

# Βασικά Τεχνικά Χαρακτηριστικά Συστήματος Ψηφιακής Τηλεόρασης βασισμένο στο πρότυπο DVB-T

ΑΡΒΑΝΙΤΑΚΗ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ Ηλεκτρονικός Μηχανικός, ΓΚΟΥΔΙΝΟΥΔΗΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Η/Υ, ΦΩΤΟΠΟΥΛΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ Πληροφορική, ΣΤΑΣΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Πληροφορική.

## ΣΥΝΟΨΗ

Η εποχή της αναλογικής τηλεόρασης φαίνεται να περνά ανεπιστρεπτί και οι νέες τεχνολογίες μετάδοσης ψηφιακού σήματος κερδίζουν ολοένα και περισσότερο έδαφος. Το δίκτυο μετάδοσης της ψηφιακής τηλεόρασης (DTS) πλεονεκτεί σημαντικά του προκατόχου του και για το λόγο αυτό η μελέτη της τεχνολογίας DVB-T πάνω στην οποία στηρίζεται, εμφανίζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Πολλές είναι οι διεργασίες αλλά και τα πρότυπα τα οποία λαμβάνουν χώρα κατά την παραγωγή του ψηφιακού σήματος αλλά και της τηλεοπτικής του μετάδοσης. Αυτά και κυρίως τα βασικά τους τεχνικά χαρακτηριστικά αποτελούν τα βασικά θέματα του παρόντος εγγράφου.

**Λέξεις κλειδιά:** Ψηφιακή τηλεόραση, Digital video Broadcasting, DVB-T, MPEG2 Transport Stream, COFDM

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ψηφιακή τηλεόραση (Digital Television DTV) είναι ένας τρόπος μετάδοσης των κινούμενων εικόνων συνοδευόμενων από ήχο που συνθέτουν ένα τηλεοπτικό πρόγραμμα, μαζί με άλλες υπηρεσίες όπως κείμενο και διαδραστικότητα. Χρησιμοποιεί ψηφιακά διαμορφωμένα δεδομένα, τα οποία είναι συμπιεσμένα και απαιτεί αποκωδικοποίηση από ένα ειδικά σχεδιασμένο σετ τηλεόρασης-δέκτη. Τα πλεονεκτήματα που δίνει έναντι του αναλογικού συστήματος μετάδοσης τηλεόρασης είναι πολλά και παρουσιάζονται παρακάτω.

Η αναλογική και η ψηφιακή τηλεόραση διαφέρουν στον τρόπο που η πληροφορία μεταφέρεται από την

πηγή στο δέκτη. Στην αναλογική ευρυεκπομπή το σήμα είναι στη μορφή ενός συνεχούς κύματος, ενώ στην ψηφιακή είναι στη μορφή διακριτών τμημάτων πληροφορίας. Η απαιτούμενη πληροφορία για ένα τηλεοπτικό πρόγραμμα κωδικοποιείται σε μια ψηφιακή ακολουθία από μηδέν και ένα, όπως δηλαδή λειτουργεί ένας υπολογιστής. Με τον τρόπο αυτό η τεχνική ποιότητα μπορεί να είναι πολύ καλύτερη και περισσότερο συνεκτική. Η ψηφιακή ροή δεδομένων καταλαμβάνει πολύ λιγότερη χωρητικότητα στα ραδιοκύματα επιτρέποντας έτσι τη συνύπαρξη πέντε, έξι ή επτά διαφορετικών προγραμμάτων στο χώρο που χρειαζόταν στο παρελθόν για ένα μόνο αναλογικό κανάλι.

Αυτό ωστόσο που την κάνει να ξεχωρίζει, είναι η εντελώς νέα εμπειρία της διαδραστικότητας. Ο τηλεθεατής χρησιμοποιώντας το τηλεχειριστήριο μπορεί να έχει πρόσβαση σε κάθε είδους πληροφορία: το ψηφιακό κείμενο είναι πιο ευδιάκριτο από το παλαιότερο σύστημα teletext και η 'εμπλουτισμένη' τηλεόραση (enhanced TV) δίνει την επιπρόσθετη ευχαρίστηση σχετιζόμενων πληροφοριών που τρέχουν παράλληλα με το παρακολουθούμενο τηλεοπτικό πρόγραμμα. Μερικά ψηφιακά συστήματα επιτρέπουν την επιλογή της κάμερας μέσω της οποίας ο τηλεθεατής παρακολουθεί σπουδαία γεγονότα ή την αύξηση της επιλογής πληροφοριών είτε αυτά είναι ειδήσεις είτε αθλητικά είτε άλλο περιεχόμενο. Μερικές ψηφιακές υπηρεσίες παρέχουν ακόμη και πρόσβαση σε σελίδες του διαδικτύου μέσω του τηλεοπτικού σετ.

Στην Ευρώπη είναι απόφαση της Ευρωπαϊκής Ένωσης να προωθήσει στα κράτη μέλη της την ψηφιακή τηλεόραση και μάλιστα να ολοκληρωθεί η μετάβαση από την αναλογική στην πλήρως ψηφιακή εποχή μέχρι το 2015.

## 2.ΕΠΙΓΕΙΑ ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ

Υπάρχουν πολλοί τρόποι μετάδοσης ψηφιακής τηλεόρασης. Η παρούσα εργασία θα ασχοληθεί κυρίως με την επίγεια μετάδοση στο γεωγραφικό χώρο της Ευρώπης, όπου η ανάπτυξή της είναι εντυπωσιακή, και θα προσπαθήσει να παρουσιάσει με συνοπτικό αλλά και κατανοητό τρόπο τη μετάδοση του ψηφιακού σήματος παρουσιάζοντας τα βασικότερα στάδια δημιουργίας του ξεκινώντας από την κωδικοποίηση και την πλαισίωση και καταλήγοντας στην πολυπλεξία και τη διαμόρφωση του.

### DVB-T

Η ψηφιακή επίγεια τηλεόραση (DTTV ή DTT) είναι μία υλοποίηση της ψηφιακής τεχνολογίας για παροχή τηλεόρασης, που απαιτεί χρήση μιας συμβατικής κεραιάς αντί ενός δορυφορικού πιάτου ή μιας καλωδιακής σύνδεσης. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι το ATSC στη Βόρεια Αμερική, το ISDB-T στην Ιαπωνία, το DVB-T στην Ευρώπη και την Αυστραλία και το DMB-T/H στην Κίνα.

Η DTT μεταδίδεται σε ραδιοσυχνότητες που βρίσκονται στην περιοχή συχνοτήτων της αναλογικής τηλεόρασης, με τη βασική διαφορά της μετάδοσης πολυπλεξιών που επιτρέπουν τη λήψη πολλών καναλιών σε ένα εύρος μιας απλής συχνότητας (όπως ένα UHF ή VHF κανάλι). Η ποσότητα των δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν (και κατά συνέπεια ο αριθμός των καναλιών) εξαρτάται από την επιλογή επιθυμητής ποιότητας του μεταδιδόμενου προγράμματος και φυσικά από το χρησιμοποιούμενο σχήμα διαμόρφωσης. Λεπτομέρειες σχετικά με τα σχήματα διαμόρφωσης παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

Η λήψη του ψηφιακού σήματος γίνεται με ειδικούς δέκτες (STB) που αναλαμβάνουν να μετατρέψουν το ψηφιακό σήμα σε αναλογικό για προβολή στις υπάρχουσες συσκευές τηλεόρασης και να επεξεργαστούν ταυτόχρονα τα επιπλέον δεδομένα(data) που συνοδεύουν τα τηλεοπτικά(video, audio). Μέσω αυτών παρέχονται όλες οι νέες υπηρεσίες της ψηφιακής τηλεόρασης.

## 3.ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ DVB-T

Το πρότυπο DVB-T θέτει τις εξής προδιαγραφές:

- Κωδικοποίηση MPEG-2 ή H.264/MPEG4
- Concatenated Coding (Convolutional + Block Coding)
- Διαμόρφωση QPSK / 16QAM / 64QAM – COFDM
- Μετάδοση στη ζώνη UHF
- Εύρος ζώνης 6-8 MHz
- Ρυθμοί μετάδοσης 4.98 – 31.67 Mbps

Όλα τα βήματα από τη δημιουργία του σήματος μέχρι και την εκπομπή του παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

### 3.1 Κωδικοποίηση Εικόνας-Ήχου (Video-Audio Encoding)

Η πραγματική συμπίεση βίντεο ορίζεται στο πρότυπο ISO/IEC-13818-2. Η πιο σημαντική λειτουργία του κωδικοποιητή είναι η μελλοντική πρόβλεψη του περιεχομένου της εικόνας. Προσπαθεί δηλαδή ο αποκωδικοποιητής να δημιουργήσει μια πρόγνωση του επόμενου καρέ, αναλύοντας τις τρέχουσες εικόνες και τα δεδομένα του παρελθόντος. Όσο καλύτερη η πρόβλεψη τόσο μικρότερη η διαφορά από την πραγματική εικόνα που παίρνουμε στο τελικό αποτέλεσμα. Καθώς ο κωδικοποιητής χρησιμοποιεί τον ίδιο αλγόριθμο πρόγνωσης με τον αποκωδικοποιητή μπορεί να υπολογίσει την πρόβλεψη του δέκτη. Λαμβάνοντας αυτό ως δεδομένο τελικά την μόνη πληροφορία που χρειάζεται να κωδικοποιήσει και να μεταδώσει είναι οι διορθώσεις στην πρόβλεψη. Κάθε πρόβλεψη θα πρέπει να έχει αρχικοποίηση ενώ οι επόμενες βασίζονται στην αρχική πληροφορία. Έτσι διακρίνουμε 3 κατηγορίες κωδικοποίησης εικόνας κατά τη ροή των δεδομένων οι οποίες και εμφανίζονται στον Πίνακα 1.

Με την ύπαρξη των πλαισίων B καθίσταται σαφές ότι το MPEG video δεν στέλνει φωτογραφίες υποχρεωτικά με τη σειρά που εμφανίζονται στην οθόνη, αλλά ότι ο κωδικοποιητής μπορεί να αποφασίσει να στείλει ένα πλαίσιο νωρίτερα, προκειμένου να καταστεί δυνατή η καλύτερη πρόβλεψη, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση εύρους ζώνης. Ο αποκωδικοποιητής πρέπει να έχει αρκετή μνήμη RAM για να κρατήσει τις εικόνες διαθέσιμες μέχρις ότου δεν υπάρχουν άλλες αναφορές προς αυτές, ενώ ο κωδικοποιητής με τη σειρά του πρέπει να παρακολουθεί ανά πάσα στιγμή τη διαθεσιμότητα μνήμης του αποκωδικοποιητή.

Κωδικοποίηση	Τύπος Πρόβλεψης
I(Intra-Frame)	Καμία πρόβλεψη. Το πλαίσιο είναι πλήρες και μπορεί να συγκριθεί με μια JPEG εικόνα.Είναι το σημείο εκκίνησης της αποκωδικοποίησης.
P(Predictive coded picture)	Το πλαίσιο αυτό χρησιμοποιεί την ικανότητα πρόβλεψης και έχει αναφορές μόνο σε πλαίσια του παρελθόντος
B(Bidirectional predictive coded picture)	Χρησιμοποιεί την ικανότητα πρόβλεψης και έχει αναφορές τόσο σε παρελθοντικά όσο και σε μελλοντικά πλαίσια.

Πίνακας 1

Χαρακτηριστικό παράδειγμα για το πως εξοικονομείται πληροφορία και κατά συνέπεια εύρος ζώνης είναι η περίπτωση κίνησης μιας μπάλας .Στο παράδειγμα έχουμε ένα σταθερό υπόβαθρο το οποίο δεν αλλάζει πολύ, ενώ παράλληλα καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της σκηνής.Ο αποκωδικοποιητής το σημαντικότερο έργο που έχει να κάνει είναι να παρατηρήσει την κίνηση της μπάλας. Μέσα από την παρατήρηση των προηγούμενων frames(το τελευταίο και το προτελευταίο) μπορεί να υποθέσει τη συνέχεια της κίνησης της μπάλας,προβλέποντας έτσι τη θέση της για το επόμενο frame στο οποίο δε χρειάζεται φυσικά να ξανασταλούν οι πληροφορίες του υποβάθρου.

Με τον τρόπο αυτό μειώνεται κατά πολύ η ποσότητα της προς μετάδοσης πληροφορίας

Μια σημαντική επίσης λεπτομέρεια η οποία παίζει ρόλο στη επιλογή της πληροφορίας προς μετάδοση είναι η παρακάτω: Το ανθρώπινο μάτι δεν μπορεί να δει όλες τις λεπτομέρειες μιας εικόνας με την ίδια ανάλυση. Για έναν θεατή είναι αρκετά ευδιάκριτο, αν η άκρη ενός φύλλου

από χαρτί σε ένα σκοτεινό γραφείο είναι θολή, αλλά δεν θα μπορέσει να ανιχνεύσει με ευκολία ένα σημείο πάνω στο χαρτί. Για το λόγο αυτό ο κωδικοποιητής πρέπει να επενδύσει το εύρος ζώνης στα άκρα.Για να είναι πιο αποτελεσματική η κωδικοποίηση,το codec δεν λειτουργεί με τα pixel όπως του παραδίδονται

από τον μετατροπέα A / D, αλλά τα δεδομένα μετατρέπονται στο πεδίο των συχνοτήτων μέσω DCT(Discrete Cosine Transformation). Για την

καλύτερη χρήση του μετασχηματισμού η εικόνα χωρίζεται σε τεμάχια των 64 pixels(8x8).

Το χειρότερο σενάριο είναι να έχουμε μια τυχαία κατανομή των τιμών μέσα σε ένα μπλοκ, επειδή τότε το φάσμα των συχνοτήτων χρησιμοποιείται σε όλο το εύρος του. Όμως, δεδομένου ότι αυτό συμβαίνει σπάνια, υπάρχει η δυνατότητα να γλιτώσουμε σε πληροφορία και κατά συνέπεια σε εύρος ζώνης καθώς στα περισσότερα πλαίσια έχουμε απλώς μια ελαφριά διαβάθμιση χρωμάτων.

Μετά τον DCT λαμβάνει χώρα η κβαντοποίηση ενώ ακολουθεί το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας κατά το οποίο ο κωδικοποιητής επιλέγει να στείλει μόνο τις διορθώσεις των προβλέψεων ,τα διανύσματα κίνησης και φυσικά τα καινούρια frames.

Εκτός από τα καθαρά στοιχεία εικόνας, ο κωδικοποιητής στέλνει επίσης μια συλλογή πληροφοριών που ονομάζονται meta information και είναι σημαντικές για τον αποκωδικοποιητή. Μεταξύ αυτών είναι πληροφορίες που αφορούν το μέγεθος της οθόνης καθώς και πληροφορίες σχετικά με την αναλογία των αρχικών δεδομένων. Επιπλέον, προστίθεται μια λέξη συγχρονισμού η οποία επιτρέπει στον αποκωδικοποιητή να κλειδώνει πάνω στη συγκεκριμένη ροή πληροφορίας (bitstream).

Η κωδικοποίηση του ήχου γίνεται απο διάφορα πρότυπα μεταξύ των οποίων και το πρότυπο MPEG1 layer 2 το οποίο ορίζεται στο πρότυπο ISO/IEC-13813-3.Ένα από τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου προτύπου είναι η ιδιότητα να εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι το ανθρώπινο αυτί δε μπορεί να ξεχωρίσει ήχους που μεταφέρονται σε συχνότητες γειτονικές συχνοτήτων ηψηλότερης ισχύος, με αποτέλεσμα να τις κόβει από τη μετάδοση κερδίζοντας σε εύρος ζώνης.

### 3.2 Διαμόρφωση Ροής (Packetising)

Αφου ολοκληρωθεί η διαδικασία ολοκλήρωσης της εικόνας και του ήχου μέσω της πολυπλεξίας έχουμε τη δημιουργία των πακέτων προς μετάδοση.Το DVB πρότυπο ορίζει το μέγεθος του πακέτου στα 188 bytes.Η τιμή αυτή δεν είναι τυχαία αλλά ουσιαστικά είναι το σύνολο 4 ATM κελιών (μέγεθος κελιού 53bytes) αφαιρουμένων της ATM κεφαλίδας (header) και των bits του ATM-Adaptation layer.Ο λόγος επιλογής του συγκεκριμένου μεγέθους σχετίζεται με το γεγονός ότι τα ATM δίκτυα χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των πακέτων από τα studios προς τους πομπούς του σήματος.Η εικόνα 1 παρουσιάζει τη δομή του πλαισίου.

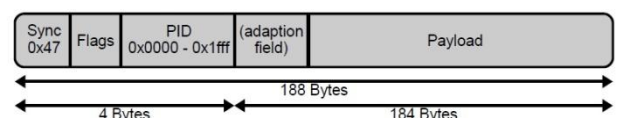


Figure 1: ISO/IEC-13818-1 Transport Stream packet header

Κάθε πακέτο ξεκινάει με το byte 0x47 το οποίο χρησιμοποιείται για το συγχρονισμό μεταξύ του πομπού και του δέκτη όταν δεν είναι διαθέσιμη κάποια επιπρόσθετη πληροφορία συγχρονισμού. Στην συνέχεια ακολουθεί το πεδίο των flags και το πεδίο του Packetising ID(προσδιοριστικό πακέτου). Κάθε υπηρεσία που περιέχεται μέσα σε μια ροή μεταφοράς δεδομένων προσδιορίζεται και από ένα διαφορετικό PID. Το επόμενο πεδίο είναι ένα προαιρετικό πεδίο του οποίου η ύπαρξη υποδεικνύεται από τιμές στο πεδίο flags και ονομάζεται πεδίο προσαρμογής. Μεταξύ άλλων το πεδίο προσαρμογής δύναται να περιέχει πληροφορίες οι οποίες υποδεικνύουν στον αποκωδικοποιητή πότε να ξεκινήσει μια αποκωδικοποίηση.(πότε δηλ περιέχεται ένα MPEG 1 frame) αλλά και πληροφορίες που σχετίζονται με το συγχρονισμό ενός video με τον ήχο του. Και φυσικά τελευταίο ακολουθεί το πεδίο του ωφέλιμου φορτίου (payload).

Μια ροή πληροφορίας κατά MPEG περιέχει εκτός από δεδομένα ήχου και εικόνας και πολλές βοηθητικές πληροφορίες. Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται κάποιες από τις πιο αξιοσημείωτες.

### 3.3 Πολυπλέκτης (Multiplexer)

Βασική λειτουργία του πολυπλέκτη είναι η πολυπλεξία των δεδομένων ήχου ,εικόνας,καθώς και

των δεδομένων πληροφορίας που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στην αρχή round robin:FIFO. Σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας τα πακέτα εξέρχονται με τη σειρά που εισέρχονται μέσα στον πολυπλέκτη. Σε περίπτωση που ο πολυπλέκτης δεν έχει ωφέλιμα δεδομένα να στείλει, στέλνει μηδενικό πακέτο με PID 0x1fff και φορτίο που ισούται με σειρά μηδενικών .

### 3.4 Κωδικοποίηση Καναλιού (Channel Encoding)

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία κωδικοποίησης του σήματος μέσω των παραπάνω προτύπων στο σήμα μας προστίθενται διάφοροι κώδικες και μέθοδοι βελτιστοποίησης, όπως ο Reed-Solomon για μπλοκ κωδικοποίηση και ο Viterbi για συνελκτική bit κωδικοποίηση. Αυτοί εφαρμόζονται για τη μεγαλύτερη σταθερότητα του σήματος παρέχοντας προστασία από μεμονωμένα λάθη ή ακόμα και εκρήξεις λαθών. Πιο συγκεκριμένα κάθε πακέτο υπόκειται σε Reed Solomon κωδικοποίηση και επεκτείνεται κατά 16 bytes φτάνοντας το συνολικό μήκος των 204. Οι πληροφορίες που προστίθενται επιτρέπουν τη διόρθωση μέχρι και 8 λανθασμένων (corrupted) bytes. Στο πρότυπο DVB αυτο το βήμα αναφέρεται ως "outer code".

Short name (Σύντομογραφία)	Long Name(Ολογράφως)	Περιγραφή
PAT(PID 0x0000)	Program Association Table	Περιέχει λίστα προγραμμάτων και αναφορές στον NIT
CAT (PID 0x0001)	Conditional Access Table	Δεδομένα που ελέγχουν την αποκρυπτογράφηση της pay-TV
NIT (PID 0x0010)	DVB Network Information Table	Περιέχει πληροφορίες για δίκτυο εκπομπής, επιπρόσθετες συχνότητες αλλά και τοποθεσίες απο τις οποίες εκπέμπεται το συγκεκριμένο πρόγραμμα.
SDT, BAT (PID 0x0011)	Service Descriptor Table, Bouquet Association Table	Πίνακας με τα ονόματα των προγραμμάτων καθώς και τις διαθέσιμες γλώσσες για τη συγκεκριμένη ροή δεδομένων
EIT (PID 0x0012)	Event Information Table	Περιέχει τον ηλεκτρονικό οδηγό οδηγό προγράμματος
PMT (PID via PAT)	Program Map Table	Μεταφέρει πληροφορίες για ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα. π.χ ποιο PID χρησιμοποιείται για το video και ποιο PID για τον ήχο. Κάθε πρόγραμμα έχει το δικό του PMT.

Πίνακας 2

Για να ενδυναμώσουμε ακόμα περισσότερο το σήμα μας στη συνέχεια εφαρμόζεται τεχνική interleaving. Κάθε πακέτο διαστρωματώνεται με τα επόμενα 12 πακέτα έτσι ώστε το πρώτο byte του πακέτου μένει αμετάβλητο, στο δεύτερο byte δίνεται η τιμή του δευτέρου byte του τελευταίου πακέτου, στο 3 byte δίνεται η τιμή του 3 byte του προτελευταίου πακέτου και ούτω καθεξής.... Τα bytes συγχρονισμού δεν υπόκεινται σε επεξεργασία. Με τη διαδικασία αυτή και σε συνδυασμό με το Reed Solomon ο αποκωδικοποιητής καθίσταται ικανός να διορθώσει μέχρι και 704 συνεχόμενα λανθασμένα bits.

Από το σημείο αυτό και πέρα τα δεδομένα μας πλέον πάυουν να αποτελούν bytes και ξεκινά η διαδικασία χειρισμού τους ως bits. Μάλιστα ανάλογα με την κωδικοποίηση μετάδοσης που θα χρησιμοποιηθεί κάθε  $v$ -άδα bits αποτελεί και ένα σύμβολο. Οι δυνατές κωδικοποιήσεις που μπορεί να χρησιμοποιηθούν κατά το πρότυπο DVB είναι η QPSK (όπου  $v=2$ ) η 16QAM (όπου  $v=4$ ) και η 64QAM (όπου  $v=6$ )

Καθώς το σήμα μας πρόκειται να μεταδοθεί στον αέρα-ατμόσφαιρα και είναι δυνατόν να υπόκειται σε θόρυβο, παραμόρφωση αλλά και κάθε είδους παρεμβολή, ένα νέο στρώμα κώδικα εφαρμόζεται πάνω του. Μια συνελκτική κωδικοποίηση η οποία ονομάζεται και "inner coder" εφαρμόζεται στην αλληλουχία των bits του σήματος έχοντας ως έξοδο 2 bits για κάθε bit εισόδου. Με τον τρόπο αυτό καταφέρνουμε να ελλατώσουμε κατά πολύ το θόρυβο επιτυγχάνοντας έτσι χαμηλότερο απαιτούμενο λόγο σήματος προς θόρυβο. Αυτή η μέθοδος ονομάζεται "Forward Error Correction". Στη διαδικασία που μόλις αναφέραμε η μέθοδος FEC καταναλώνει το μισό εύρος ζώνης αφού για κάθε bit πληροφορίας αναγκάζομαστε να εκπέμψουμε 2 bits για αυτό και ονομάζεται "1/2 FEC". Ανάλογα με τις συνθήκες μετάδοσης αλλά και την ικανότητα του δέκτη να διορθώσει κάποια λάθη διάφοροι τύποι FEC μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Το DVB πρότυπο επιτρέπει τη χρήση των 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 και 7/8 FEC.

Το σύστημα υπηρεσιών επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί στην περιοχή VHF και UHF συχνοτήτων, όπου υπάρχουν και άλλες παρεχόμενες υπηρεσίες (Μετάδοση τηλεόρασης μέσω αναλογικού σήματος όπως PAL/SECAM/NTSC). Κατά συνέπεια, απαιτείται τέτοια σχεδίαση ώστε να υπάρχει επαρκής προστασία

ενάντια σε υψηλά επίπεδα ομοδιαυλικής παρεμβολής (CCI) και παρεμβολής γειτονικού διαύλου. Είναι επίσης ζητούμενο το σύστημα να είναι κατάλληλα σχεδιασμένο, ώστε να επιτυγχάνεται μέγιστη αποδοτικότητα φάσματος όταν χρησιμοποιείται στις ζώνες VHF και UHF (το τελευταίο επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας δίκτυα απλής συχνότητας).

Για την επίλυση των πιο πάνω προβλημάτων χρησιμοποιείται η OFDM. Η ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) είναι ένα ψηφιακό σχήμα διαμόρφωσης πολλών φερώντων, στο οποίο το διατιθέμενο εύρος ζώνης του καναλιού διαιρείται σε έναν αριθμό από ίσου εύρους ζώνης υποκανάλια. Το εύρος ζώνης κάθε υποκαναλιού είναι επαρκώς στενό έτσι ώστε τα χαρακτηριστικά της απόκρισης συχνότητας των υποκαναλιών να είναι σχεδόν ιδανικά. Για κάθε υποκανάλι χρησιμοποιείται και ένα φέρον του οποίου η συχνότητα επιλέγεται έτσι ώστε τα υποφέροντα να είναι ορθογώνια μεταξύ τους. Με αυτό τον τρόπο εξαλείφεται η παρεμβολή μεταξύ των υποκαναλιών και δε χρειάζονται ενδιάμεσες ζώνες διαχωρισμού ανάμεσά τους. Αυτό κάνει πολύ πιο εύκολη τη σχεδίαση εκπομπού και δέκτη, ενώ δε χρειάζεται ξεχωριστό φίλτρο για κάθε υποκανάλι, όπως στη συμβατική FDM. Υπάρχουν δυο δυνατές καταστάσεις μετάδοσης: η 2k και η 8k. Η διαφορά τους έγκειται στον αριθμό των φερουσών που χρησιμοποιούνται αφού στην πρώτη περίπτωση έχουμε 1705 υπο-φέρουσες (εύρος υποκαναλιού 1,116kHz) ενώ στη δεύτερη περίπτωση έχουμε 6817 υπο-φέρουσες (εύρος υποκαναλιού 4,464kHz.)

Στο DVB ένας μεγάλος αριθμός bits μεταδίδεται ταυτόχρονα πάνω από ένα μεγάλο πλήθος υπο-φερουσών (1705 στη 2k και 6817 στην 8k) που στο σύνολο τους διαμορφώνουν ένα ενιαίο σήμα εύρους ζώνης 8MHz. Το σύνολο αυτών των υποφερουσών αποτελεί ένα OFDM σύμβολο. Για να μειωθούν ακόμα περισσότερο φαινόμενα παρεμβολής και εξασθένησης το σήμα υπόκειται για άλλη μια φορά σε τεχνική interleaving (διαστρωμάτωσης). Για το λόγο αυτό η αλληλουχία των bits μας διαχωρίζεται σε ομάδες των  $v$  bits όπου το  $v$  ισούται με τον αριθμό των bits που απαρτίζουν ένα σύμβολο και εξαρτάται από τον τύπο της κωδικοποίησης μετάδοσης που έχει επιλεγεί. Αυτές οι ομάδες στη συνέχεια υπόκεινται σε νέα τεχνική διαστρωμάτωσης συμμετέχοντας σε ομάδες των 126 bits.

Ωστόσο θα πρέπει να αναφερθεί ότι δε μεταφέρουν όλες οι φέρουσες πληροφορία. Καθώς το εύρος ζώνης του σήματος μας είναι αρκετά ευρύ (8MHz) φαινόμενα μετάδοσης όπως ολίσθηση φάσης, εξασθένηση, παραμόρφωση μπορεί να ποικίλουν αρκετά και να επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο τις διαφορετικές συχνότητες που απαρτίζουν το εύρος ζώνης του σήματος μας. Για να καταστεί ικανός ο δέκτης να αντιμετωπίσει τέτοιου είδους φαινόμενα κάποιες φέρουσες φορτώνονται με προκαθορισμένα σύμβολα. Αυτές οι φέρουσες ονομάζονται πιλότοι και μάλιστα διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: συνεχείς και διάσπαρτους (continual-scattered). Οι συνεχείς πιλότοι εμφανίζονται σε κάθε σύμβολο OFDM στην ίδια θέση και μεταφέρουν το ίδιο QAM σύμβολο. Υπάρχουν 45 ή 177 συνεχείς πιλότοι σε κάθε σύμβολο ανάλογα με την κατάσταση μετάδοσης (2k ή 8k) που έχει επιλεγεί. Επιπλέον κάθε  $12^{\text{η}}$  φέρουσα ορίζεται ως διάσπαρτος πιλότος. Οι πιλότοι είναι ενισχυμένοι από άποψη ισχύος πράγμα που τους καθιστά ικανούς να ξεχωρίζουν μέσα στο φάσμα και να βοηθήσει το δέκτη να κλειδώσει επάνω στο σήμα τους. Οι πιλότοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συγχρονισμό πλαισίων, συγχρονισμό συχνοτήτων, συγχρονισμό χρόνου, εκτίμηση καναλιού, αναγνώριση μεθόδου μετάδοσης.

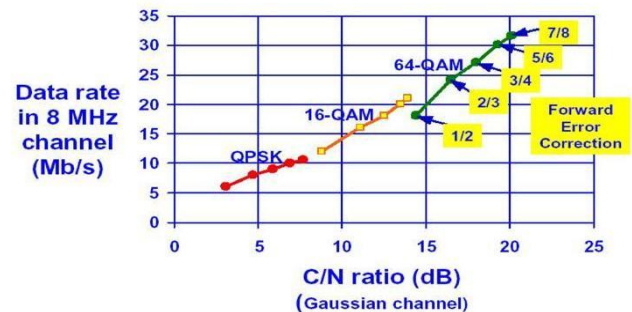
Ο δέκτης από την άλλη, για την πραγμάτωση της διαδικασίας αποκωδικοποίησης χρειάζεται να γνωρίζει κάποιες παραμέτρους του σήματος. Αυτές οι παράμετροι κωδικοποιούνται σε μια δομή 37 bits, που με την προσθήκη των bits συγχρονισμού αλλά και των bits διόρθωσης λαθών στελεχώνουν ένα τελικό Block μήκους 68 bits που ονομάζεται TPS block. Σε κάθε OFDM σύμβολο μιά ομάδα φερουσών χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του TPS (17 για το 2k και 68 για το 8k).

Αφού ολοκληρωθεί η είσοδος των πιλότων και των TPS bits, 1512 φέρουσες από τις 1705 παραμένουν διαθέσιμες για τη μετάδοση της ωφέλιμης πληροφορίας μας. Κατά τη μετάδοση της πληροφορίας και για την προστασία των συμβόλων μας από διασυμβολική παρεμβολή, η οποία συμβαίνει όταν ένα σύμβολο αναμειγνύεται με το αντίγραφο ενός παλαιότερου συμβόλου που φτάνει καθυστερημένα στο δέκτη χρησιμοποιείται η τεχνική του διαστήματος φύλαξης (guard interval) μεταξύ των συμβόλων. Το μήκος του διαστήματος φύλαξης ποικίλει ανάλογα με τις συνθήκες μετάδοσης και

μπορεί να ισούται με το  $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$ ,  $1/32$  του μήκους του συμβόλου.

Στο DVB-T, οι πάροχοι μπορούν να επιλέξουν ανάμεσα σε διάφορα σχήματα διαμόρφωσης, έχοντας πάντα την επιλογή να μειώσουν το ρυθμό εκπομπής bit με όφελος την πιο εύκολη λήψη του σήματος σε πιο απομακρυσμένους ή κινητούς χρήστες. Οι παράμετροι του σήματος είναι το διάστημα φύλαξης (guard interval), ο ρυθμός κωδικοποίησης (coding rate) και η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται. Ανάλογα με τη διαμόρφωση προκύπτει και ένας αντίστοιχος ρυθμός μετάδοσης σε Mbps, όπως αυτός καθορίζεται στο πρότυπο του ETSI EN 300 744.

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του διαύλου (χαρακτηριστικά εδάφους και χρησιμοποίηση φάσματος από άλλες υπηρεσίες) προκύπτει με βάση τον παραπάνω πίνακα ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων. Για παράδειγμα, αν η γεωγραφία και η διάταξη των δεκτών στην υπό μελέτη περιοχή επιτρέπει τη χρήση 64 QAM έναντι των 16QAM θα έχουμε μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και άρα καλύτερες παρεχόμενες υπηρεσίες.



Η εμπειρία που έχουμε αποκτήσει μέχρι σήμερα μας δείχνει ότι αν θέλουμε να αυξήσουμε τη σταθερότητα-ποιότητα του συστήματος αναγκαστικά θα χάσουμε σε ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Έρευνα του BBC δείχνει ότι τα 16QAM (ρυθμός 3/4, 2K και 1/32 διάστημα φύλαξης) παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση από τα 64QAM (ρυθμός 2/3, 2K και 1/32 διάστημα φύλαξης), όσον αφορά 3 παραμέτρους: ομοδιαυλική παρεμβολή, πολυδίοδη διάδοση και impulsive interference (II). Σε κάθε περίπτωση για να επιτευχθεί ο ίδιος λόγος C/I απαιτείται μεγαλύτερος λόγος C/N για τα 64QAM. Αντιθέτως, τα 16QAM παρουσιάζουν μεγαλύτερη σταθερότητα και καλύτερο συγχρονισμό. Το πλεονέκτημα, βέβαια, των 64QAM είναι ο μεγαλύτερος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων.]

Οι δύο μέθοδοι λειτουργίας, 2k και 8k, που ορίζονται για τις DVB-T μεταδόσεις, χρησιμοποιούνται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας και τον τρόπο λήψης. Η μέθοδος 2k είναι κατάλληλη για λειτουργία απλού εκπομπού και για μικρά SFN δίκτυα, με περιορισμένες αποστάσεις μετάδοσης. Η μέθοδος 8k μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για λειτουργία απλού εκπομπού και για μικρά και μεγάλα SFN δίκτυα. Η 8k δίνει και το μεγαλύτερο μέγεθος SFN κυψέλης. Η επιλογή του διαστήματος φύλαξης αντιπροσωπεύει την ανταλλαγή μεταξύ χωρητικότητας και του μεγέθους της SFN κυψέλης.

#### 4.ΔΙΚΤΥΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ SFN,MFN

Το DVB-T υποστηρίζει δύο τύπους δικτύου εκπομπής, τους MFN και SFN. Τα δίκτυα MFN (Multi Frequency Network) ή Δίκτυα Πολλών Συχνοτήτων επιτρέπουν την εκπομπή ίδιων ή διαφορετικών προγραμμάτων ανά εκπομπό και σε διαφορετικές συχνότητες. Τα δίκτυα SFN (Single Frequency Network) ή Δίκτυα Κοινής Συχνότητας επιτρέπουν κατανομημένη εκπομπή του ίδιου προγράμματος από πολλούς πομπούς που λειτουργούν στην ίδια συχνότητα.

Η υλοποίηση δικτύων επίγειων ψηφιακών εκπομπών μπορεί να γίνει με:

- Δίκτυα MFN
- Δίκτυα SFN
- Συνδυασμό MFN – SFN
- Δίκτυα MFN με χρήση SFN gap-fillers
- Μικρά –dense- SFN Δίκτυα

Η τελική επιλογή είναι συνάρτηση των διαθέσιμων συχνοτήτων, της επιθυμητής κάλυψης, του αριθμού των multiplexers καθώς και των επιμέρους εθνικών στρατηγικών. Άλλωστε, η υποστήριξη των δύο αυτών τύπων δικτύου και των συνδυασμών τους συμβάλλουν στην εξάπλωση του DVB προτύπου έναντι των ανταγωνιστών του (ATSC – Αμερική, ISDB - Ιαπωνία) παγκοσμίως.

Στα δίκτυα MFN κάθε πομπός χρησιμοποιεί διαφορετική συχνότητα, ενεργεί ‘ανεξάρτητα’ και έχει την δικιά του περιοχή κάλυψης. Η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων είναι δυνατή για συγκεκριμένη απόσταση κατά περίπτωση, ενώ έχει ίδια φιλοσοφία δικτύου με την υπάρχουσα κατάσταση (αναλογική τηλεόραση). Κατά συνέπεια,

ένα μεγάλο μέρος του υπάρχοντος δικτύου μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί, ιδίως για σταθερή λήψη, και έτσι να διατηρηθεί μεγάλο μέρος του υπάρχοντος δικτύου αναλογικών εκπομπών για μεγάλο διάστημα.

Στα δίκτυα SFN όλοι οι πομποί στο δίκτυο χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα και συνεισφέρουν σε μία επιθυμητή περιοχή κάλυψης, δεν λειτουργούν ‘αυτόνομα’ και πρέπει να μεταφέρουν το ίδιο περιεχόμενο. Στην περιοχή κάλυψης πρέπει να είναι διαθέσιμη – ελεύθερη- η ίδια συχνότητα. Η υπάρχουσα υποδομή δικτύου αναλογικών εκπομπών μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλλά με την προσθήκη και νέων σταθμών. Η σωστή σχεδίαση SFN δικτύων δίνει πιο ομοιογενή κατανομή πεδίου για κινητή λήψη (portable & mobile)

Στο DVB-T υπάρχει η δυνατότητα χρήσης και των δύο τρόπων διάρθρωσης δικτύου, τα μικτά δίκτυα MFN-SFN. Η διάταξη έχει ως εξής: μέσα σε ένα δίκτυο κεντρικών σταθμών τύπου MFN, δευτερεύοντες σταθμοί μικρότερης ισχύος συμπληρώνουν την κάλυψη λειτουργώντας στην ίδια συχνότητα με τον κεντρικό σταθμό που ανήκουν. Η υλοποίηση γίνεται ποικιλοτρόπως και ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε χώρας. Με τη λύση αυτή ξεπερνώνται προβλήματα κάλυψης σε αρκετές περιπτώσεις, αφού είναι και οικονομικά και πρακτικά συμφέρουσα. Αυτό την κάνει την κυρίαρχη επιλογή σε όλη την Ευρώπη σήμερα. Το επικρατέστερο σενάριο υλοποίησης είναι να έχουμε δομή δικτύου MFN για εθνική κάλυψη και μικρότερες δομές SFN για τοπική κάλυψη.

Τα στοιχεία που διαφοροποιούν τα δίκτυα MFN και SFN είναι τα εξής:

Τα δίκτυα SFN έχουν αποτελεσματικότερη διαχείριση συχνοτήτων – εξοικονόμηση φάσματος. Με δυνατότητες διαμόρφωσης OFDM, στο δέκτη συνεισφέρουν επικοινωνητικά περισσότερα του ενός σήματα, που παράγουν ένα ‘Κέρδος Δικτύου’.

Η κατανομή σήματος είναι ομοιόμορφη στην περιοχή κάλυψης για τον ίδιο αριθμό πομπών και η συνολική ισχύς χαμηλότερη από ότι στα MFN. Το μειονέκτημά τους είναι ότι απαιτούν συγχρονισμό των πομπών και έχουν προβλήματα ενδοπαρεμβολής.

Τα δίκτυα MFN έχουν αυξημένη ισχύ σε σχέση με αναλογικά και SFN. Χρησιμοποιούνται πολλές συχνοότητες και καλύπτονται μεγάλες περιοχές. Έχουν παρόμοια κάλυψη με τα υπάρχοντα αναλογικά

δίκτυα και δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης υπάρχουσας υποδομής. Επίσης, ευνοούν τον τοπικό προγραμματισμό, ενώ δεν χρειάζονται συγχρονισμό των πομπών.

Παρόλο που στα δίκτυα MFN τα χαρακτηριστικά πλάτους και καθυστέρησης των αντηχήσεων σε κάθε περιοχή δε μπορούν να εκτιμηθούν από το σχεδιαστή, στα SFN τα χαρακτηριστικά των 'τεχνιτών' αντηχήσεων από τους διάφορους εκπομπούς μπορούν να εκτιμηθούν με πολύ καλή προσέγγιση. Κάθε συμβολή SFN επηρεάζεται επίσης από 'φυσικές αντηχήσεις' εξαιτίας ανακλάσεων στη διαδρομή διάδοσης. Επιπρόσθετα, η χωρική διασπορά εξαιτίας της παρουσίας πολυδίοδης διάδοσης ή SFN αντηχήσεων αυξάνει την πιθανότητα τουλάχιστον μία συμβολή να ξεπερνά το απαιτούμενο κατώφλι του δέκτη. Αυτό το στατιστικό κέρδος είναι πολύ σημαντικό σε παρεμποδιζόμενες περιοχές και μέσα στα SFN.

Τα δίκτυα που λειτουργούν σήμερα στην Ευρώπη αφορούν υλοποιήσεις κυρίως MFN με αμέσως συνηθέστερη επιλογή τα μεικτά δίκτυα: MFN σε συνδυασμό με μικρά SFN με τα εξής χαρακτηριστικά:

Αριθμός Multiplexers : 6

Σύστημα : OFDM 8k

Φάσμα συχνοτήτων : UHF

Guard Interval : 1/8

Διαμόρφωση : 64-QAM, με επόμενη την 16-QAM

ERP : 10 – 20 dB χαμηλότερη από τις αναλογικές

Ο σχεδιασμός των δικτύων γίνεται σε τρία επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο σχεδιασμού καθορίζεται το είδος υπηρεσίας: DVB-T, το είδος λήψης: σταθερή ή φορητή ή κινητή, το ποσοστό κάλυψης: ολική ή αστική ή τοπική και τα υφιστάμενα ή μελλοντικά δίκτυα που θα προστατευθούν. Στο δεύτερο επίπεδο σχεδιασμού καθορίζονται τα χαρακτηριστικά του DVB

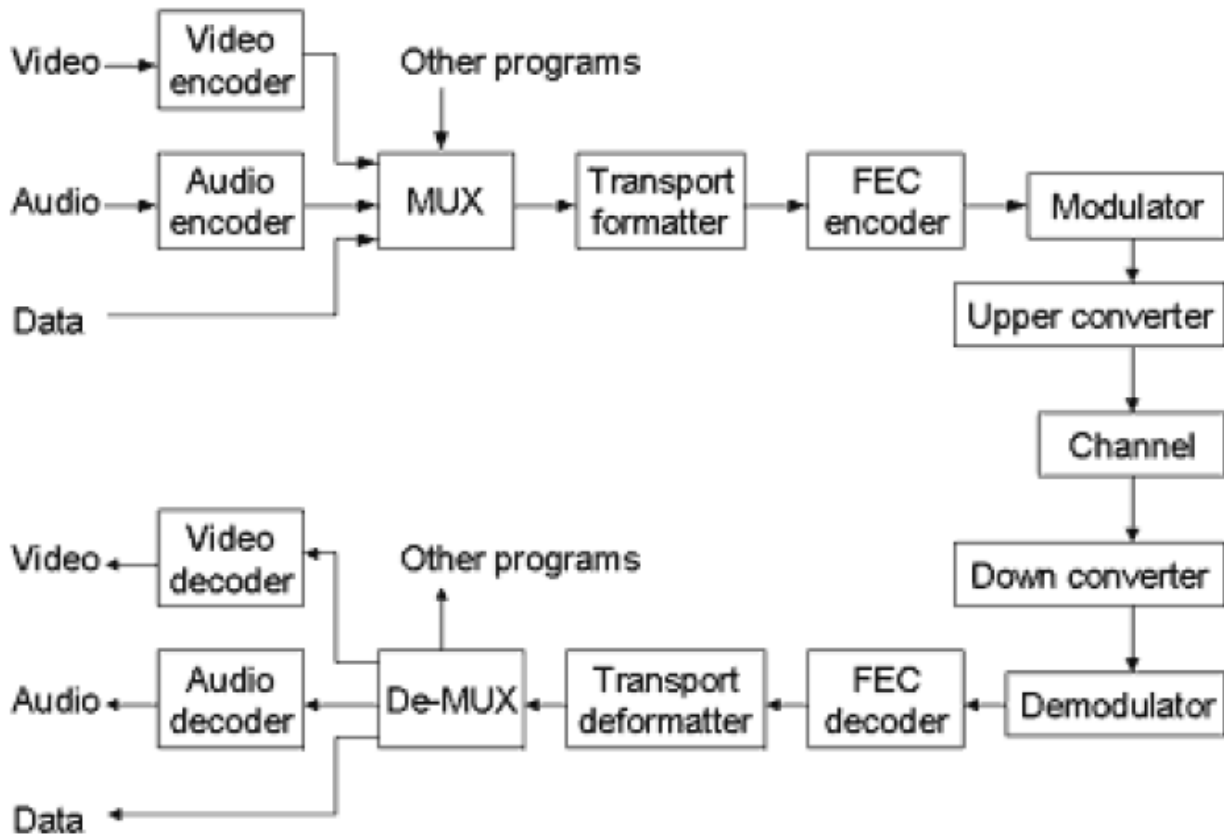
– T, τα χαρακτηριστικά του δικτύου: κεραιές, αποστάσεις σταθμών. Στο τρίτο επίπεδο σχεδιασμού αποφασίζεται το είδος των δικτύων που θα υλοποιηθούν: MFN/SFN.

Στο σχεδιασμό δικτύων SFN υπάρχουν κάποιοι παράγοντες διαφοροποίησης ως προς τα δίκτυα MFN και τα υφιστάμενα αναλογικά. Το προκύπτον κέρδος δικτύου είναι στατιστικό – προσθετικό και μπορεί να φτάσει και τα 12db για κάλυψη από τρεις πομπούς. Οι θέσεις των σταθμών και η ενδογενής παρεμβολή είναι σε αλληλεξάρτηση με το επιλεγμένο διάστημα φύλαξης GI. Για να μειωθεί επαρκώς η ενδογενής παρεμβολή, που καθορίζει το μέγιστο μέγεθος για την περιοχή κάλυψης, η επιλογή του GI πρέπει να επιτρέπει στο σήμα να μεταδοθεί μεταξύ δύο γειτονικών σταθμών.

## 5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εν κατακλείδι, θα λέγαμε ότι τα δίκτυα ψηφιακής τηλεόρασης εκμεταλλευόμενα την ανάπτυξη της ψηφιακής τεχνολογίας έχουν υπερκεράσει κατά πολύ αυτά της αναλογικής. Τα βήματα κωδικοποίησης και μετάδοσης του σήματος που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες δίνουν τη δυνατότητα για αντιμετώπιση πολλών και σημαντικών προβλημάτων που παρουσιάζονταν στην αναλογική (π.χ διαλλείψεις πολλαπλών διαδρομών) ενώ παράλληλα δίνουν τη δυνατότητα για επίτευξη υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης, καλύτερη διαχείριση φάσματος, καλύτερη ποιότητα εικόνας και φυσικά την εισαγωγή νέων διαδραστικών εφαρμογών. Συνοψίζοντας, στην εικόνα 2 παρουσιάζεται το διάγραμμα του DVB-T που περιγράφει όλη τη διαδικασία και το ταξίδι του ψηφιακού σήματος από τη δημιουργία μέχρι και την εκπομπή του.





Εικ.2 Διάγραμμα προτύπου DVB-T

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Marcos Tejedor Alonso, “Digital TV: fixed and mobile standards”, May 2010

[2] Sonja Grgić, Mislav Grgić, Branka Zovko-Cihlar, “*Digital Television Transmission and Broadband Network Technologies*”

[3] Thomas Kleffel, Christian Daniel “From Pixeldata to COFDM \_ DVB inside”, November 2006”

[4] Mark. S. Richer, Tom Gurley, Glenn Reitmeier, Graham. A. Jones, Jerry Whitaker, Robert Rast, “The ATSC Digital Television System” Proceedings Of The IEEE, Vol. 94, No. 1, January 2006

## ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

[1] <http://en.wikipedia.org/wiki/DVB-T>

[2] <http://www.dvb.org>