τη διευκόλυνση του συγχρονισμού του δέκτη στο χρόνο και στη συχνότητα. Η πιο προφανής είναι η χρήση πλαισίου που συντίθεται από ένα προοίμιο (preamble) και το ωφέλιμο φορτίο (payload), όπως απεικονίζεται στην εικόνα 2.

Το προοίμιο αποτελείται από ένα σύμβολο P1 και ένα πλήθος συμβόλων P2, που εξαρτάται από το επιλεγμένο μέγεθος του FFT. Για τα μεγέθη 32 K και 16 K υπάρχει ένα μόνο σύμβολο P2. Για τα μεγέθη 8 K, 4 K, 2 K και 1 K υπάρχουν αντιστοίχως 2, 4, 8 και 16 σύμβολα P2. Το ωφέλιμο φορτίο έπεται των συμβόλων P2, παρόλο που ορισμένα δεδομένα μπορεί να μεταφέρονται ήδη εντός των συμβόλων P2. Αποτελείται από σύμβολα OFDM, εκ των οποίων μπορούν να διαμορφωθούν οι υποφέρουσες με δεδομένα ή γνωστές τιμές πιλότων.

Η χρήση του προοιμίου βελτιώνει αισθητά κάποια βήματα συγχρονισμού και επιπλέον επιτρέπει πολύ ευρύτερη επιλογή παραμέτρων μετάδοσης, χωρίς την αύξηση του συνολικού χρόνου συγχρονισμού.(1)

### Σύμβολο P1

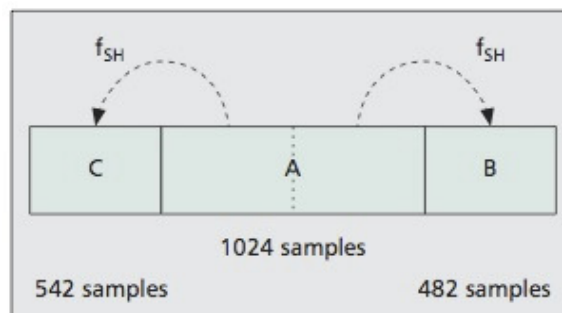
Το σύμβολο P1 αποτελείται από ένα σύμβολο OFDM με 1 K υποφέρουσες μαζί με μια ειδική δομή επανάληψης στο πεδίο του χρόνου, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 5. Το μέρος C είναι μια μετατοπισμένη στη συχνότητα εκδοχή των πρώτων 542 δειγμάτων του συμβόλου OFDM που

σχηματίζει το μέρος A. Το μέρος B είναι η μετατοπισμένη στη συχνότητα εκδοχή των τελευταίων 482 δειγμάτων του μέρους A. Η μετατόπιση στη συχνότητα είναι ίση με την απόσταση των υποφερουσών του συμβόλου OFDM. Εντός του συμβόλου OFDM, μόνο οι 384 από τις 1 K υποφέρουσες διαμορφώνονται με DBPSK (differentially BPSK) και χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά 7 bits πληροφορίας. Η σταθερή δομή P1 σε συνδυασμό με το περιορισμένο και υψηλά προστατευόμενο μέρος σηματοδοσίας καθιστούν δυνατή τη γρήγορη σάρωση των συχνοτήτων εκπομπής. Ο δέκτης είναι σε θέση να αναγνωρίσει την παρουσία μιας μετάδοσης DVB-T2 και να αποθηκεύσει τις βασικές παραμέτρους (π.χ. το μέγεθος FFT ή την παρουσία ενός πλαισίου FEF). Η συγκεκριμένη δομή C→A→B έχει σχεδιαστεί για τη βελτίωση της ευρωστίας της ανίχνευσης P1 ακόμα και στα πιο απαιτητικά κανάλια. Η ανίχνευση του συμβόλου P1 χρησιμοποιείται, επίσης, για την παραγωγή μιας αρχικής χρονικής και συχνοτικής αναφοράς.

## Σύμβολο P2

Ο βασικός ρόλος του συμβόλου P2 είναι η μεταφορά της σηματοδοσίας L1, η οποία μπορεί να είναι ιδιαίτερα μεγάλη εφόσον κάθε PLP έχει τις δικές του παραμέτρους μετάδοσης. Η σηματοδοσία L1 οργανώνεται σε δύο μέρη: το L1 presignaling part (όπου σηματοδοτείται για παράδειγμα το μήκος του πλαισίου) και το L1 post-signaling part. Η προστασία των bits του L1 presignaling βασίζεται σε έναν κώδικα BCH που ακολουθείται από έναν punctured LDPC κώδικα. Η επιλογή του κώδικα LDPC, ενδεχομένως, να φαντάζει περιττή δεδομένου του μικρού μήκους της κωδικής λέξης. Ωστόσο, δεν εμφανίζει απώλεια συγκρινόμενη με ένα συνελκτικό κώδικα (convolutional code) ιδίου ρυθμού και δεν απαιτεί αποκωδικοποιητή Viterbi, που θα χρησιμοποιούνταν αποκλειστικά για την αποκωδικοποίηση της σηματοδοσίας L1.

Ένας άλλος σημαντικός ρόλος του συμβόλου P2 είναι η έναρξη της διεργασίας εκτίμησης καναλιού, όπως περιγράφετε εκτενέστερα στην επόμενη ενότητα.(4)



Εικόνα 5: Μορφότυπο του συμβόλου P1

## Κατακερματισμένοι και συνεχείς πιλότοι

Ένας δέκτης DVB-T2 πρέπει να μπορεί να εκτιμήσει το κανάλι που αντιμετωπίζει η μεταδιδόμενη κυματομορφή ώστε να ανακτήσει ορθά τη μεταδιδόμενη πληροφορία. Για αυτό το σκοπό, το πρότυπο DVB-T2 ορίζει συμβατικές κατακερματισμένες πιλοτικές ακολουθίες που διαμορφώνουν ένα σύνολο ισαπεχουσών υποφερουσών. Η βασική καινοτομία που εισάγεται από το DVB-T2 είναι η υποστήριξη οχτώ διαφορετικών SP (scattered pilots) μοτίβων. Η κατευθυντήρια αρχή κατά το σχεδιασμό ήταν το ταίριασμα της απόστασης του πιλότου με το αντίστροφο του μήκους GI. Παρόλο που οι SP είναι κυρίως σχεδιασμένοι για να παρέχουν μια αξιόπιστη εκτίμηση καναλιού, οι συνεχείς πιλότοι που αντιστοιχούν στο μέγεθος FFT, αποτελούν ένα μέσο για λεπτομερή συγχρονισμό συχνότητας και διόρθωση σφαλμάτων κοινής φάσης (common phase error correction).

Οι πιλότοι στο σύμβολο P2 είναι σταθεροί και φτιαγμένοι ώστε να υποστηρίξουν το μέγιστο δυνατό μέγεθος GI, το οποίο θεωρείται ότι αποκτάται μέσω συμβατικών μεθόδων που βασίζονται στη συσχέτιση. Η θέση των υποφερουσών δεδομένων και πιλότου στο σύμβολο P2 είναι ανεξάρτητη από τις άλλες παραμέτρους μετάδοσης όπως η προέκταση του εύρους ζώνης και οι μέθοδοι PAPR.

Ορισμένα από τα SP μοτίβα απαιτούν το σχηματισμό μιας εκτίμησης καναλιού από αρκετά σύμβολα. Οι πιλότοι P2 βοηθούν στην έναρξη της παραπάνω διεργασίας. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα σε ένα πολύ αποδοτικό τρόπο λειτουργίας (mode) που προορίζεται κυρίως για σταθερή λήψη οροφής (fixed rooftop reception). Το πρότυπο DVB-T2 ορίζει μία επιλογή, με την οποία μεταδίδονται πολύ λίγοι πιλότοι στο ωφέλιμο φορτίο και η εκτίμηση καναλιού βασίζεται στην αρχική εκτίμηση που παρέχεται από το σύμβολο P2 και ακολουθείται από μια υποβοηθούμενη από δεδομένα εκτίμηση καναλιού στην οποία τα αποκωδικοποιημένα bits ανατροφοδοτούνται και χρησιμοποιούνται για την τελειοποίησή της. Αυτή η προσέγγιση είναι δυνατή μόνο εάν είναι διαθέσιμη μια ολοκληρωμένη αρχική εκτίμηση. Επομένως, η ύπαρξη του P2 είναι απαραίτητη.(6)

Οι διαφορετικές πιλοτικές αποστάσεις απαιτούν επιπλέον προσαρμογή των πιλοτικών παραγόντων ενίσχυσης (pilot boosting factors) (π.χ. πόση ισχύς κατανέμεται στους πιλότους σε σύγκριση με τα δεδομένα). Το πρότυπο DVB-T2 ορίζει τρεις παράγοντες ενίσχυσης για SP και τρεις για CP (continual pilots).

### Πιλοτικές ακολουθίες αναφοράς

Οι πιλοτικές τιμές εξαρτώνται από το δείκτη υποφερουσών, όπως ακριβώς και στο DVB-T. Ωστόσο, στο DVB-T2 όλοι οι πιλότοι (CP, SP και P2) σε κάθε σύμβολο OFDM πολλαπλασιάζονται με συν ή πλην ένα, σύμφωνα με μία ακολουθία ψευδο-θορύβου (PN) επιπέδου πλαισίου (frame-level pseudo noise sequence). Επομένως, εξαρτώνται και από το δείκτη του συμβόλου OFDM. Παρόλο που το DVB-SH υιοθετεί τεχνικές ελεύθερης περιστροφής (freewheeling techniques) για την καταμέτρηση συμβόλων, αυτή η υπογραφή στους πιλότους παρέχει μια εναλλακτική και πιο εύρωστη τεχνική συγχρονισμού πλαισίου που μπορεί να υποδείξει τη θέση του τρέχοντος OFDM μέσα στο πλαίσιο όταν χαθεί το προοίμιο, για παράδειγμα σε περίπτωση ισχυρού κρουστικού θορύβου. Επιπλέον, αλγόριθμοι συγχρονισμού μπορούν να εκμεταλλευτούν αυτή την ακολουθία επιπέδου πλαισίου για να εκτιμήσουν και να ανιχνεύσουν το συγχρονισμό ρολογιού, συμβόλου, συχνότητας και πλαισίου. Αυτό επιτυγχάνεται χωρίς καμία επιρροή στην ποιότητα της εκτίμησης καναλιού.(5)

FFT size GI size Pilot Pattern	LDPC code rate	16-QAM	64-QAM	256-QAM
16 K	3/5	18.07	27.11	36.14
1/128 GI	2/3	20.11	30.17	40.21
PP7	3/4	22.62	33.93	45.24
32 K	3/5	17.05	25.63	34.23
1/16 GI	2/3	18.97	28.52	38.09
PP8	3/4	21.34	32.08	42.85
32 K	3/5	18.07	27.02	36.14
1/128 GI	2/3	20.11	30.06	40.21
PP7	3/4	22.62	33.82	45.24

Πίνακας 1: Εφικτοί ρυθμοί δεδομένων (σε Mb/s) για μερικές παραμετροποιήσεις DVB-T2

### Τεχνικές πολλαπλών κεραιών

Το πρότυπο DVB-T επιτρέπει ταυτόχρονη εκπομπή του ίδιου σήματος και στην ίδια συχνότητα από πολλαπλούς πομπούς, με στόχο τη δημιουργία ενός SFN (single-frequency network). Επιβάλλοντας αυστηρούς περιορισμούς συγχρονισμού, ένα SFN επιτρέπει μια απλή διάταξη δικτύου, όπου οι δέκτες αντιλαμβάνονται ένα ισοδύναμο κανάλι, το οποίο προκύπτει από την υπέρθεση των καναλιών που σχετίζονται με τους πολλαπλούς πομπούς. Ωστόσο, όταν ένας δέκτης δεχτεί παραπλήσια επίπεδα ισχύος από δύο πομπούς, η απόκριση συχνότητας του καναλιού θα περιέχει “deep nulls” εξαιτίας της αναιρετικής παρεμβολής (destructive interference). Για SFN με σταθμούς εκπομπής εξοπλισμένους με απλές κεραιές, το νέο πρότυπο DVB-T2 παρέχει ένα αποδοτικό τρόπο



---

εκμετάλλευσης της παρουσίας πολλαπλών πομπών, χρησιμοποιώντας μια τροποποιημένη μορφή της κωδικοποίησης Alamouti. Με άλλα λόγια, προκύπτει ένα σύστημα MISO (multiple-input single-output). Σε αυτή τη σύνθεση, τα δεδομένα στους δύο πομπούς δεν είναι πανομοιότυπα (αλλά στενά συνδεδεμένα) ώστε να αποφευχθεί η αναιρετική παρεμβολή. Σαν αποτέλεσμα, βελτιώνεται η κάλυψη του SFN.(11)

Σε αυτή την περίπτωση (που περιγράφεται ως 2 x 1 MISO), οι πιλότοι οφείλουν να παρέχουν δύο ανεξάρτητες εκτιμήσεις καναλιού. Κατά συνέπεια, ο αριθμός τους πρέπει να διπλασιαστεί. Σε αυτό το σενάριο, το πρότυπο DVB-T2 χρησιμοποιεί την ίδια δομή πιλότων με την περίπτωση του απλού πομπού (SISO), αλλά μειώνει στο μισό το μέγεθος του GI. Οι πομποί που λειτουργούν ως κεραία 1 χρησιμοποιούν ακριβώς την ίδια δομή πιλότων του SISO, ενώ οι πομποί που λειτουργούν ως κεραία 2 αντιστρέφουν τους πιλότους, διαμορφώνοντας εναλλασσόμενες πιλοτικές υποφέρουσες.

## Επίδοση και σύγκριση τρόπων λειτουργίας

Το πρότυπο DVB-T2 παρέχει ένα ευρύ σύνολο παραμετροποιήσεων πομπού. Η επιλογή κάποιων από τις παραμέτρους υπαγορεύεται, επίσης, από τη διάταξη δικτύου. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η παραμετροποίηση της διάρκειας GI και του μοτίβου SP (συμβολίζεται ως PPx), η οποία σχετίζεται με τη μέγιστη ανεκτή διασπορά καθυστέρησης καναλιού, συμπεριλαμβανομένων πιθανών μεταδόσεων SFN. Για άλλες παραμέτρους, όπως ο ρυθμός κωδικοποίησης και το μέγεθος αστερισμού, η επιλογή καθοδηγείται από το επίπεδο θορύβου και τα στατιστικά του καναλιού. Ο πίνακας 1 δείχνει τη μέγιστη ρυθμοαπόδοση (σε bits ανά δευτερόλεπτο) που μπορεί να επιτευχθεί από το DVB-T2 για διάφορες παραμετροποιήσεις (μέγεθος OFDM, ρυθμός κωδικοποίησης, αστερισμός και πιλότοι). Προκειμένου να γίνει αντιληπτό κάτω από ποιες συνθήκες καναλιού μπορούν να επιτευχθούν αυτοί οι ρυθμοί με quasi-error-free λήψη, προσομοιώνονται δύο σχετικές περιπτώσεις και συγκρίνονται οι επιδόσεις του DVB-T και του DVB-T2. Η πρώτη περίπτωση είναι μια τυπική διάταξη SFN του προτύπου DVB-T (που εφαρμόζεται π.χ. στην Ιταλία) που περιλαμβάνει 8 K FFT, 1/4 GI, 64-QAM αστερισμό και 2/3 ρυθμό συνελκτικής κωδικοποίησης. Σε ένα fixed Rician κανάλι το DVB-T επιτυγχάνει ρυθμό δεδομένων 19.91 Mb/s, με σηματοθορυβικό λόγο (signal-to-noise ratio, SNR) 17.1 dB και quasi-error-free λήψη (ή ισοδύναμα BER=10<sup>-4</sup> στην έξοδο του συνελκτικού αποκωδικοποιητή). Για το ίδιο κανάλι, το DVB-T2 με προεκτεταμένο εύρος ζώνης και παραμέτρους 32 K FFT, 1/16 GI, PP8, 256 QAM και ρυθμό κωδικοποίησης LDPC 3/5 αποδίδει ρυθμό δεδομένων 34.23 Mb/s (με BER=10<sup>-4</sup> στην έξοδο του αποκωδικοποιητή LDPC), που είναι 72% υψηλότερος. Η δεύτερη περίπτωση είναι μια παραμετροποίηση του DVB-T για δίκτυο πολλαπλών συχνοτήτων (που εφαρμόζεται στο Ηνωμένο Βασίλειο), η οποία περιλαμβάνει 2K FFT, 1/32 GI, 64-QAM και 2/3 ρυθμό κωδικοποίησης και αποδίδει 24.13 Mb/s, με SNR 18.9 dB, σε fixed Rician κανάλι και σε συνθήκες quasi-error-free. Αντίστοιχα, μια παραμετροποίηση DVB-T2 με προεκτεταμένο εύρος ζώνης, 32 K FFT, 1/128 GI, PP7, 256 QAM και ρυθμό κωδικοποίησης LDPC 3/5 επιτυγχάνει ρυθμό δεδομένων 36.14 Mb/s, που είναι περίπου 50% υψηλότερος. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρούμε ότι το DVB-T2 επιτρέπει μεταδόσεις HDTV MPEG-4.(3)

## Σύγκριση των προτύπων DVB-T και DVB-T2

Το Μάρτιο του 2007 παρουσιάστηκε το πρότυπο μετάδοσης DVB-T που καθορίζει τη δομή των πακέτων, την κωδικοποίηση του καναλιού και τη διαμόρφωση της ψηφιακής επίγειας τηλεόρασης. Τον Ιούνιο του 2008, το DVB Project παρουσίασε την επόμενη γενιά του προτύπου, το πρότυπο DVB-T2. Ανάμεσα στα δύο αυτά πρότυπα υπάρχουν θεμελιώδεις τεχνολογικές διαφορές αλλά και ορισμένες ομοιότητες.

Το DVB-T2 σε σχέση με το DVB-T περιλαμβάνει νέα στρατηγική για τη διόρθωση λάθους, υψηλό τρόπο διαφοροποίησης προκειμένου να μειωθεί το overhead των σημάτων αναφοράς και συνυπολογισμό των προοιμίων για την ενίσχυση της ανίχνευσης σημάτων και συγχρονισμού.

---

Επίσης, για το DVB-T2 όταν το μέγεθος του FFT αυξάνεται, τότε μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη ευρωστία (robustness) ενάντια στον κρουστικό θόρυβο (impulsive noise) και το guard interval overhead για ένα συγκεκριμένο σύμβολο θα μειωθεί, ενώ επίσης υπάρχει η δυνατότητα να αυξηθεί ο αριθμός των υποφερουσών (subcarriers) ανά σύμβολο για τη μεταφορά των δεδομένων χρησιμοποιώντας ένα παρατεταμένο φορέα λειτουργίας για 8k, 16k και 32k FFT επιλογές μεγέθους.

Όσον αφορά στο εύρος ζώνης (bandwidth), το DVB-T2 έχει περισσότερες επιλογές σε σχέση με το DVB-T δεδομένου ότι περιλαμβάνει δύο επιπλέον επιλογές με τις προηγούμενες επιλογές για το DVB-T. Το νεότερο πρότυπο έχει 10 MHz εύρος ζώνης για επαγγελματική χρήση και 1.712 MHz εύρος ζώνης για τις κινητές υπηρεσίες ενώ το DVB-T έχει ως εύρος ζώνης 6MHz, 7MHz και 8MHz. Επίσης, η επιλογή για τον αριθμό των φερουσών αυξάνεται περισσότερο στο DVB-T2 καθώς έχει έξι επιλογές για FFT ενώ το DVB-T έχει μόλις δύο. Επιπρόσθετα, το DVB-T2 διαβιβάζει σύμβολα προοιμίου (preamble symbols) με δεδομένα σηματοδότησης στην αρχή του στρώματος του φυσικού επιπέδου προκειμένου να υποδειχθεί ο τύπος και οι βασικές παράμετροι μετάδοσης με ένα ισχυρό τρόπο. Αντίθετα, το DVB-T δεν έχει κανένα σύμβολο προοιμίου.

Το DVB-T2 εισάγει πλήρως διαφανή PLP, όπου κάθε PLP μπορεί να έχει δεδομένα με διαφορετικές δομές καθώς επίσης και ανεξάρτητες παραμέτρους. Επιπλέον, η υψηλότερη σειρά των αστερισμών (constellation) που είναι διαθέσιμα για το DVB-T2 είναι 256-QAM, ενώ η υψηλότερη για το DVB-T είναι μόλις 64-QAM. Χρησιμοποιώντας υψηλό αστερισμό θα αυξηθεί τόσο η ποιότητα όσο και η αποδοτικότητα.

Το νέο πρότυπο DVB-T2 έχει πιο ευέλικτες επιλογές για τα διάσπαρτα σύμβολα (scattered symbols) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιλογή FFT μεγέθους και του guard interval, ενώ το πρότυπο DVB-T έχει καθορισμένο στατικό πιλοτικό σχέδιο. Συνεπώς, επιλέγοντας ένα διάσπαρτο πιλοτικό σχέδιο/πρότυπο σε συνάρτηση με το μέγεθος του FFT και το guard interval fraction θα μειωθεί το κόστος για τη μεταφορά των πιλότων, ενώ το κόστος των συνεχών πιλότων είναι επίσης, μειωμένο στο DVB-T2.

Ένα σημαντικό ποσό βελτίωσης των επιδόσεων είναι δυνατόν να επιτευχθεί στο πρότυπο DVB-T2, δεδομένου ότι έχει τέσσερις interleavers -bit interleaver, cell interleaver, time interleaver, frequency interleaver. Ο στόχος των interleavers και συγκεκριμένα των time και frequency interleaver είναι η διάδοση των δεδομένων τόσο στο χρόνο όσο και στο πεδίο της συχνότητας κατά τέτοιο τρόπο ώστε η μεγάλη ακολουθία των δεδομένων να μην καταστραφεί από τον κρουστικό θόρυβο (impulsive noise) ή την εκλεκτική εξασθένιση της συχνότητας. Ο κρουστικός θόρυβος, χαρακτηρίζεται ως διαταραχή σε σύντομο χρονικό διάστημα, ενώ η εκλεκτική εξασθένιση της συχνότητας μπορεί να χαρακτηριστεί ως διαταραχή κατά τη διάρκεια μιας περιορισμένης χρονικής συχνότητας. Επιπλέον, το time interleaver προστατεύει το σήμα του DVB-T2 από την εκλεκτική εξασθένιση συναρτήσει του χρόνου.

Το DVB-T2 χρησιμοποιεί την LDPC κωδικοποίηση συνδυασμένη με τη BCH κωδικοποίηση και επομένως, το DVB-T2 προσφέρει καλύτερη προστασία σφαλμάτων σε σχέση με το DVB-T που χρησιμοποιεί συνελκτική και Reed-Solomon κωδικοποίηση. Επιπλέον, το PAPR είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας στα OFDM συστήματα, όμως το υψηλό PAPR μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα του ενισχυτή ισχύος. Ως εκ τούτου το DVB-T2 έχει δύο στρατηγικές-τεχνικές την ACR και TR με τις οποίες μπορεί να μειώσει την PAPR. Επίσης, έχει μία επιλογή FEF προκειμένου να είναι σε θέση να συμπεριλάβει μία μελλοντική πρόοδο στο πρότυπο. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι διαφορές μεταξύ των δύο προτύπων:

Subject	DVB-T	DVB-T2
PLP	Not present	Present
Bandwidth	6 MHz, 7 MHz, 8 MHz	1 MHz, 6 MHz, 7 MHz, 8 MHz, 10 MHz
Constellation mode	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM
Carriers	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Preambles (P1 & P2)	Not present	Present
Scattered Pilots overhead	8% of total	1%, 2%, 4%, 8% of total
Continual Pilots overhead	2.6% of total	0.35% of total
Constellation rotation	Not present	Present
Interleavers	Outer and inner interleavers	Bit, Cell, Time and Frequency interleavers
FEC encoding and code rate	Reed Solomon + Convolutional 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Guard Interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
PAPR reduction	Not present	ACR and TR techniques
FEF	Not present	Present

	DVB-T		DVB-T2	
	SD channels	HD channels	SD channels	HD channels
MPEG-2	8	1	10	2
H.264/MPEG-4 AVC	16	3	20	4

### Συνοπτική σύγκριση μεταξύ των δύο προτύπων, DVB-T και DVB-T2

Τέλος, όπως ο προκάτοχος του, έτσι και το DVB-T2 χρησιμοποιεί τη διαμόρφωση OFDM. Επίσης, κοινό με το DVB-T είναι το εύρος διαφορετικών καταστάσεων που υποστηρίζει και το καθιστούν πολύ ευέλικτο πρότυπο.

## Η μελλοντική αγορά

Το DVB-T είναι ένα δοκιμασμένο πρότυπο που έχει καθιερωθεί σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο για την επίγεια ψηφιακή τηλεόραση –DTT. Τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται γι' αυτή ανά τον κόσμο ποικίλλουν, με το DVB να εφαρμόζεται σε Ευρώπη, Αυστραλία, μέρη της Ασίας, Νότια Αμερική και Αφρική και τα χαρακτηριστικά του να διαφέρουν ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις και το σχεδιασμό του δικτύου.

Επιπλέον, το καθεστώς της ψηφιακής μετάβασης ποικίλλει σε ολόκληρη την Ευρώπη. Ορισμένες χώρες έχουν ολοκληρώσει τη διαδικασία, ενώ άλλες δεν έχουν ξεκινήσει ακόμη τις υπηρεσίες DTT. Και στις δύο περιπτώσεις, η έναρξη του DVB-T2 είναι εφικτή. Ωστόσο, μια τέτοια μετάβαση είναι πολύ πιο δύσκολη σε χώρες που είναι σήμερα στο στάδιο της ολοκλήρωσης της ανάπτυξης της επίγεια πλατφόρμας ψηφιακής τηλεόρασης.

Σε χώρες όπου οι υπηρεσίες DVB-T έχουν καθιερωθεί, οι ρυθμιστικές αρχές είναι πολύ πρόθυμες να επιτύχουν τον πλήρη Τερματισμό Αναλογικών Τηλεοπτικών Μεταδόσεων – Full Analogue Switch-Off (ASO) και στην πορεία να απελευθερώσουν πολύτιμο UHF και VHF φάσμα για άλλους σκοπούς. Μία επιλογή στο ASO θα είναι η εισαγωγή νέων υπηρεσιών που χρησιμοποιούν τεχνολογία DVB-T2. Αυτό θα μπορούσε να επιτρέψει, για παράδειγμα, την ανάπτυξη νέων πολλαπλών πολυκαναλικών υπηρεσιών HDTV σε εθνικό επίπεδο, ή ενδεχομένως καινοτόμες

---

υπηρεσίες εκπομπής δεδομένων. Όπως και το DVB-T, το νέο πρότυπο δε στοχεύει μόνο κεραίες roof top και set top, αλλά επιπλέον υπολογιστές, φορητούς υπολογιστές, δέκτες αυτοκινήτων, και μία ολόκληρη σειρά από άλλες καινοτόμες συσκευές δεκτών.

Σε χώρες όπου οι υπηρεσίες DVB-T χρησιμοποιούνται ήδη, η μετάβαση από το DVB-T στο DVB-T2 πρέπει να γίνει με προσοχή. Οι υπηρεσίες DVB-T και DVB-T2 είναι πιθανόν να συνυπάρξουν για αρκετό καιρό ακόμα –και είναι φανερό από την εμπειρία στην Αυστραλία (DVB-T, MPEG-2 video coding) και στη Γαλλία (DVB-T, MPEG-4 video coding) ότι οι επίγειες υπηρεσίες HDTV είναι απολύτως βιώσιμες και χωρίς τη χρήση DVB-T2. Έχοντας αυτό υπόψη, οι τιμές του δέκτη DVB-T2 έχουν ήδη παρουσιάσει σημαντική πτώση την πρώτη χρονιά και αναμένεται να πέσουν σε επίπεδα λίγο μεγαλύτερα από εκείνα των συσκευών DVB-T. Αυτό, επίσης, καθιστά το DVB-T2 μία έγκυρη / βάσιμη επιλογή για το λανσάρισμα /προώθηση των υπηρεσιών DTT σε χώρες όπου δεν υπήρχαν προηγούμενες υπηρεσίες DVB-T.

Οι αγορές που έχουν ολοκληρώσει την κατάργηση της αναλογικής μετάδοσης βρίσκονται σε ισχυρή θέση για την έναρξη του DVB-T2. Οι συχνότητες είναι πιθανό να είναι διαθέσιμες για την έναρξη νέων υπηρεσιών και οι θεατές θα πρέπει να είναι αρκετά εξοικειωμένοι με τις υφιστάμενες υπηρεσίες DTT για να είναι δεκτικοί σε νέες υπηρεσίες στην πλατφόρμα DTT.

Σε αυτές τις χώρες, αναμένεται να υπάρξει ένα μεγάλο χρονικό διάστημα ταυτόχρονης μετάδοσης DVB-T και DVB-T2 υπηρεσιών. Είναι πιθανό ότι οι υπηρεσίες που χρησιμοποιούν DVB-T2 θα θεωρούνται ως μία βελτίωση και εξέλιξη της υπάρχουσας πλατφόρμας DVB-T και όχι ως αντικατάστασης.

Από την άλλη, οι αγορές που δεν έχουν ξεκινήσει ακόμη τις υπηρεσίες DTT θα μπορούσαν να επιλέξουν να ξεκινήσουν τις DTT πλατφόρμες άμεσα με τις DVB-T2 προδιαγραφές και να παρακάμψουν έτσι τη χρήση του προτύπου DVB-T. Αυτό θα εξαλείψει την ανάγκη για περαιτέρω μεταβατική περίοδο, μεταξύ των DVB-T2 και DVB-T, ενώ ταυτόχρονα αποφέρει οφέλη από το διαθέσιμο κέρδος χωρητικότητας του DVB-T2. Το σενάριο με την ταυτόχρονη μετάδοση του DVB-T2 και των αναλογικών υπηρεσιών θα μπορούσε να υλοποιηθεί.

Στην Ευρώπη, ωστόσο, ένα τέτοιο σενάριο είναι απίθανο. Οι εθνικές διοικήσεις βρίσκονται σήμερα κάτω από την πίεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την ολοκλήρωση της ψηφιακής τους μετάβασης έως το 2012, προθεσμία που δε θα μπορέσουν να τηρήσουν εάν επιλέξουν να υιοθετήσουν την προδιαγραφή DVB-T2. Παρόλο που οι δέκτες DVB-T2 ήταν αρχικά διαθέσιμοι στην αγορά από τις αρχές του 2010, είναι πιθανό ότι το κόστος τους θα είναι υψηλό κάνοντας την ευρεία διάδοσή τους δύσκολο να επιτευχθεί. Μέχρι τη στιγμή που το κόστος των δεκτών πέσει ως αποτέλεσμα της αναμενόμενης αυξημένης ζήτησης, η προθεσμία της Επιτροπής για την ψηφιακή μετάβαση θα έχει περάσει.

Η μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή υπηρεσία χρησιμοποιώντας το πρότυπο DVB-T2 και παρακάμπτοντας το DVB-T μπορεί να είναι δυνατή σε χώρες εκτός της Ευρώπης, όπου θα είναι διαθέσιμα αρκετά χρόνια για την ολοκλήρωση της ψηφιακής μετάβασης.

Η πρώτη χώρα που ανέπτυξε το DVB-T2 είναι η Αγγλία, όπου το ASO είναι σε προχωρημένο στάδιο και οι DVB-T2 υπηρεσίες λανσαρίστηκαν το Μάρτιο του 2010. Ένα πλήθος DVB-T2 set top boxes και ενσωματωμένων δεκτών τηλεόρασης από σχεδόν όλες τις καταναλωτικές μάρκες ηλεκτρονικών είναι τώρα διαθέσιμες στην Αγγλία και οι τιμές των δεκτών έχουν ήδη πέσει στις 50 λίρες (70 δολάρια). Κοιτώντας τις τιμές των ενσωματωμένων σετ τηλεοράσεων με υπηρεσίες DVB-T και DVB-T2, η διαφορά στην τιμή είναι μόνο γύρω στις 20 λίρες (30 δολάρια).

Η παρουσίαση του νέου προτύπου DVB-T2 δημιούργησε πολλά ερωτήματα καθώς πολλές χώρες πλησιάζουν στο analog Switch Off (ASO) όπου όλες οι αναλογικές επίγειες τηλεοπτικές μεταδόσεις θα πάψουν και θα μετατραπούν σε ψηφιακές. Στη χώρα μας η μετάδοση του ψηφιακού επίγειου πακέτου ξεκίνησε το 2006 από την ΕΡΤ με 4 προγράμματα σε ένα κανάλι χρησιμοποιώντας το πρότυπο DVB-T. Το ASO είναι προγραμματισμένο για τη χώρα μας το 2012 και η έλευση του DVB-T2 προβληματίζει άμεσα εφόσον ούτε καν το DVB-T δεν έχουμε ζήσει.

Το 2010 και αρχές του 2011 είδαμε, επίσης, την προώθηση των υπηρεσιών DVB-T2 στην Ιταλία, Σουηδία και Φιλανδία, και σε όλες αναμένεται να γίνει σε εθνικό επίπεδο.

---

## **DVB-T2 business issues**

Ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι προδιαγραφές του DVB-T2 αποφέρουν αναμφισβήτητη οφέλη σε σύγκριση με τα υφιστάμενα επίγεια τηλεοπτικά πρότυπα, η έναρξη της εμπορικής εκμετάλλευσης των υπηρεσιών θα απαιτήσει μια καλά μελετημένη στρατηγική από τις επιχειρήσεις που συγκεντρώνει τις ανάγκες της βιομηχανίας πλήρους αναμετάδοσης. Για μια επιτυχή ανάπτυξη, οι φορείς παροχής υπηρεσιών θα πρέπει να εξετάσουν τις ανάγκες της αγοράς, και συγκεκριμένα το μέγεθος της αγοράς και το είδος των υπηρεσιών στα οποία τα διάφορα τμήματα αγοράς θα ήθελαν να έχουν πρόσβαση.

Προκειμένου να καταστεί δυνατή η έναρξη του DVB-T2, οι φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου εκπομπής θα πρέπει να αναπτύξουν ένα δίκτυο μετάδοσης DVB-T2. Ωστόσο, το κόστος της ανάπτυξης αυτού του δικτύου μειώνεται σημαντικά εφόσον είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν οι υφιστάμενες υποδομές μετάδοσης συμπεριλαμβανομένων των τοποθεσιών (κέντρων) εκπομπής, των πομπών, των ιστών και των κεραιών. Αντίστοιχα, σε ένα δίκτυο πολλαπλών συχνοτήτων, ο υφιστάμενος εξοπλισμός μετάδοσης, όπως τα δίκτυα διανομής, ο δικτυακός τερματικός εξοπλισμός, τα φίλτρα και κατά πάσα πιθανότητα τα combiner systems θα φανούν χρήσιμα. Απαραίτητη θα είναι μόνο η απόκτηση ενός διαμορφωτή DVB-T2 για την αντικατάσταση της μονάδας DVB-T. Στα gap-filler sites ο re-transmitter θα πρέπει να προσαρμοστεί για DVB-T2.

Επειδή το DVB-T2 στοχεύει σε σταθερές κεραιές οροφής και φορητές κεραιές, όπως και το DVB-T στις περισσότερες χώρες, είναι απίθανο να χρειαστούν νέα κέντρα εκπομπής. Δεδομένου ότι οι σχεδιαστικοί παράμετροι δε χρειάζεται να αλλάξουν μεταξύ DVB-T και DVB-T2, μπορεί να υποτεθεί ότι οι περιοχές κάλυψης θα παραμείνουν οι ίδιες εκτός εάν ο ραδιοτηλεοπτικός οργανισμός επιθυμεί αλλαγή.

Οι δαπάνες θα αυξηθούν εάν ο φορέας εκμετάλλευσης του δικτύου εκπομπής κατασκευάσει ένα νέο δίκτυο για το DVB-T2. Σε αυτή την περίπτωση, θα πρέπει να προσδιοριστούν η περιοχή κάλυψης και η στρατηγική ανάπτυξης και να αποκτηθεί νέος εξοπλισμός. Ανάλογα με το μέγεθος του δικτύου και τις λεπτομέρειες κατασκευής αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι αρκετά χρονοβόρα.

Όσον αφορά στους παρόχους περιεχομένου, η υλοποίηση του προτύπου DVB-T2 παρέχει τη δυνατότητα προσφοράς των υφιστάμενων υπηρεσιών χρησιμοποιώντας μικρότερη χωρητικότητα συχνότητας (frequency capacity) ή την προσφορά περισσότερων υπηρεσιών, όπως νέες υπηρεσίες τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας, χρησιμοποιώντας την υφιστάμενη χωρητικότητα συχνότητας. Στην πρώτη περίπτωση θα υπάρξει μείωση του κόστους των μεταδόσεων ενώ στη δεύτερη το κόστος δεν αναμένεται να διαφοροποιηθεί σημαντικά.

Παρόμοια με το πρότυπο DVB-T, το DVB-T2 παρέχει στους φορείς εκμετάλλευσης σημαντική ευελιξία ώστε να λανσάρουν νέες υπηρεσίες ψηφιακής τηλεόρασης για την επίγεια πλατφόρμα. Οι νέες υπηρεσίες που θα μπορούσαν να προσφερθούν στην πλατφόρμα της DTT θα βασίζονται στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις της αγοράς και θα μπορούσαν, για παράδειγμα, να περιλαμβάνουν HDTV, SDTV, 3D TV, video-on-demand, κλπ.

Λόγω της βελτίωσης της χωρητικότητας σε σύγκριση με το πρότυπο DVB-T, οι φορείς μπορούν να εξετάσουν την παροχή είτε μιας πιο πρότυπης ανάλυσης (standard-definition) υπηρεσιών ή να προωθήσουν υπηρεσίες απαιτητικές σε bit-rate, όπως υπηρεσίες υψηλής ευκρίνειας. Για παράδειγμα, αν υποτεθεί ότι η χωρητικότητα περίπου 40 Mbit/s είναι δυνατή σε ένα δεδομένο DVB-T2 multiplex, θα ήταν δυνατό να παρέχονται μεταξύ 4-6 υπηρεσίες υψηλής ευκρίνειας ή μεταξύ 15-20 υπηρεσίες τυπικής ευκρίνειας. Σε κάθε περίπτωση, θα μειωθεί το κόστος μετάδοσης για κάθε υπηρεσία.

Το DVB-T2 έχει σχεδιαστεί για την υπάρχουσα σταθερή λήψη οροφής (roof top) ωστόσο η λήψη του από φορητές κεραιές μπορεί να είναι δυνατή σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις. Παρόλα αυτά, το εν λόγω πρότυπο δεν έχει σχεδιαστεί συγκεκριμένα για τη διάταξη υπηρεσιών mobile tv.

## **Ζήτηση για το πρότυπο DVB-T2**

Η αύξηση της διαθέσιμης χωρητικότητας με το DVB-T2 παρέχει στη DTT την ικανότητα να

---

εξελίξει τις υπηρεσίες που προσφέρει και να διατηρήσει την ανταγωνιστικότητά της με άλλες υποδομές παροχής τηλεόρασης.

Η χρήση του προτύπου DVB-T2 θα προσφέρει σε πολλές χώρες την ικανότητα για προώθηση νέων υπηρεσιών της DTT. Στο στάδιο αυτό, οι χώρες που ανακοίνωσαν τα σχέδιά τους για υιοθέτηση του προτύπου DVB-T2 θα χρησιμοποιήσουν την ικανότητα αυτή για βελτιώσεις ώστε να εισάγουν τις HDTV υπηρεσίες στη DTT, ενώ και άλλες χώρες έχουν δείξει παρόμοια πρόθεση. Η ευκαιρία να παρέχεται μια πλήρης κλίμακα (full-scale) της πλατφόρμας HD / DTT, με ένα σημαντικό αριθμό HD υπηρεσιών, μπορεί να επιτευχθεί καλύτερα με τη χρήση του προτύπου DVB-T2. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι ορισμένες χώρες, όπως η Γαλλία και η Ιταλία, έχουν εξασφαλίσει επαρκή χωρητικότητα ραδιοφάσματος για την έναρξη της HD υπηρεσίας χρησιμοποιώντας το πρότυπο DVB-T σε συνδυασμό με τη MPEG-4 AVC τεχνολογία συμπίεσης.

Ενώ η ζήτηση για νέες υπηρεσίες σχετικά με την επίγεια πλατφόρμα αναμένεται να είναι υψηλότερη στις αγορές εκείνες όπου μεγάλος αριθμός θεατών επιλέγει την επίγεια τηλεοπτική πλατφόρμα για την κύρια τηλεόραση τους, χώρες όπου λιγότεροι τηλεθεατές επιλέγουν την επίγεια πλατφόρμα τηλεόρασης μπορούν κι αυτοί να επωφεληθούν από μια ισχυρή πλατφόρμα DTT.

Ανάλογα με το επιχειρηματικό μοντέλο που υιοθετείται, μια ελκυστική υπηρεσία free-to-air ή μια συνδρομητική DTT μπορούν να γίνουν διαθέσιμες.

### ***Free-to-air services***

Η είσοδος στην αγορά των free-to-air υπηρεσιών συνέβαλε στη διεύρυνση της DTT πλατφόρμας. Οι τηλεθεατές είναι πρόθυμοι να αγοράσουν το νέο εξοπλισμό για την πρόσβαση στις νέες υπηρεσίες, ιδίως σε χώρες όπου η προσφορά free-to-air ψηφιακών υπηρεσιών είναι σημαντικά υψηλότερη σε σύγκριση με την προσφορά της αναλογικής πλατφόρμας. Αναμένεται ότι οποιαδήποτε νέα προσφορά δωρεάν και ελκυστικών υπηρεσιών σε τηλεθεατές θα συμβάλλει στην περαιτέρω διεύρυνση της DTT.

Σε χώρες όπου ένας υψηλός αριθμός free-to-air υπηρεσιών είναι ήδη διαθέσιμος, μπορεί να μη γίνει εφικτό για την αγορά, να στηρίξει περαιτέρω τις νέες υπηρεσίες μέσω της διαφήμισης. Αντίθετα, μπορεί να είναι πιο εφικτή η μετάβαση των υφιστάμενων υπηρεσιών από την πρότυπη ευκρίνεια (standard definition) στην υψηλή ευκρίνεια (high-definition).

Καθώς οι HD υπηρεσίες γίνονται όλο και περισσότερο ο «κανόνας» της τηλεοπτικής εικόνας, ίσως, να μη γίνεται πλέον αποδεκτό από τους τηλεθεατές η πρότυπη ευκρίνεια (standard-definition) ποιότητας σε μεγάλες, επίπεδες οθόνες. Ωστόσο, η προσφορά free-to-air υπηρεσιών πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να ενθαρρυνθούν οι τηλεθεατές να επενδύσουν σε νέο εξοπλισμό συσκευών τηλεόρασης.

### ***Pay-DTT services***

Η χρήση των προδιαγραφών του DVB-T2 μπορεί να παρέχει pay-DTT χειριστές με δυνατότητα να προσφέρουν νέες υπηρεσίες στους συνδρομητές τους. Για να ανταγωνιστούν αποτελεσματικά τις άλλες πλατφόρμες συνδρομητικής τηλεόρασης, η πλατφόρμα DTT θα πρέπει να έχει επαρκή ικανότητα παροχής νέων υπηρεσιών, είτε προσφέροντας πιο θεματικά κανάλια ή τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας.

Οι Pay-DTT υπηρεσίες έχει αποδειχθεί ότι ήταν ιδιαίτερα επιτυχείς σε μικρές αγορές, όπου οι τηλεθεατές είχαν πρόσβαση στις τηλεοπτικές υπηρεσίες τους από μια ποικιλία με διαφορετικές πλατφόρμες διανομής τηλεόρασης. Η εισαγωγή των συνδρομητικών DTT υπηρεσιών υπήρξε ένα αποτελεσματικό μέσο για τη μεγαλύτερη διεύρυνση της DTT, αυξάνοντας παράλληλα την ανταγωνιστικότητά της στο χώρο της συνδρομητικής τηλεόρασης. Στις Κάτω Χώρες, όπου υπήρχε μια σημαντική εξάρτηση από την πλατφόρμα καλωδιακής τηλεόρασης, η πλατφόρμα της συνδρομητικής επίγεια ψηφιακής τηλεόρασης αποδείχθηκε, τελικά, επιτυχής όσον αφορά στη μεγαλύτερη διεύρυνση της επίγεια πλατφόρμας εξαιτίας των ανταγωνιστικών τιμών της συνδρομής της.

Η εισαγωγή στην αγορά υπηρεσιών που χρησιμοποιούν το πρότυπο DVB-T2 θα επιτρέψει στους χειριστές συνδρομητικών DTT να αυξήσουν σημαντικά την ικανότητά τους να προσφέρουν νέες

---

υπηρεσίες, διατηρώντας ταυτόχρονα επαρκή ευελιξία για περαιτέρω νέες υπηρεσίες. Σε γενικές γραμμές, η μείωση των εξόδων μετάδοσης είναι πιθανό να δημιουργήσει επιπλέον επιχειρηματικές ευκαιρίες για τη συνδρομητική DTT. Σε ορισμένες χώρες, μπορεί να είναι περισσότερο εφικτό να προσφέρουν νέες υπηρεσίες σε μια πλατφόρμα συνδρομητικής επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με χρήση του DVB-T2 προτύπου.

### **Πιθανή μετάβαση από το DVB-T προς DVB-T2;**

Η ανάπτυξη των προδιαγραφών του DVB-T2 προέκυψε σε μεγάλο βαθμό ως αποτέλεσμα των αναγκών της βιομηχανίας μετάδοσης να λανσάρει νέες υπηρεσίες πάνω στην πλατφόρμα DTT, που αντιμετώπιζε ακόμα τον περιορισμό της περιορισμένης χωρητικότητας συχνότητας. Για πολλές χώρες, το DVB-T2 προσφέρει μια μοναδική ευκαιρία να ξεκινήσουν υπηρεσίες με υψηλές απαιτήσεις bit-rate, δηλαδή HDTV, στην πλατφόρμα DTT.

Ωστόσο, σε κάποιες περιπτώσεις, η προδιαγραφή DVB-T2 έχει αντιμετωπιστεί ως δυνητική αντικατάσταση του υφιστάμενου προτύπου DVB-T. Αυτό θα σήμαινε ότι οι υφιστάμενες υπηρεσίες που παρέχονται σήμερα από το DVB-T πρότυπο θα αντικατασταθούν από τις ίδιες υπηρεσίες, αλλά χρησιμοποιώντας το DVB-T2 πρότυπο. Ωστόσο, μια τέτοια μετατροπή θα απαιτούσε μια παρόμοια, αν όχι μεγαλύτερη, προσπάθεια όπως η μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση.

Στην επίγεια τηλεοπτική πλατφόρμα συχνά χρησιμοποιούνται πάνω από μια συσκευές τηλεόρασης, είτε στα υπνοδωμάτια είτε στα σπίτια για διακοπές, και έτσι θα είναι δύσκολο να πεισθούν οι τηλεθεατές ότι θα πρέπει να μετατρέψουν το σύνολο των τηλεοπτικών τους συσκευών ώστε να είναι συμβατές με ένα νέο πρότυπο. Πολλοί θεατές έχουν μόλις ολοκληρώσει την ψηφιακή μετάβαση και πολλοί είναι αρκετά ικανοποιημένοι με την υφιστάμενη προσφορά υπηρεσιών επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης για το σύνολο των τηλεοράσεων τους. Απαιτείται, επίσης, η σημαντική περίοδος ταυτόχρονης μετάδοσης που θα είναι δαπανηρή για ραδιοτηλεοπτικούς φορείς. Συνεπώς, είναι πολύ πιο πιθανό το DVB-T2 πρότυπο να χρησιμοποιηθεί για την παροχή νέων υπηρεσιών στην πλατφόρμα DTT που θα συμπληρώνουν την υφιστάμενη πλατφόρμα DVB-T. Σε πρώτη φάση, μπορεί να αναμένεται ότι τα νοικοκυριά θα αγοράσουν DVB-T2 δέκτες, με στόχο την αναβάθμιση των “βασικών” τους τηλεοράσεων. Για πολλές υπηρεσίες παρόχων, η έναρξη των υπηρεσιών που χρησιμοποιούν το πρότυπο DVB-T2 θα χρησιμοποιηθεί για τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας της πλατφόρμας επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης.

### **Επόμενα βήματα για το DVB-T2**

Στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης, οι χώρες βρίσκονται τώρα στη διαδικασία ολοκλήρωσης της ψηφιακής μετάβασης. Οι υπηρεσίες DTT έχουν ξεκινήσει τη χρήση του προτύπου DVB-T και ακόμη οι αναλογικές υπηρεσίες δεν έχουν σβήσει εντελώς. Σε γενικές γραμμές, τόσο το DVB-T όσο και οι αναλογικές υπηρεσίες προσφέρονται παράλληλα.

Θα είναι δύσκολο να ξεκινήσει το DVB-T2 σε αυτές τις χώρες εφόσον οι διαθέσιμες συχνότητες θα χρησιμοποιούνται είτε για DTT είτε για αναλογικές υπηρεσίες. Επιπλέον, η βιομηχανία αναμετάδοσης είναι πιθανό να επικεντρώνεται στην εξασφάλιση ότι οι τηλεθεατές είναι έτοιμοι για την κατάργηση της αναλογικής μετάδοσης. Ως αποτέλεσμα θα επιδιώκεται ο περιορισμός της σύγχυσης των πιθανών θεατών με τη διατήρηση σε λογικά όρια του αριθμού των μηνυμάτων που κοινοποιούνται σε αυτούς.

### **Στρατηγικές για την εμπορία του DVB-T2**

Οι θεατές θα πρέπει να δελεαστούν να αγοράσουν το νέο εξοπλισμό, προκειμένου να λάβουν τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούν το πρότυπο DVB-T2. Ένα τέτοιο κίνητρο αποτελεί η πρόσβαση σε νέες υπηρεσίες. Όπως και με την έναρξη της πλατφόρμας DVB-T, είναι σημαντικό για τους

τηλεθεατές να κατανοούν σαφώς τις νέες υπηρεσίες που μπορούν να έχουν από την πρόσβαση στην DVB-T2 πλατφόρμα.

Η πλατφόρμα DTT έχει σημειώσει τη μεγαλύτερη επιτυχία σε αγορές που έχουν προσφέρει στους θεατές σημαντική βελτίωση μεταξύ των αναλογικών και των DVB-T πλατφόρμων. Για την επιτυχία του DVB-T2, θα είναι σημαντικό για τους θεατές να κατανοήσουν σαφώς τη νέα υπηρεσία που προσφέρεται και πώς διαφέρει από την υπάρχουσα προσφορά. Σε ορισμένες χώρες, η νέα υπηρεσία που προσφέρεται μπορεί να είναι υψηλής ευκρίνειας, ενώ σε άλλες μπορεί να είναι η προσφορά νέων θεματικών καναλιών.

Οι πάροχοι περιεχομένου επί πληρωμή μπορούν να διαδραματίσουν καίριο ρόλο στην εμπορία των νέων υπηρεσιών. Με μια υπάρχουσα συνδρομητική βάση και καλά ανεπτυγμένα εργαλεία μάρκετινγκ, είναι σε θέση να γνωρίζουν πώς να παρουσιάζουν και να προωθούν νέες προσφορές υπηρεσιών.

Θα είναι, επίσης, σημαντικό να περιοριστεί η σύγχυση του θεατή. Ήδη, οι θεατές έρχονται αντιμέτωποι με μια μεγάλη ποικιλία από λογότυπα της βιομηχανίας εκπομπής, είτε εγκεκριμένα από το σύνολο της βιομηχανίας είτε μοναδικά για συγκεκριμένους κατασκευαστές, συμπεριλαμβανομένων εκείνων για HD οθόνες και δέκτες, καθώς και εθνικά λογότυπα DTT. Προκειμένου να περιοριστεί η σύγχυση, θα είναι σημαντικό για τους θεατές να είναι σαφής η κατανόηση των διαθέσιμων οφελών με τις DVB-T2 υπηρεσίες και οι απαραίτητες ενέργειες που πρέπει να κάνουν προκειμένου να έχουν πρόσβαση σε αυτές.

Οι ραδιοτηλεοπτικοί φορείς και οι φορείς εκμετάλλευσης της πλατφόρμας θα πρέπει να συνεργαστούν στενά με τους κατασκευαστές και οι λιανοπωλητές να εξασφαλίσουν ότι οι θεατές καταλαβαίνουν τις νέες υπηρεσίες που θα είναι διαθέσιμες σε μια συγκεκριμένη περιοχή, το χρονοδιάγραμμα και τα απαραίτητα βήματα που θα πρέπει να γίνουν για να έχουν πρόσβαση σε αυτές τις υπηρεσίες.

Προχωρημένες δοκιμές λαμβάνουν τώρα χώρα σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες και μετά τα θετικά αποτελέσματα του λανσαρίσματος στην Αγγλία, όλο και περισσότερες χώρες στρέφονται στις υπηρεσίες DVB-T2 για το κοντινό μέλλον. Εκτός Ευρώπης, οι πρώτες χώρες που σκέφτονται σοβαρά το DVB-T2 είναι η Αυστραλία, Σιγκαπούρη, Μαλαισία, Ταϊλάνδη και Κένυα. Μη Ευρωπαϊκές χώρες που έχουν ήδη υιοθετήσει το DVB-T2 είναι η Ινδία, Σρι-Λάνκα και Νότιος Αφρική, φτάνοντας έτσι τις χώρες με ενεργό το DVB-T2 στις 32.(12)

Deployed	Trials	Adopted	Adopted (SADC)
UK	Δανία	Αυστρία	Αγκόλα, Μοζαμβίκη
Ιταλία	Γερμανία	Τσεχία	Μποτσουάνα, Ναμίμπια
Σουηδία	Καζακστάν	Ινδία	Κονγκό, Σεϋχέλλες
Φιλανδία	Ισπανία	Σερβία	Ζουαζηλάνδη, Λεσόθο
	Ελβετία	Σλοβακία	Μαδαγασκάρη, Τανζανία
	Ουκρανία	Νότια Αφρική	Μαλάουι, Ζάμπια
	Ταϊλάνδη	Σρι Λάνκα	Ζιμπάμπουε, Μαυροβούνιο

Πηγή: [http://www.dvb.org/technology/fact\\_sheets/DVB-T2\\_Factsheet.pdf](http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/DVB-T2_Factsheet.pdf)

## Συμπεράσματα

Στα παραπάνω περιγράφηκαν οι βασικές τεχνολογίες που περιλαμβάνονται στα πρότυπα DVB-T και DVB-T2 και παρουσιάστηκαν αποτελέσματα επίδοσης που αποδεικνύουν ότι ικανοποιήθηκαν (και σε ορισμένες περιπτώσεις ξεπεράστηκαν) οι εμπορικές προδιαγραφές. Το σύστημα DVB-T2, που είναι πλέον ένα πρότυπο ETSI (ETSI EN 302 755), παρέχει αισθητά βελτιωμένη επίδοση για



---

μεταδόσεις HDTV. Ήδη από το τέλος του 2009 υλοποιήθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο μια νέα επίγεια HDTV υπηρεσία με χρήση του DVB-T2. Το DVB-T2 παρέχει, επίσης, πολλές λειτουργίες που το καθιστούν την πιο προηγμένη τεχνολογία επίγειας μετάδοσης, κατάλληλη για την επερχόμενη δεκαετία και παραπέρα, με κάποιες λειτουργίες (π.χ. time-frequency-slicing και time-interleaving) που μπορεί να χρησιμοποιηθούν από την επόμενη γενιά του προτύπου DVB-H. Η μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή υπηρεσία χρησιμοποιώντας το πρότυπο DVB-T2 και παρακάμπτοντας το DVB-T μπορεί να είναι δυνατή σε χώρες εκτός της Ευρώπης, όπου θα είναι διαθέσιμα αρκετά χρόνια για την ολοκλήρωση της ψηφιακής μετάβασης. Στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης, οι χώρες βρίσκονται τώρα στη διαδικασία ολοκλήρωσης της ψηφιακής μετάβασης. Οι υπηρεσίες DTT έχουν ξεκινήσει τη χρήση του προτύπου DVB-T και ακόμη οι αναλογικές υπηρεσίες δεν έχουν σβήσει εντελώς. Σε γενικές γραμμές, τόσο το DVB-T όσο και οι αναλογικές υπηρεσίες προσφέρονται παράλληλα.

## References

- (1) ETSI EN 302 307, “Second Generation Framing Structure, Channel Coding and Modulation Systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and Other Broadband Satellite Applications”, v. 1.1.2, June 2006.
- (2) ETSI EN 300 744, “Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Television”, Jan. 2001.
- (3) B. Le Floch, M. Alard, and C. Berrou, “Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex”, Proc. IEEE, vol. 83, no. 6, June 1986, pp. 587-92.
- (4) C. Abdel Nour and C. Douillard, “Rotated QAM Constellations to Improve BICM Performance for DVB-T2”, Proc. ISSSTA, Aug. 2008, pp. 354-59.
- (5) S. H. Han and J. H. Lee, “An Overview of Peak-to-Average Power Ratio Reduction Techniques for Multicarrier Transmission”, IEEE Wireless Commun., vol. 12, no. 2, Apr. 2005, pp. 56-65.
- (6) V. Mignone and A. Morello, “CD3-OFDM: A Novel Demodulation Scheme for Fixed and Mobile Receivers”, IEEE Trans. Commun., vol. 44, no. 9, Sept. 1996, pp. 1144-51.
- (7) S.M. Alamouti, “A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications”, IEEE JSAC, vol. 16, no. 8, Oct. 1998, pp. 1451-58.
- (8) ETSI Standard: EN 300 744 V1.5.1, Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.
- (9) Uwe Laderbuch and Claudia A. Liss, “Terrestrial DVB (DVB-T): A Broadcast Technology for Stationary Portable and Mobile Use”, proceedings of the IEEE, vol. 94, no. 1, January 2006
- (10) DVB-T Fact Sheet, May 2011, available at: [http://www.dvb.org/technology/fact\\_sheets/DVB-T\\_Factsheet.pdf](http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/DVB-T_Factsheet.pdf)
- (11) DVB-T2 Fact Sheet, May 2011, available at: [http://www.dvb.org/technology/fact\\_sheets/DVB-T2\\_Factsheet.pdf](http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/DVB-T2_Factsheet.pdf)
- (12) DigiTAG handbook on DVB-T2, “Understanding DVB-T2: key technical, business & regulatory implications”, available at: [http://www.digitag.org/DTTResources/DVB-T2\\_Handbook.pdf](http://www.digitag.org/DTTResources/DVB-T2_Handbook.pdf)