

ΕΠΙΓΕΙΑ ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Η ψηφιακή τηλεόραση (*Digital Television, DTV*) έκανε την εμφάνισή της στις αρχές της δεκαετίας του 90. Μέχρι τότε είχαν αναπτυχθεί αρκετοί αλγόριθμοι συμπίεσης βίντεο, που οδήγησαν αργότερα στα πρότυπα MPEG για κινούμενες εικόνες (βίντεο). Η υψηλή συμπίεση που επιτεύχθηκε αποτέλεσε τον κύριο λόγο που οδήγησε στην ύπαρξη της ψηφιακής τηλεόρασης, επειδή έτσι λύνονταν όλα τα προβλήματα της μετάδοσης του ψηφιακού βίντεο, μειώνοντας την ποσότητα των ψηφιακών δεδομένων που είναι αναγκαία για τη μετάδοση. Το πρώτο κανάλι ψηφιακής τηλεόρασης ξεκίνησε να εκπέμπει το 1994 στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και χαρακτηρίστηκε από μεγάλη επιτυχία. Στην Ευρώπη το 1991 ξεκίνησε η συζήτηση για να βρεθούν πρότυπα και συμφωνίες ανάμεσα στις χώρες για το σύστημα μετάδοσης της ψηφιακής τηλεόρασης. Η πρώτη ψηφιακή μετάδοση έγινε το 1998 στο Ηνωμένο Βασίλειο. Από τότε οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης σταδιακά εγκαταλείπουν την αναλογική τηλεόραση και εισάγουν την ψηφιακή μετάδοση με διαφορετικούς ρυθμούς η καθεμία. Μέχρι το 2012 όλα τα κράτη μέλη της πρέπει

να έχουν περάσει από την αναλογική μετάδοση στην ψηφιακή μετάδοση.

2.2 Συμπίεση

Η συμπίεση ή αλλιώς κωδικοποίηση πηγής (*source coding*) περιλαμβάνει όλες τις τεχνικές για συμπίεση βίντεο και ήχου. Ο κύριος στόχος είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση του ρυθμού μετάδοσης bits (σε Megabits per second, Mbps) που χρειάζεται για να μεταδοθούν κινούμενες εικόνες μιας δεδομένης ανάλυσης και ο ήχος που σχετίζεται με αυτές με τη μικρότερη δυνατή επίπτωση στην ποιότητά τους, όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από τον θεατή.

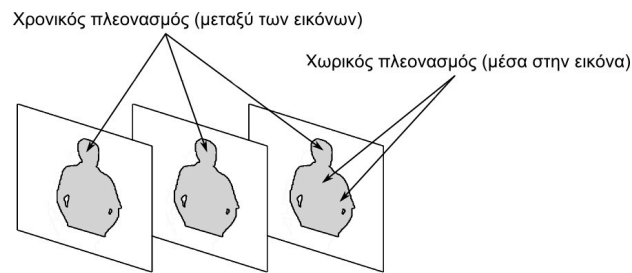
Γενικά, οι αλγόριθμοι συμπίεσης δεδομένων εκμεταλλεύονται τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Ο χωρικός πλεονασμός (*spatial redundancy*) κινούμενης και ακίνητης εικόνας, που αναφέρεται στη συσχέτιση των γειτονικών εικονοστοιχείων, δηλαδή γειτονικά pixels έχουν παρόμοιες φωτεινότητες και χρωματικότητες, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2.1, για pixel που αφορούν γειτονικές περιοχές των ρούχων ενός ανθρώπου.
- Υψηλός χρονικός πλεονασμός (*temporal redundancy*) ανάμεσα σε διαδοχικά πλαίσια βίντεο της ίδιας σκηνής στην περίπτωση κινούμενης εικόνας. Είναι συνηθισμένο για το περιεχόμενο της σκηνής να παραμένει σταθερό ή να αλλάζει μόνο ελάχιστα ανάμεσα σε διαδοχικά πλαίσια όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2.1.
- Χαρακτηριστικά της ανθρώπινης οπτικής αντίληψης, όπως η έλλειψη ευαισθησίας του ανθρώπινου ματιού σε μικρές λεπτομέρειες σε ακίνητες εικόνες.
- Χαρακτηριστικά της ανθρώπινης ακουστικής αντίληψης, που κάνουν μη ακουστά τμήματα της ηχητικής πληροφορίας.

2.2.1 Πρότυπο MPEG-2

2.2.1.1 Εισαγωγή

Για να αποθηκευτούν και να αναπαραχθούν κινούμενες εικόνες και ο ήχος τους σε ψηφιακή μορφή, πολλοί ειδικοί από διάφορους τομείς δημιούργησαν το 1990 μια ομάδα εμπειρογνομόνων με την ονομασία *MPEG*



Σχήμα 2.2.1: Ορισμός του χωρικού και χρονικού πλεονασμού στο βίντεο.

(*Moving Pictures Experts Group*). Το πρώτο πρότυπο που δημιουργήθηκε από αυτήν την ομάδα ήταν το MPEG-1 το 1992, που είχε ως στόχο να αποθηκεύσει ζωντανό βίντεο και στερεοφωνικό ήχο σε ένα CD-ROM, πράγμα που σημαίνει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης 1.5 Mbps. Αμέσως μετά, ένα νέο πρότυπο εμφανίστηκε, το MPEG-2, το οποίο προσφέρει πολύ υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης, από 1.5 έως 15 Mbps. Είναι το πρότυπο κωδικοποίησης πηγής που χρησιμοποιείται από το Ευρωπαϊκό σύστημα ψηφιακής τηλεόρασης DVB (*Digital Video Broadcasting*).

Μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά του MPEG-2 είναι τα ακόλουθα:

- η συμπίεση βίντεο είναι προς τα πίσω συμβατή με το MPEG-1,
- υποστηρίζει διαπλεκόμενο και προοδευτικό βίντεο,
- προσφέρει βελτιωμένη συμπίεση ήχου (υψηλή ποιότητα, mono, stereo κι άλλα χαρακτηριστικά ήχου),
- διαθέτει πολύπλεξη μεταφοράς (συνδυάζοντας διαφορετικές MPEG ροές σε μία μοναδική ροή μετάδοσης),
- προσφέρει άλλες υπηρεσίες (π.χ. γραφική αλληλεπίδραση, κρυπτογραφημένη μετάδοση δεδομένων).

Η κύρια και η πιο σύνθετη λειτουργία στο σύστημα κωδικοποιητή MPEG είναι αυτή του εκτιμητή κίνησης. Λαμβάνοντας υπόψη την ισχυρή χρονική συσχέτιση ανάμεσα στις διαδοχικές εικόνες του βίντεο, το ποσό της πληροφορίας που απαιτείται για να μεταδοθεί και να αποθηκευτεί το βίντεο, μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας εκτίμηση κίνησης

(motion estimation). Υπάρχουν, λοιπόν, τεχνικές εκτίμησης κίνησης που αντλούν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες για μια εικόνα από προηγούμενες και επόμενες εικόνες και την αναπαριστούν με λίγη επιπλέον πληροφορία που αφορά τις διαφορές ανάμεσα στην τρέχουσα και τις προηγούμενες ή/και επόμενες εικόνες αναφοράς. Η εκτίμηση κίνησης δεν χρειάζεται στη διαδικασία του αποκωδικοποιητή βίντεο.

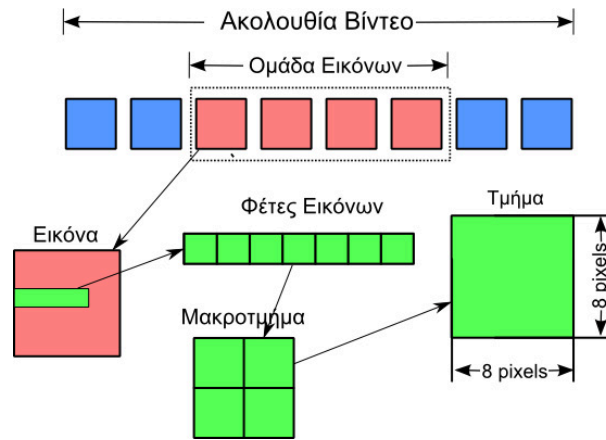
2.2.1.2 Βασικά χαρακτηριστικά του MPEG-2

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζουμε με περισσότερη λεπτομέρεια το πρότυπο MPEG-2, γιατί είναι ο πυρήνας πολλών συστημάτων ψηφιακής τηλεόρασης. Το πρότυπο MPEG-2 χρησιμοποιείται ευρύτατα σαν πρότυπο των ψηφιακών σημάτων τηλεόρασης, τα οποία μεταδίδονται μέσω επίγειων ή καλωδιακών συστημάτων. Επίσης αποτελεί το πρότυπο συμπίεσης των κινηματογραφικών ταινιών και λοιπού οπτικοακουστικού υλικού που διανέμονται σε DVD. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι δέκτες τηλεόρασης, οι συσκευές DVD καθώς και άλλος εξοπλισμός να σχεδιάζονται ώστε να είναι συμβατά με αυτό το πρότυπο. Το πρότυπο MPEG-2 αποτελείται από τέσσερα μέρη:

Μέρος 1. Είναι το μέρος των συστημάτων του MPEG-2 το οποίο προδιαγράφει το στρώμα κωδικοποίησης. Καθορίζει μια πολυπλεγμένη δομή για το συνδυασμό δεδομένων ήχου και βίντεο, καθώς και μέσα αναπαράστασης της χρονικής πληροφορίας που απαιτούνται για την επανάληψη συγχρονισμένων ακολουθιών σε πραγματικό χρόνο. Αυτό το μέρος προδιαγράφει δύο ακολουθίες. Η μία είναι η ακολουθία μεταφοράς (Transport Stream), η οποία είναι σχεδιασμένη για μεταφορά ήχου και βίντεο πάνω σε απωλεστικά (lossy) μέσα. Η άλλη είναι η ροή προγράμματος (Program Stream), η οποία είναι σχεδιασμένη για αξιόπιστα μέσα.

Μέρος 2. Είναι το μέρος του προτύπου, το οποίο καθορίζει την κωδικοποιημένη αναπαράσταση των δεδομένων βίντεο, καθώς και τη διαδικασία αποκωδικοποίησης για την ανακατασκευή των εικόνων. Το τμήμα αυτό παρέχει υποστήριξη για διαπλεκόμενο βίντεο, το οποίο χρησιμοποιείται στις αναλογικές τηλεοράσεις. Όλοι οι MPEG-2 αποκωδικοποιητές είναι ικανοί να αναπαράγουν και MPEG-1 ακολουθίες βίντεο.

Μέρος 3. Αφορά τον ήχο και καθορίζει την κωδικοποιημένη αναπαράσταση των ηχητικών δεδομένων. Επιτρέπει την κωδικοποίηση



Σχήμα 2.2.2: Ιεραρχία δομής βίντεο στο MPEG-2.

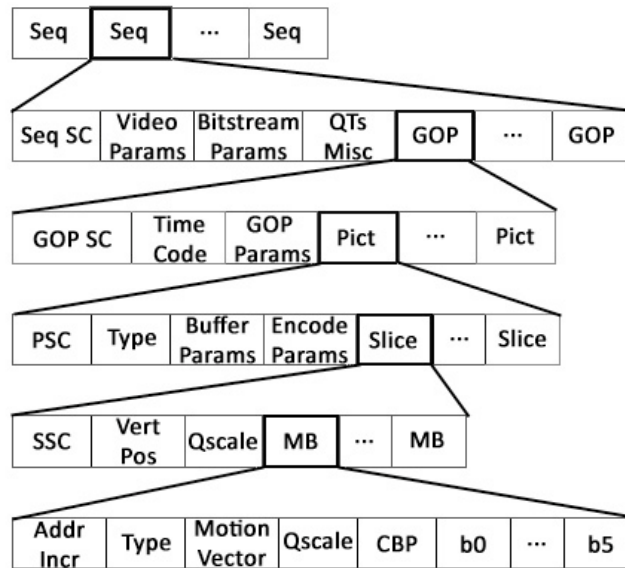
ηχητικής πληροφορίας με περισσότερα από δύο κανάλια ήχου. Αυτή η μέθοδος είναι συμβατή προς τα πίσω, επιτρέποντας τους ηχητικούς αποκωδικοποιητές MPEG-1 να αποκωδικοποιούν τα δύο πρώτα κανάλια της ηχητικής αναπαράστασης.

Μέρος 4. Αυτό το μέρος αποτελεί το τεστ συμφωνίας του προτύπου με τις προδιαγραφές του.

2.2.1.3 Ιεραρχία ροής δεδομένων βίντεο στο πρότυπο MPEG-2

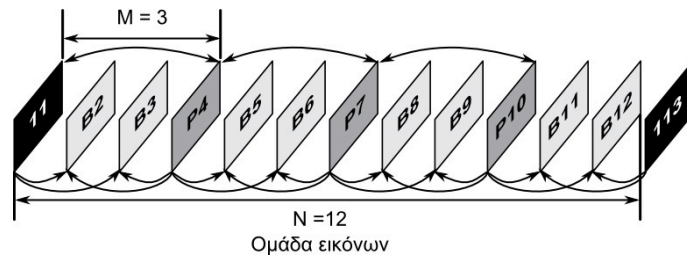
Στο σχήμα 2.2.2 παρατηρούμε μια ακολουθία ψηφιακού βίντεο, καθώς και τα βασικά της στοιχεία. Η ακολουθία αυτή ξεκινάει με μία επικεφαλίδα, περιλαμβάνει μία ή περισσότερες Ομάδες Εικόνων (Group of Pictures, GOP) και τελειώνει με έναν κώδικα τέλους.

Σύμφωνα με τα σχήματα 2.2.2, 2.2.3 που περιγράφουν την ιεραρχία της ροής δεδομένων βίντεο, παρατηρούμε ότι μια ροή bit αποτελείται από 4 στρώματα: *Ομάδες Εικόνων (Group of Pictures, GOP)*, *Εικόνες (Pictures)*, *Φέτες Εικόνων (slices)*, *Μακροτμήματα (Macroblock)*, *Τμήματα (block)*. Μια Ομάδα Εικόνων (GOP) αποτελείται από μια επικεφαλίδα και μια σειρά από μία ή περισσότερες Εικόνες που επιτρέπει τυχαία πρόσβαση στην ακολουθία. Η Εικόνα είναι η βασική μονάδα κωδικοποίησης σε μια ακολουθία βίντεο. Η Εικόνα αποτελείται από τρεις πίνακες οι οποίοι αναπαριστούν τη φωτεινότητα Y και τις χρωματικότητες C_r και C_b . Ο πίνακας Y έχει άρτιο αριθμό γραμμών και στηλών.



Σχήμα 2.2.3: Ιεραρχία της ροής δεδομένων βίντεο.

Οι πίνακες C_r και C_b έχουν το μισό μέγεθος του πίνακα Y σε κάθε διεύθυνση (οριζόντια και κάθετη). Η Φέτα Εικόνας αποτελείται από ένα ή περισσότερα συνεχόμενα Μακροτμήματα. Η σειρά των Μακροτμημάτων σε μια Φέτα Εικόνας είναι από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω. Οι Φέτες Εικόνας είναι σημαντικές στη διαχείριση σφαλμάτων μετάδοσης του βίντεο. Εάν η ροή bit περιέχει λάθος, ο αποκωδικοποιητής μπορεί να προσπεράσει την τρέχουσα Φέτα Εικόνας και να συνεχίσει από την αρχή της επόμενης Φέτας. Η ύπαρξη περισσότερων Φετών Εικόνας προσφέρει καλύτερη απόκρυψη των λαθών. Τα Μακροτμήματα είναι η βασική μονάδα κωδικοποίησης στον αλγόριθμο MPEG-2. Η εκτίμηση κίνησης γίνεται σε επίπεδο Μακροτμήματος (και μετά χρησιμοποιείται στα Τμήματά του). Είναι ένα τμήμα 16×16 pixels σε ένα πλαίσιο βίντεο. Αφού κάθε συστατικό χρωματικότητας έχει τη μισή οριζόντια και κάθετη ανάλυση ενός συστατικού φωτεινότητας, τότε ένα Μακροτμήμα αποτελείται από τέσσερα τμήματα Y , ένα τμήμα C_r και ένα τμήμα C_b . Το Τμήμα (block) είναι το μικρότερο κομμάτι εικόνας του οποίου τα pixel κωδικοποιούνται από κοινού. Αποτελείται από 8×8 pixels και μπορεί να είναι τριών τύπων: φωτεινότητας Y , χρωματικότητας C_r ή χρωματικότητας C_b .



Σχήμα 2.2.4: Τύποι κωδικοποίησης εικόνων MPEG.

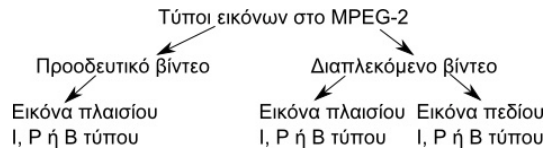
2.2.1.4 Τύποι εικόνων στον MPEG-2

Υπάρχουν τρία είδη εικόνων (πλαισίων βίντεο) που ορίζονται από το MPEG:

- I (*Intra pictures*). Είναι οι εικόνες που κωδικοποιούνται ανεξάρτητα από οποιοδήποτε άλλη εικόνα βίντεο. Είναι το κύριο σημείο εισόδου για πρόσβαση σε μία ακολουθία βίντεο κι αποτελούν τη βάση για την κωδικοποίηση άλλων πλαισίων. Για αυτό το λόγο το ποσοστό συμπίεσής τους είναι χαμηλό.
- P (*Predicted pictures*). Αυτές οι εικόνες κωδικοποιούνται με πρόβλεψη από τις προηγούμενες I ή P εικόνες. Μια P εικόνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει μια ακόλουθη P εικόνα. Το ποσοστό συμπίεσής τους είναι υψηλότερο από αυτό των I εικόνων.
- B (*Bi-directionally predicted pictures*). Είναι κωδικοποιημένες με αμφίδρομη παρεμβολή ανάμεσα σε στην I ή P εικόνα που προηγείται ή έπεται αυτών αντίστοιχα. Έχουν το υψηλότερο ποσοστό συμπίεσης.

Στο σχήμα 2.2.4 φαίνεται μια Ομάδα Εικόνων MPEG (GOP Group of Pictures). $M = 3$ είναι η απόσταση πλαισίου ανάμεσα σε δύο διαδοχικές P εικόνες και $N = 12$ είναι η απόσταση πλαισίου ανάμεσα σε δύο διαδοχικές I εικόνες. Η ροή bit που παράγεται από τον κωδικοποιητή βίντεο ή ήχου ονομάζεται Στοιχειώδης Ροή (Elementary Stream, ES).

Το πρότυπο MPEG-2 υποστηρίζει κωδικοποίηση και προοδευτικού και διαπλεκόμενου βίντεο, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2.5. Έτσι εξασφαλίζεται συμβατότητα προς τα πίσω με τα παλιά αρχεία αναλογικού τηλεοπτικού υλικού που περιέχουν κυρίως διαπλεκόμενο αναλογικό βίντεο NTSC ή PAL/SECAM και έχουν ήδη ψηφιοποιηθεί ή πρόκειται να ψηφιοποιηθούν.

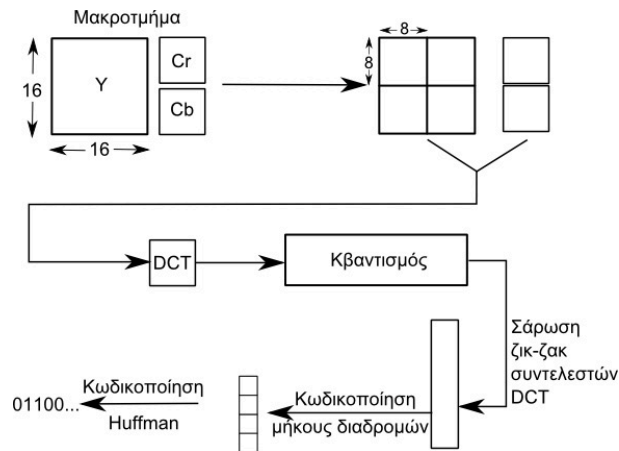


Σχήμα 2.2.5: Τύποι εικόνων προοδευτικού/πεπλεγμένου βίντεο στο MPEG-2.

2.2.1.5 Κωδικοποίηση εικόνων τύπου I

Ο αλγόριθμος συμπίεσης MPEG-2 για τις I εικόνες περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα, που φαίνονται στο σχήμα 2.2.6:

- Διακριτό μετασχηματισμό συνημίτονων (DCT).
- Κβαντισμό.
- Κωδικοποίηση μήκους διαδρομών (run length).
- Κωδικοποίηση Huffman.



Σχήμα 2.2.6: : Κωδικοποίηση εικόνων τύπου I.

Τα τμήματα της εικόνας έχουν μεγάλο χωρικό πλεονασμό (δηλαδή τα γειτονικά pixels έχουν παρόμοιες φωτεινότητες). Για τη μείωση αυτού του πλεονασμού, ο αλγόριθμος MPEG-2 μετασχηματίζει τα Τμήματα εικόνας μεγέθους 8×8 pixels από το πεδίο του χώρου (x, y) στο πεδίο της «συχνότητας» χρησιμοποιώντας το Διακριτό Μετασχηματισμό Συνημιτόνων (*Discrete Cosine Transform, DCT*). Οι συντελε-

Πίνακας 2.2.1: Πίνακας κβάντισης των συντελεστών DCT.

8	16	19	22	26	27	29	34
16	16	22	24	27	29	34	37
19	22	26	27	29	34	34	38
22	22	26	27	29	34	37	40
22	26	27	29	32	35	40	48
26	27	29	32	35	40	48	58
26	27	29	34	38	46	56	69
27	29	35	38	46	56	69	83

στές DCT χωρίζονται στον DC όρο, που είναι ίσος με τη μέση φωτεινότητα του Τμήματος και τους λοιπούς AC όρους. Η ισχύς του σήματος μαζεύεται σε λίγους συντελεστές DCT, που είναι συνήθως κοντά στον DC όρο, τους οποίους και κβαντίζουμε αναπαριστώντας τον με μεγαλύτερο αριθμό bits, αντιστρόφως ανάλογα με τον συντελεστή κβάντισης που χρησιμοποιούμε. Ένας πίνακας συντελεστών κβαντισμού φαίνεται στον Πίνακα 2.2.1. Οι χαμηλές συχνότητες βρίσκονται κοντά στην πάνω αριστερά γωνία του μετασχηματισμένου τμήματος μεγέθους 8×8 . Στην περιοχή αυτή έχουμε και τη συγκέντρωση του μεγαλύτερου μέρους της εικονικής πληροφορίας. Για το λόγο αυτό εκεί χρησιμοποιούμε χαμηλούς συντελεστές κβαντισμού. Βλέπουμε ότι κβαντίζονται έντονα οι συντελεστές DCT που αντιστοιχούν στις υψηλότερες συχνότητες. Ο συνδυασμός του DCT και της κβάντισης έχει ως αποτέλεσμα πολλοί από τους συντελεστές DCT να είναι μηδενικοί, ειδικά οι συντελεστές υψηλών χωρικών συχνοτήτων όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2.7. Γι' αυτό οργανώνονται σε μια ζιγ-ζαγ σειρά ώστε να παραχθούν μεγάλες ουρές από μηδενικά. Έπειτα αυτοί οι συντελεστές μετατρέπονται σε μια σειρά ζευγών μεταβλητού πλήθους, όπου το κάθε ζεύγος δείχνει τον αριθμό των μηδενικών συντελεστών καθώς και την τιμή του επόμενου μηδενικού συντελεστή. Αυτά τα ζεύγη κωδικοποιούνται με κώδικα μεταβλητού μήκους (Huffman coding), ο οποίος χρησιμοποιεί μικρότερους κώδικες για συχνά εμφανιζόμενα ζεύγη και μεγαλύτερους κώδικες για σπάνια εμφανιζόμενα ζεύγη.

Κάποια Τμήματα εικόνας απαιτείται να κωδικοποιηθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια από κάποια άλλα. Για παράδειγμα, τμήματα με ομαλές φωτεινότητες απαιτούν ακριβή κωδικοποίηση για να αποφευχθούν ορατά ψευδοπεριγράμματα. Ο MPEG αντιμετωπίζει αυτό το φαινόμενο με το να επιτρέπει να μεταβάλλεται το ποσό κβάντισης για κάθε Μακροτμήμα.

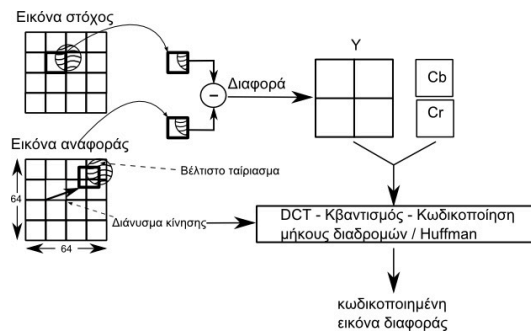
4	→	0	→	0	→	0	0	0	0
2	↘	1	↘	0	↘	0	0	0	0
0	↓	1	↓	0	↓	0	0	0	0
0	↙	0	↙	0	↙	0	0	0	0
1		0		0		0	0	0	0
0		0		0		0	0	0	0
0		0		0		0	0	0	0
0		0		0		0	0	0	0

Σχήμα 2.2.7: Σάρωση zig-zag των κβαντισμένων συντελεστών DCT.

Αυτός ο μηχανισμός μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για παροχή ομαλής προσαρμογής της κωδικοποίησης σε συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης.

2.2.1.6 Κωδικοποίηση εικόνων τύπου P

Μία εικόνα τύπου P κωδικοποιείται λαμβάνοντας υπόψη μια προηγούμενη εικόνα (εικόνα αναφοράς), η οποία είναι τύπου I ή τύπου P. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.2.8, το έντονο τμήμα στην εικόνα στόχο (αυτή που πρόκειται να κωδικοποιηθεί) είναι παρόμοιο με την εικόνα αναφοράς, και ταυτόχρονα είναι μετατοπισμένο προς τα πάνω και δεξιά. Αυτό συμβαίνει, γιατί οι περισσότερες αλλαγές ανάμεσα στις δυο εικόνες μπορούν να προσεγγιστούν σαν μετατόπιση τέτοιων μικρών περιοχών. Γι' αυτό χρησιμοποιείται μια τεχνική που ονομάζεται *πρόβλεψη με αντιστάθμιση κίνησης*.



Σχήμα 2.2.8: Κωδικοποίηση εικόνων τύπου P.

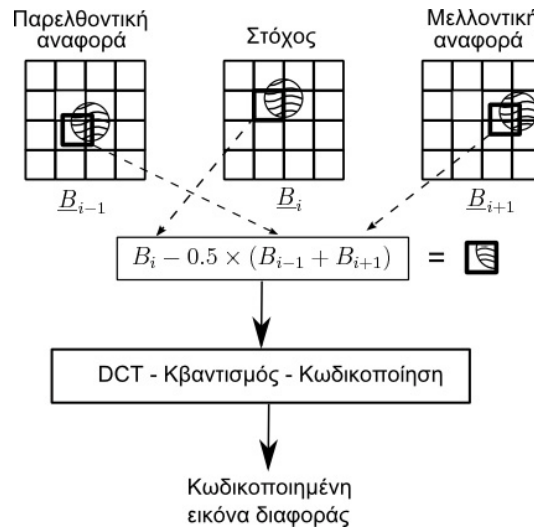
Η πρόβλεψη αυτή εκμεταλλεύεται τον χρονικό πλεονασμό που υπάρχει στο βίντεο. Σε πλαίσια που είναι χρονικά στενά συσχετισμένα, είναι δυνατή η ακριβής πρόβλεψη ή αναπαράσταση των δεδομένων του ενός

πλαίσιου βάσει των δεδομένων της εικόνας αναφοράς, με την προϋπόθεση ότι η μετατόπιση των τμημάτων έχει εκτιμηθεί σωστά μέσω εκτίμησης κίνησης. Η διαδικασία της πρόβλεψης οδηγεί σε σημαντική μείωση του αριθμού των bits κατά την συμπύεση. Στις εικόνες τύπου P, κάθε Μακροτμήμα 16×16 εκτιμάται από ένα Μακροτμήμα μιας προηγούμενης κωδικοποιημένης εικόνας τύπου I. Μια αναζήτηση εκτελείται στο πλαίσιο αναφοράς τύπου I για να βρεθεί το Μακροτμήμα που ταιριάζει στενά με το υπό εξέταση Μακροτμήμα στο πλαίσιο τύπου P. Η διαφορά ανάμεσα σε δύο ταιριασμένα Τμήματα είναι το σφάλμα πρόβλεψης (prediction error) ή διαφορά μετατοπισμένου πλαισίου (*Displaced Frame Difference, DFD*). Αυτό το σφάλμα μπορεί να κωδικοποιηθεί στο πεδίο του μετασχηματισμού DCT. Ο DCT του σφάλματος πρόβλεψης οδηγεί σε λίγους μη μηδενικούς συντελεστές, οι οποίοι μετά τη φάση του κβαντισμού, απαιτούν έναν πολύ μικρό αριθμό bits για να αναπαρασταθούν. Τέλος, για περαιτέρω συμπύεση χρησιμοποιείται κωδικοποίηση μήκους διαδρομών (run-length) και Huffman. Οι πίνακες κβάντισης για τα τμήματα της πρόβλεψης λαθών είναι διαφορετικοί από αυτούς που χρησιμοποιούνται στα intra Τμήματα, λόγω της διαφορετικής φύσης του φάσματος στις δύο αυτές περιπτώσεις. Οι μετατοπίσεις κατά την οριζόντια x και την κατακόρυφη y κατεύθυνση ανάμεσα στα δυο Μακροτμήματα σχηματίζουν τα διανύσματα κίνησης. Για τα διανύσματα αυτά, χρησιμοποιείται διαφορική κωδικοποίηση, η οποία μειώνει το συνολικό αριθμό bits που απαιτούνται, μεταδίδοντας μόνο τη διαφορά ανάμεσα στα διανύσματα κίνησης σε συνεχόμενα Μακροτμήματα.

2.2.1.7 Κωδικοποίηση τύπου B

Σε ορισμένες εικόνες (πλαίσια βίντεο) υπάρχει πληροφορία η οποία δεν ευρίσκεται σε εικόνα αναφοράς του παρελθόντος (π.χ. όταν ένα καινούργιο αντικείμενο μπαίνει στο πλαίσιο). Έτσι η εικόνα τύπου B κωδικοποιείται σαν τις εικόνες τύπου P, εκτός από το ότι τα διανύσματα κίνησης μπορούν να αναφέρονται είτε σε προηγούμενες εικόνες αναφοράς, είτε σε επόμενες, είτε και στις δύο. Στο σχήμα 2.2.9 παρουσιάζεται ο μηχανισμός κωδικοποίησης των εικόνων τύπου B.

Αν παίρνουμε πληροφορίες και από εικόνα αναφοράς του παρελθόντος και από εικόνα αναφοράς του μέλλοντος, τότε το σφάλμα πρόβλεψης βγαίνει αφαιρώντας από το τρέχον Τμήμα το ημιάθροισμα των αντίστοιχων Τμημάτων, έτσι όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2.9. Κατά τα λοιπά, ακολουθεί συμπύεση του σφάλματος πρόβλεψης παρόμοια με αυτή της



Σχήμα 2.2.9: Κωδικοποίηση εικόνων τύπου B.

κωδικοποίησης των P εικόνων.

2.2.1.8 Προφίλ και επίπεδα

Το MPEG-2 έχει σχεδιαστεί ώστε να υποστηρίζει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών και υπηρεσιών διαφορετικής ποιότητας. Για πολλές εφαρμογές είναι μη ρεαλιστική και πολύ ακριβή η υποστήριξη ολόκληρου του προτύπου. Το πρότυπο αυτό καθορίζει *προφίλ* και *επίπεδα* ώστε να επιτρέπεται στις εφαρμογές αυτές να υποστηρίζουν υποσύνολα του προτύπου. Το προφίλ καθορίζει τα υποσύνολα των χαρακτηριστικών, όπως για παράδειγμα τον αλγόριθμο συμπίεσης, την ανάλυση χρώματος και την *διαβαθμισιμότητα* (*scalability*). Το επίπεδο καθορίζει το υποσύνολο των ποσοτικών δυνατοτήτων, όπως, για παράδειγμα το μέγιστο ρυθμό bit και την ανάλυση της εικόνας. Έπειτα μια εφαρμογή MPEG καθορίζει τις δυνατότητες συμπίεσης σε όρους προφίλ και επιπέδου. Για παράδειγμα, μια συσκευή DVD μπορεί να υποστηρίζει μόνο κυρίως προφίλ και κυρίως επίπεδο (συχνά γράφεται και ως MP@ML). Τα προφίλ και τα επίπεδα του MPEG-2 φαίνονται στους Πίνακες 2.2.2 και 2.2.3.

2.2.1.9 Μέθοδοι διαβαθμισιμότητας

Η *διαβαθμισιμότητα* (*scalability*) αναφέρεται στη δυνατότητα αποκωδικοποίησης μόνον ενός ορισμένου μέρους της ροής bit για την απόκτηση

Πίνακας 2.2.2: Προφίλ MPEG-2.

Συντομο- γραφία	Όνομα	Τύποι εικόνων	Τύπος χρώμα- τος	Αναλογία πλευρών	Μέθοδος διαβαθμι- σιμότητας
SP	Απλό προφίλ	I, P	4:2:0	τετράγωνα pixels, 4:3, ή 16:9	Καμία
MP	Κυρίως προφίλ	I, P, B	4:2:0	τετράγωνα pixels, 4:3, ή 16:9	Καμία
SNR	SNR διαβαθμισίμο προφίλ	I, P, B	4:2:0	τετράγωνα pixels, 4:3, ή 16:9	SNR
Spatial	Χωρικά διαβαθμισίμο προφίλ	I, P, B	4:2:0	τετράγωνα pixels, 4:3, ή 16:9	SNR ή χωρική
HP	Υψηλό προφίλ	I, P, B	4:2:2 ή 4:2:0	τετράγωνα pixels, 4:3, ή 16:9	SNR ή χωρική

βίντεο στην επιθυμητή χωροχρονική ανάλυση. Υποτίθεται ότι αποκωδικοποιητές με διαφορετικές πολυπλοκότητες μπορούν να αποκωδικοποιήσουν και να προβάλλουν βίντεο σε διαφορετικές χωροχρονικές αναλύσεις από την ίδια ροή bit. Το ελάχιστο αποκωδικοποιήσιμο υποσύνολο της ροής bit καλείται *επίπεδο βάσης (base layer)*. Όλα τα άλλα επίπεδα είναι επίπεδα επαύξησης, τα οποία βελτιώνουν την ανάλυση του βίντεο του επιπέδου βάσης. Η MPEG-2 σύνταξη επιτρέπει δύο ή τρία επίπεδα βίντεο. Υπάρχουν διάφορες μορφές διαβαθμισιμότητας:

- Η *χωρική διαβαθμισιμότητα* παρέχει τη δυνατότητα για αποκωδικοποίηση βίντεο σε διαφορετικές χωρικές αναλύσεις, χωρίς πρώτα να αποκωδικοποιείται και μετά να υποδειγματοληπτείται ολόκληρο το πλαίσιο. Το επίπεδο βάσης είναι μια έκδοση χαμηλής χωρικής ανάλυσης του βίντεο. Τα επίπεδα επαύξησης περιέχουν διαδοχικά υψηλότερης συχνότητας πληροφορία. Το MPEG-2 χρησιμοποιεί μια πυραμιδική προσέγγιση κωδικοποίησης. Το βίντεο επιπέδου βάσης αποκτάται υποδειγματοληπτώντας την αρχική είσοδο βίντεο. Το επίπεδο επαύξησης είναι η διαφορά του πραγματικού βίντεο εισόδου και της έκδοσης του βίντεο επιπέδου βάσης μετά από παρεμβολή.
- Η *διαβαθμισιμότητα SNR* προσφέρει δυνατότητα αποκωδικοποίησης χρησιμοποιώντας διαφορετικά μεγέθη βήματος κβάντισης για τους DCT συντελεστές. Το βίντεο επιπέδου βάσης αποκτάται χρι-

Πίνακας 2.2.3: MPEG επίπεδα.

Συντομογραφία	Όνομα	Ρυθμός πλαισίου (Hz)	Μέγιστη οριζόντια ανάλυση	Μέγιστη κάθετη ανάλυση	Μέγιστος ρυθμός bit (Mbit/s)
LL	Χαμηλό επίπεδο	23.976, 24, 25, 29.97, 30	352	288	4
ML	Κυρίως επίπεδο	23.976, 24, 25, 29.97, 30	720	576	15
H-14	Υψηλό 1440	23.976, 24, 25, 29.97, 30, 50, 59.94, 60	1440	1152	60
HL	Υψηλό επίπεδο	23.976, 24, 25, 29.97, 30, 50, 59.94, 60	1920	1152	80

σιμοποιώντας μια χονδροειδή κβάντιση των DCT συντελεστών, στην ίδια χώρο-χρονική ανάλυση με το βίντεο εισόδου. Το επίπεδο επαύξησης απλά αναφέρεται στη διαφορά του επιπέδου βάσης και του αρχικού βίντεο εισόδου.

- Η *χρονική διαβαθμισιμότητα* αναφέρεται στη δυνατότητα αποκωδικοποίησης με διαφορετικούς ρυθμούς πλαισίου, χωρίς πρώτα να αποκωδικοποιείται κάθε πλαίσιο.
- Η *υβριδική διαβαθμισιμότητα* αναφέρεται σε κάποιο συνδυασμό των παραπάνω.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της διαβαθμισιμότητας είναι ότι παρέχει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στα σφάλματα μετάδοσης, καθώς το βίντεο επιπέδου βάσης συνήθως μεταδίδεται με καλύτερες δυνατότητες διόρθωσης σφαλμάτων.

2.2.1.10 Κωδικοποίηση ήχου

Το MPEG-2 εισάγει νέες μεθόδους ηχητικής κωδικοποίησης. Αυτές είναι:

- Κωδικοποίηση χαμηλού ρυθμού bit για πολυκάναλο ήχο. Συνολικά υπάρχουν πέντε κανάλια πλήρους εύρους συχνοτήτων (αριστερό, δεξί, κεντρικό και δύο περιφερειακά), καθώς και ένα επιπλέον κανάλι για ενίσχυση των χαμηλών συχνοτήτων.

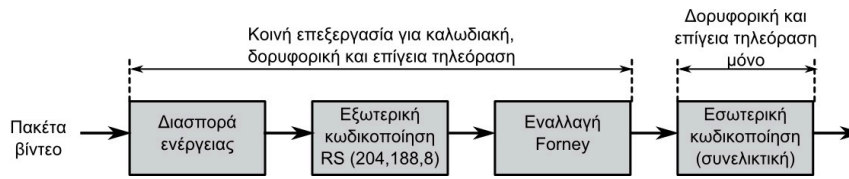
- Το MPEG-2 ηχητικό πρότυπο επεκτείνει το πρότυπο του MPEG-1 με μισούς ρυθμούς δειγματοληψίας (16, 22.05 και 24 KHz) για καλύτερη ποιότητα σε ρυθμούς bit χαμηλότερους από 64 Kbit/s ανά κανάλι.

2.3 Πολύπλεξη πηγής

Ροές βίντεο, καθώς και άλλα δεδομένα, πρέπει να συνδυαστούν με έναν οργανωμένο τρόπο και να εμπλουτιστούν με επιπλέον πληροφορία, έτσι ώστε να μπορούν να διαχωριστούν από τον αποκωδικοποιητή βίντεο, να μπορεί να συγχρονιστεί το βίντεο με τον ήχο και να επιτραπεί στον χρήστη να επιλέξει συγκεκριμένα θέματα που τον ενδιαφέρουν. Έτσι, μετά τη συμπίεση, τα συμπιεσμένα δεδομένα βίντεο πρέπει να υποστούν πολύπλεξη πηγής. Αυτή περιλαμβάνει τρεις διαδικασίες: Πρώτα γίνεται πακετάρισμα και συνδυασμός των πολλαπλών ροών σε μια μοναδική ροή. Δεύτερον, γίνεται προσθήκη *χρονοσήμων (time stamps)* σε στοιχειώδεις ροές για συγχρονισμό και, τελικά, γίνεται αρχικοποίηση και διαχείριση της ενδιάμεσης μνήμης για την αποκωδικοποίηση των στοιχειωδών ροών. Το αποτέλεσμα του πακεταρίσματος μιας στοιχειώδους ροής είναι μια Πακεταρισμένη Στοιχειώδη Ροή (Packetized Elementary Stream, PES). Μετά την πολύπλεξη, συνήθως γίνεται κρυπτογράφηση (*scrambling*) της πακεταρισμένης ροής δεδομένων.

2.4 Κωδικοποίηση καναλιού

Μετά την πολύπλεξη πηγής, η ροή που προκύπτει είναι μια ροή μεταφοράς που αποτελείται από πακέτα, 188 bytes το καθένα. Αυτό είναι ένα σήμα που μεταδίδεται στους χρήστες μέσω ενός δορυφορικού ή επίγειου πομπού ραδιοσυχνοτήτων ή με καλωδιακό τρόπο. Αυτοί οι τρόποι μετάδοσης δεν είναι απαλλαγμένοι από σφάλματα. Ένα συμπιεσμένο σήμα ψηφιακής τηλεόραση απαλλαγμένο από πλεονασμούς, μπορεί να ανεχθεί χαμηλό ή μηδενικό ρυθμό σφαλμάτων. Έτσι, για να μπορούμε να ανιχνεύσουμε και να διορθώσουμε σφάλματα μετάδοσης στον δέκτη, εφαρμόζουμε μεθόδους κωδικοποίησης πριν τη διαμόρφωση. Η διαδικασία αυτή προσθέτει επιπλέον bits δεδομένων, τα οποία συνήθως ονομάζονται *bits πλεονασμού*, για να κάνουμε τη μετάδοση των δεδομένων πιο ανεκτική σε σφάλματα που είναι παρόντα στο κανάλι μετάδοσης. Η κωδικοποίηση καναλιού (*channel coding*) είναι ο όρος που χρησιμοποιεί-



Σχήμα 2.4.1: Κωδικοποίηση καναλιού στο DVB.

ται για τη διόρθωση σφαλμάτων και συχνά περιλαμβάνει τη διαδικασία της διαμόρφωσης. Η διόρθωση σφαλμάτων επιτυγχάνεται με την χρήση της *Ευθείας Διόρθωσης Σφάλματος (Forward Error Connection, FEC)*. Τα βασικά βήματα της διαδικασίας κωδικοποίησης καναλιού για Ευθεία Διόρθωση Σφάλματος στο πρότυπο DVB φαίνονται στο σχήμα 2.4.1.

Η διασπορά ενέργειας δημιουργεί τυχαιοποίηση του σήματος, έτσι ώστε να αποφευχθούν χαμηλές συχνότητες (DC περιεχόμενο) που προκύπτουν από μια μακριά σειρά από μηδενικά και άσσους. Στο δέκτη εφαρμόζεται μια αντίστροφη διαδικασία, χρησιμοποιώντας την ίδια γεννήτρια ψευδό-τυχαίων αριθμών. Η εξωτερική κωδικοποίηση (Reed-Solomon) και εναλλαγή Forney (Forney interleaving) αποσκοπούν στη διόρθωση καταγιστικών (burst) σφαλμάτων που εισάγονται από το κανάλι μετάδοσης. Εφαρμόζονται ξεχωριστά σε όλα τα πακέτα, συμπεριλαμβανομένων και των πακέτων συγχρονισμού. Η εσωτερική (συνελικτική) κωδικοποίηση (convolutional coding) αφορά τη διόρθωση άλλων τύπων σφαλμάτων και χρησιμοποιείται μόνο στη δορυφορική και επίγειο μετάδοση.

2.5 Διαμόρφωση

Οι τεχνικές συνθήκες μετάδοσης, όπως ο λόγος σήματος προς θόρυβο και η ύπαρξη αντηχήσεων, εξαρτώνται από το μέσο που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση. Οι τεχνικές διαμόρφωσης είναι, λοιπόν, διαφορετικές για κάθε κανάλι μετάδοσης (επίγειο ή δορυφορικό), έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η απόδοση σε καθένα από αυτά ξεχωριστά.

2.5.1 Διαμόρφωση στην επίγειο τηλεοπτική μετάδοση

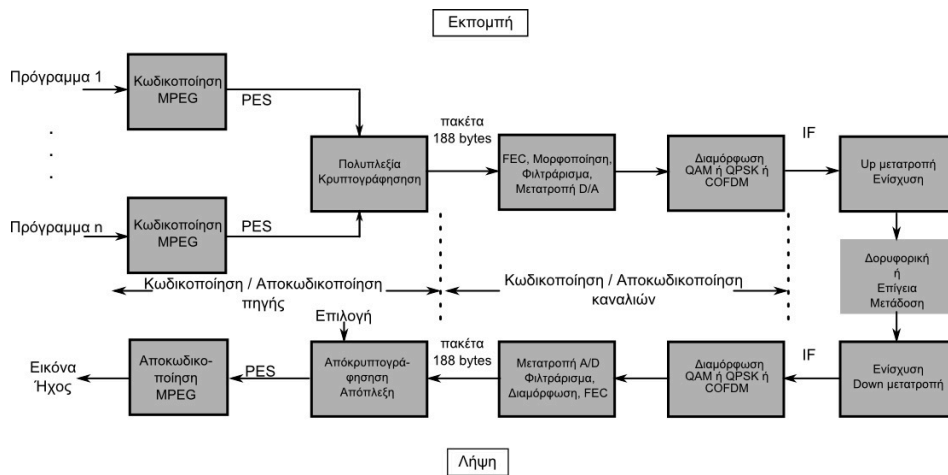
Στην επίγειο ραδιοσυχνοτική λήψη υπάρχουν δυσκολίες, ειδικά για την κινητή λήψη με απλές κεραίες, λόγω των αντηχήσεων (που οφείλονται

στην ύπαρξη πολλαπλών διαδρομών του ραδιοσήματος λόγω ανακλάσεων), διαφοροποιήσεων στο επίπεδο του σήματος και ενδεχόμενης παρεμβολής (interference). Εδώ το εύρος συχνοτήτων του καναλιού ποικίλει από 6MHz (στις Η.Π.Α.) έως 7 ή 8 MHz (στην Ευρώπη) χρησιμοποιώντας διαμόρφωση πλάτους (AM modulation).

Η διαμόρφωση για την επίγεια ψηφιακή τηλεόραση ορίζεται από το Ευρωπαϊκό Επίγειο σύστημα Ψηφιακής Μετάδοσης Τηλεόρασης (DVB-T) και βασίζεται σε *Ορθογωνική Πολύπλεξη με Διαίρεση Συχνότητας (OFDM, Orthogonal Frequency Divided Modulation)* 2K (2048 φορέων) ή 8K (8192 φορέων). Η αρχή της είναι η κατανομή μίας ροής bits με υψηλό ρυθμό σε ένα μεγάλο αριθμό ορθογωνικών φορέων (από μερικές εκατοντάδες έως μερικές χιλιάδες), καθένας από τους οποίους μεταδίδει πληροφορία με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης (bit-rate). Το κύριο πλεονέκτημά της είναι η άριστη συμπεριφορά της στην περίπτωση λήψης πολλαπλών διαδρομών, πράγμα που είναι συνηθισμένο στην επίγεια κινητή ή φορητή λήψη. Οι φορείς διαμορφώνονται χρησιμοποιώντας QPSK, 16-QAM ή 64-QAM διαμόρφωση. Τα δεδομένα ακολουθούν μια πολύπλοκη διαδικασία εναλλαγής (interleaving) για να αυξήσουν την ανθεκτικότητα του συστήματος σε σφάλματα. Ο *Γρήγορος Μετασχηματισμός Fourier (Fast Fourier Transform, FFT)* χρησιμοποιείται για να μεταφερθούμε από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο των συχνοτήτων (και αντίστροφα) και να διαμορφώσουμε τον υψηλό αριθμό των φορέων. Στη λειτουργία 8K είναι δυνατή η ικανοποιητική λήψη ακόμη και όταν υπάρχουν μεγάλης διάρκειας αντηχήσεις. Αυτό προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας δικτύων κάλυψης ευρείας περιοχής χρησιμοποιώντας το ίδιο κανάλι παντού. Αυτά ονομάζονται *Δίκτυα μιας συχνότητας (Single Frequency Networks, SFN)* και αποτελούνται από πομπούς που μπορεί να είναι δεκάδες χιλιόμετρα μακριά ο ένας από τον άλλον. Στη 2K λειτουργία, η αποδιαμόρφωση είναι απλή, αλλά δεν υπάρχει πιθανότητα δημιουργίας SFN και η ανθεκτικότητα στις επεμβάσεις του χρουστικού θορύβου μειώνεται. Τέτοιοι θόρυβοι προκύπτουν π.χ. από ηλεκτρικές εκκενώσεις που παράγονται από βενζινοκινητήρες αυτοκινήτων ή από κάποιες ηλεκτρικές οικιακές συσκευές.

2.5.2 Διαμόρφωση στη δορυφορική τηλεοπτική μετάδοση

Στη δορυφορική λήψη, ο λόγος φέροντος σήματος προς θόρυβο (carrier-to-noise ratio, CNR) μπορεί να είναι πολύ μικρός (10 dB ή μικρότερος),



Σχήμα 2.6.1: Εκπομπή και λήψη ψηφιακού βίντεο.

αλλά το σήμα δεν πλήττεται σχεδόν καθόλου από αντηχήσεις. Το εύρος καναλιού είναι γενικά ανάμεσα στα 27 και 36 MHz. Στην Ευρώπη, η διαμόρφωση για τη δορυφορική ψηφιακή τηλεόραση ορίζεται από τα συστήματα DVB-S και DVB-S2. Η καλύτερη φασματική απόδοση σε δορυφορικές μεταδόσεις παρέχεται από τη διαμόρφωση QPSK (2 bits/symbol).

2.6 Συνολική δομή συστήματος ψηφιακής τηλεόρασης

Στο σχήμα 2.6.1 φαίνονται όλα τα βασικά βήματα μετάδοσης και λήψης της ψηφιακής τηλεόρασης. Τα σήματα ήχου και βίντεο των προγραμμάτων προς μετάδοση, περνούν το καθένα μέσα από έναν κωδικοποιητή MPEG-2 που παραδίδει την πακεταρισμένη ροή (PES) βίντεο και ήχου στον πολυπλέκτη (περίπου τέσσερα ή οχτώ προγράμματα για μια συχνότητα καναλιού, ανάλογα με τις παραμέτρους που επιλέχθηκαν για την κωδικοποίηση). Αυτά τα PES χρησιμοποιούνται από τον πολυπλέκτη για να σχηματίσουν πακέτα των 188 bytes για μεταφορά, τα οποία τελικά κρυπτογραφούνται (scrambling). Η κωδικοποίηση καναλιού (FEC) αυξάνει το μέγεθος του πακέτου στα 204 bytes. Στην περίπτωση της δορυφορικής μετάδοσης, η συνελικτική κωδικοποίηση αυξάνει ακόμη περισσότερο το ρυθμό μετάδοσης. Η μορφοποίηση των δεδομένων (symbol mapping) ακολουθούμενη από φιλτράρισμα και μετατροπή σε ανα-

λογικό σήμα (D/A) παράγουν το αναλογικό σήμα προς μετάδοση. Τα σήματα I και Q διαμορφώνονται με QPSK (δορυφορική) και COFDM (επίγεια) μέθοδο διαμόρφωσης σε ένα IF φέρον σήμα ενδιάμεσης συχνότητας της τάξης των 70 MHz. Αυτό το IF φέρον σήμα μεταφέρεται (up conversion) στην κατάλληλη ζώνη συχνοτήτων (ανάλογα με το μέσο μετάδοσης) για μετάδοση στους τελικούς χρήστες. Το τελικό σήμα θα ενισχυθεί πριν τη μετάδοση. Στην περίπτωση της δορυφορικής μετάδοσης, η αύξηση συχνότητας θα τον φέρει στην απαιτούμενη τιμή για το uplink του δορυφορικού μεταδότη. Στο δορυφόρο θα μεταβληθεί η συχνότητα για τη διάδοση στους τελικούς χρήστες της KU ζώνης (από 10.7 έως 12.75 GHz).

Στην περίπτωση της δορυφορικής μετάδοσης, η αρχική μείωση συχνότητας γίνεται στην άκρη της κεραίας από το μετατροπέα χαμηλού θορύβου, (*Low Noise Block Converter, LNB* ή *LNC*), που φέρνει τη συχνότητα στην περιοχή των 950-2150 MHz στην είσοδο του Ενσωματωμένου Δέκτη-Αποκωδικοποιητή. Εκεί υφίσταται μια δεύτερη μείωση συχνότητας που είναι συνήθως στα 480 MHz. Για την επίγεια μετάδοση, υπάρχει μόνο μια μείωση συχνότητας από το κανάλι VHF/UHF σε ένα IF φέρον των 36.15MHz (στην Ευρώπη). Η αποδιαμόρφωση αυτού του IF φέροντος δίνει το αναλογικό σήμα, το οποίο μετατρέπεται από αναλογικό σήμα σε ψηφιακό (A/D). Κατόπιν πραγματοποιείται φιλτράρισμα και επαναμορφοποίηση των I και Q σημάτων. Η ευθεία διόρθωση σφαλμάτων ανακτά τα πακέτα των 188 bytes που μεταφέρθηκαν. Ο αποπλέκτης επιλέγει το PES που αντιστοιχεί στο πρόγραμμα που επέλεξε ο χρήστης, το οποίο προηγουμένως μπορεί να έχει υποστεί την αντίστροφη διαδικασία αποκρυπτογράφησης (descrambling). Ο αποκωδικοποιητής MPEG-2 ανακατασκευάζει το βίντεο και τον ήχο από το επιθυμητό πρόγραμμα, έτσι ώστε να εμφανιστεί στη συσκευή της τηλεόρασης.

2.7 Πρότυπα μετάδοσης ψηφιακής τηλεόρασης

Εκτός από το ευρωπαϊκό πρότυπο *DVB (Digital Video Broadcasting)*, υπάρχουν επίσης το *ATSC (Advanced Television Systems Committee)* στις Η.Π.Α., το *ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting)* στην Ιαπωνία και το *DMB (Digital Multimedia Broadcasting)* στην Κίνα. Όλα αυτά τα πρότυπα βασίζονται στο πρότυπο MPEG-2. Ειδικά το ATSC χρησιμοποιεί τον κωδικοποιητή ήχου Dolby Digital AC-3 και

Πίνακας 2.7.1: Χαρακτηριστικά συστημάτων δορυφορικής τηλεόρασης.

Συστήματα Ψηφιακής Τηλεόρασης	ATSC 8-VSB	DVB COFDM	ISDB BST-COFDM
Κωδικοποίηση πηγής			
Βίντεο	Main profile syntax of ISO/IEC 13818-2 (MPEG-2 video)		
Ήχος	ATSC Standard A/52 (Dolby AC-3)	ISO/IEC 13818-2 (MPEG-2 layer II audio) and Dolby AC-3	ISO/IEC 13818-7 (MPEG-2-AAC audio)
Συστήματα μετάδοσης			
Κωδικοποίηση καναλιού	-		
Εξωτερική κωδικοποίηση	R-S (207, 188, t=10)	R-S (204, 188, t=8)	
Εξωτερικός εναλλάκτης	52 R-S block interleaver	12 R-S block interleaver	
Εσωτερική κωδικοποίηση	Rate 2/3 trellis code	Punctured convolution code: Rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 Constraint length = 7, Polynomials (octal) = 171, 133	
Εσωτερικός εναλλάκτης	12 to 1 trellis code interleaver	Bit-wise interleaving and frequency interleaving	Bit-wise interleaving, frequency interleaving and selectable time interleaving
Τυχοποίηση δεδομένων	16-bit PRBS		
Διαμόρφωση	8-VSB and 16-VSB	COFDM QPSK, 16QAM and 64QAM Hierarchical modulation: multi-resolution constellation (16QAM and 64 QAM) Guard interval: 1/32, 1/16, 1/8 & 1/4 of OFDM symbol 2 modes: 2k and 8k FFT	BST-COFDM with 13 frequency segments DQPSK, QPSK, 16QAM and 64QAM Hierarchical modulation: choice of three different modulations on each segment Guard interval: 1/32, 1/16, 1/8 & 1/4 of 3 modes: 2k, 4k and 8k FFT

προσφέρει πρότυπο ήχου 5.1 (πέντε κανάλια ήχου και ένα έκτο κανάλι χαμηλών συχνοτήτων). Οι ιαπωνικές μεταδόσεις ISDB HDTV χρησιμοποιούν το πρότυπο κωδικοποίησης ήχου MPEG Advanced Audio Coding (AAC), που επίσης επιτρέπει ύπαρξη 5.1 ήχου. Το ευρωπαϊκό πρότυπο DVB επιτρέπει και τα δύο. Το πρότυπο ATSC στερείται πραγματικής ιεραρχικής διαμόρφωσης και δεν παρέχει SFN (Single Frequency Networks). Το σήμα ATSC είναι πιο ευαίσθητο σε αλλαγές των συνθηκών μετάδοσης μέσω ραδιοκυμάτων. Τα κύρια χαρακτηριστικά των ATSC, DVB, ISDB φαίνονται στον Πίνακα 2.7.1.

2.8 Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα της ψηφιακής τηλεόρασης

Τα κύρια πλεονεκτήματα της ψηφιακής τηλεόρασης είναι τα ακόλουθα. Η ψηφιακή τηλεόραση έχει ανώτερη ποιότητα εικόνας (πλατιά, οθόνη συνήθως 16:9) και βελτιωμένη ποιότητα ήχου (Dolby 5.1 surround sound). Έχει εύκολη και καλύτερη λήψη χάρη σε κινητές συσκευές, ακόμη και για χρήστες σε μέσα μεταφοράς (ακόμη και πλοία). Έχει πολύ καλύτερη εικόνα σε περιοχές όπου το αναλογικό σήμα δε λαμβάνεται καλά, όπως στα νησιά. Έχει ωραίες ζωηρές εικόνες, χωρίς σκιές και παρεμβολή. Όταν σε ένα λήπτη φτάνουν δύο σήματα που μεταδίδονται από δυο πομπούς, ένα μόνο τελικό σήμα ενισχύεται και δεν επιβαρύνεται με παρεμβολή από το άλλο κανάλι, όπως στην αναλογική τηλεόραση. Η συμπίεση του σήματος έχει ως αποτέλεσμα καλύτερη αξιοποίηση του εύρους ζώνης, προσφέροντας μικρότερο εύρος ζώνης για κάθε κανάλι. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να μεταδίδονται περισσότερα από ένα κανάλια από την ίδια συχνότητα. Αντίθετα, στην αναλογική τηλεόραση, κάθε συχνότητα VHF ή UHF μεταδίδει ένα τηλεοπτικό πρόγραμμα. Έτσι τώρα κάθε τηλεοπτικός σταθμός μπορεί να μεταδίδει ένα πακέτο προγραμμάτων κι όχι μόνο ένα πρόγραμμα. Η ψηφιακή τηλεόραση προσφέρει ειδικές λειτουργίες, όπως ηλεκτρονικούς οδηγούς προγραμμάτων (EPG), που είναι πολύ καλύτεροι από το Teletext και επιπλέον γλώσσες, μεταγλωττισμούς ή υπότιτλους, επιλογή εικόνας ευρείας οθόνης (16:9). Προσφέρει πολυμέσα ή διαδραστικότητα που μετατρέπουν τον παθητικό θεατή σε ενεργητικό και υπηρεσίες για ανθρώπους με ειδικές ανάγκες (βελτιωμένοι υπότιτλοι, σχολιασμός του ήχου, σχολιασμός με σύμβολα). Ειδικά για τη διαδραστικότητα απαιτείται και η ύπαρξη αντιστρόφου καναλιού από το θεατή προς τον πομπό. Τέτοια κανάλια είναι συνήθως διαδικτυακής μορφής. Επιπλέον, υπάρχουν αλγόριθμοι μεταεπεξεργασίας της ψηφιακής εικόνας, οι οποίοι ενεργοποιούνται από το λήπτη. Ακόμα και οι διαφημίσεις που προβάλλονται στην οθόνη μπορούν να επιλέγονται με βάση τα ενδιαφέροντα του θεατή. Παρέχεται επίσης υπηρεσία πληρωμής με την προβολή (Pay per View ή Video on Demand δηλαδή διαλέγουμε π.χ. από μια επιλογή ταινιών ή ειδικά αθλητικά γεγονότα, και πληρώνουμε μέσω της συνδρομής μας). Τέλος, υπάρχουν οι ψηφιακές συσκευές εγγραφής ψηφιακού βίντεο. Έτσι μπορούμε να γράψουμε ένα κανάλι, ενώ παρακολουθούμε κάποιο άλλο.

Σ' ότι αφορά τα μειονεκτήματα δε μπορούμε να πούμε ότι υπάρχουν τεχνικά μειονεκτήματα στην ψηφιακή τηλεόραση, παρά μόνο εμπορικά,

που έχουν σχέση με το επιχειρησιακό μοντέλο (business model) που χρησιμοποιείται, π.χ. μπορεί να υπάρχει κρυπτογράφηση και χρέωση του θεατή. Επίσης, λόγω της υπερπροσφοράς των τηλεοπτικών καναλιών δεν γνωρίζουμε πόσο εύκολα ο θεατής μπορεί να αξιοποιήσει αυτή την τεράστια ροή πληροφορίας. Ακόμη δε γνωρίζουμε πόσο θα χρησιμοποιηθεί, στην πράξη, η διαδραστική τηλεόραση. Τέλος, στην ψηφιακή τηλεόραση συναντούμε πιο συχνά φαινόμενα πειρατείας του ψηφιακού περιεχομένου, λόγω της ευκολίας αντιγραφής ψηφιακού βίντεο και ήχου. Γίνονται πολύ σημαντικές προσπάθειες προστασίας των πνευματικών δικαιωμάτων των δημιουργών π.χ. μέσω κρυπτογράφησης ή υδατογράφησης.

Τέλος, υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στην επίγεια και στη δορυφορική ψηφιακή τηλεόραση. Καταρχάς στην επίγεια τηλεόραση χρησιμοποιείται ίδια κεραία και καθοδικό καλώδιο με την αναλογική. Στη δορυφορική ψηφιακή τηλεόραση πρέπει να αγοράσουμε κεραία (πίατο) και ειδικό δέκτη. Για τη δορυφορική εκπομπή υπάρχει ανάγκη για (την πάρα πολύ ακριβή) ενοικίαση δορυφορικού καναλιού. Η επίγεια τηλεόραση έχει τοπική περιοχή κάλυψης, όχι εθνική ή υπερεθνική όπως στην περίπτωση της δορυφορικής μετάδοσης. Είναι κατάλληλη για τοπικούς τηλεοπτικούς σταθμούς, οι οποίοι θέλουν να μουν στην ψηφιακή πραγματικότητα και να φτάσουν σε μεγαλύτερα αστικά κέντρα με το ελάχιστο κόστος.