

Πανεπιστήμιο Πατρών
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Και Τεχνολογίας Υπολογιστών
Εργαστήριο Ενσύρματης Επικοινωνίας

Ομάδα Τεχνολογίας Ήχου και Ακουστικής



Πάτρα 2009

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1) Ιστορική Αναδρομή

Όταν το CD (Compact Disc) εισήχθη στο εμπόριο, στις αρχές της δεκαετίας του '80, σηματοδότησε μία τεράστια αλλαγή σε σχέση με τα παραδοσιακά μέσα που κυριαρχούσαν τότε. Έτσι, γρήγορα αντικατέστησε τους δίσκους μουσικής και τις μαγνητικές ταινίες στον χώρο της μουσικής αλλά και τις δισκέτες αποθήκευσης δεδομένων (5' ¼ και 3' ½), καθώς όχι μόνο πρόσφερε σημαντική βελτίωση στην ηχητική ποιότητα αλλά και τα 650MB αποθηκευτικού χώρου που διέθετε σήμαιναν μια τερατώδη εξέλιξη στην αποθήκευση και επανάκτηση δεδομένων. Για πρώτη φορά υπήρξε ένα ενιαίο πρότυπο για προ-εγγεγραμμένα, εγγράψιμα καθώς και επανεγγράψιμα μέσα, προσφέροντας στους καταναλωτές καλύτερη ποιότητα και δυνατότητες που δε θα περίμεναν ποτέ σε τόσο χαμηλές τιμές.

Αν και το CD αποτέλεσε για πάνω από δέκα χρόνια ένα πολύ χρήσιμο μέσο για ηχογράφηση και διανομή ψηφιακού ήχου και για πολλές εφαρμογές δεδομένων, εντούτοις στις αρχές της δεκαετίας του '90 οι απαιτήσεις για νέα μέσα που θα προσφέρουν ακόμα μεγαλύτερη χωρητικότητα και καλύτερη ποιότητα οδήγησαν στη δημιουργία του DVD (Digital Versatile Disc). Το τελευταίο προσέφερε αρχικά 500% αύξηση στον αποθηκευτικό χώρο με τα 4.7 GB, το οποίο μπορούσαν να φτάσουν μέχρι τα 18GB περίπου με τους δίσκους Dual-Layer, διπλής όψης. Έτσι, έγινε εφικτή η διανομή και η εγγραφή υψηλής ποιότητας video καθώς και η εκμετάλλευση πιο απαιτητικών εφαρμογών.

Μπαίνοντας όμως στη νέα χιλιετία, οι απαιτήσεις για video υψηλής ευκρίνειας (High Definition Video - HD Video) και για χώρο αποθήκευσης συνεχώς αυξάνονται. Έτσι, απαιτείται η μετάβαση σε νέα αποθηκευτικά μέσα, ικανά να αντιμετωπίσουν τις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις προσφέροντας μεγαλύτερο χώρο για τις νέες εφαρμογές αλλά και την απαραίτητη συμβατότητα με τα ήδη υπάρχοντα μέσα. [1]

1.2) High Definition Video

Η δυνατότητα εγγραφής video και ήχου με ένα από τα τρία ήδη υπάρχοντα formats σε ένα οπτικό δίσκο DVD αποτέλεσε μια από τις μεγαλύτερες τεχνολογικές επαναστάσεις. Όμως, όσο και αν μας έλυσε τα χέρια το DVD αποδεικνύεται, λόγω των περιορισμένων χαρακτηριστικών του σε αυτή την περίπτωση, ανεπαρκές για εγγραφή High Definition Video (HD Video). Οι λόγοι που οδηγούν σε αυτό το συμπέρασμα είναι οι ακόλουθοι:

- **Video Resolution**

Η ανάλυση που υποστηρίζει ένα DVD είναι 480 οριζόντιες γραμμές (480i ή 480p για τα DVD-Players προοδευτικού σκαναρίσματος (progressive scan)) σε αντίθεση με τις 720 γραμμές για progressive scan ή τις 1080 για συμπλεκόμενο (Interlaced) scan του High Definition.

- **Ρυθμός Δεδομένων**

Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων για το DVD ανέρχεται περίπου στα 11Mbps ενώ το High Definition Video απαιτεί και έως 147Mbps.

- **Χωρητικότητα**

Με τον μεγαλύτερο ρυθμό δεδομένων απαιτείται και μεγαλύτερος αποθηκευτικός χώρος, καθώς ακόμα και τα 18GB ενός δίσκου DL-Διπλής Όψης δεν είναι αρκετά.

Απαιτείται λοιπόν η εφεύρεση ενός νέου οπτικού δίσκου για τη εγγραφή High Definition Video; Σε αυτήν την ερώτηση υπάρχουν δύο δυνατές απαντήσεις.

1. **Μείωση του Ρυθμού Δεδομένων.**

Η βασική ιδέα πίσω από αυτό είναι η μείωση των ψηφιακών δεδομένων που θα εγγράφονται μέσω συμπίεσης. Από τη στιγμή που η συμπίεση αυτή είναι με απώλειες (lossy) όσο αυξάνεται αυτή η ποιότητα θα φθίνει. Αυτά αποσκοπούν στο να μειωθεί αρκετά ο ρυθμός δεδομένων έτσι ώστε να υποστηρίζεται από την ήδη υπάρχουσα τεχνολογία ενώ παράλληλα να διατηρείται η ποιότητα του HD Video σε ένα υψηλό επίπεδο.

2. **Υποστήριξη του υψηλότερου Ρυθμού Δεδομένων και Χωρητικότητας.**

Αυτό επιτρέπει την εγγραφή HD Video στον υψηλότερο ρυθμό δεδομένων που απαιτείται χωρίς να μειώνει καθόλου την ποιότητα της εικόνας λόγω συμπίεσης. Βέβαια, για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται μια εντελώς καινούρια τεχνολογία που να υποστηρίζει τα παραπάνω.

Τα παραπάνω οδήγησαν σε δύο νέα formats, το Blu-Ray Disc (BD) και το High Density DVD (HD-DVD).

Κεφάλαιο 2

Physical Format

2.1) Blu-Ray

2.1.1) Γενικά

Το Blu-Ray, επίσης γνωστό και σαν Blu-Ray Disc, είναι μιας νέας γενιάς οπτικό μέσο το οποίο θα επιτρέπει την εγγραφή και αναπαραγωγή Video υψηλής ευκρίνειας. Πήρε το όνομα του από την μπλε ακτίνα laser που χρησιμοποιεί κατά την εγγραφή και ανάγνωση δεδομένων. Τα ονόματα των εταιριών που βρίσκονται πίσω από αυτό το μέσο είναι αρκετά και διόλου ευκαταφρόνητα. Ενδεικτικά αναφέρουμε τις Sony, Pioneer, LG, Dell, Apple και TDK.

Όπως ακριβώς συνέβη με το CD και το DVD παλιότερα, έτσι και το Blu-Ray έχει σχεδιαστεί να παρέχει ένα πλήθος formats. Αυτά είναι τα ακόλουθα:

1. **BD-ROM**

Αυτό θα χρησιμοποιηθεί για διανομή λογισμικού και ταινιών και αποτελεί ένα read only format, το οποίο προσφέρει 25GB χωρητικότητα ανά στρώμα, δηλαδή 50GB ανά πλευρά.

2. **BD-R**

Σχεδιάστηκε για εγγραφή HD Video και για αποθήκευση δεδομένων.

3. **BD-RW**

Ομοίως με το BD-R, μόνο που υποστηρίζει πολλαπλές εγγραφές πάνω στον ίδιο δίσκο.

2.1.2) Blu-Ray Format

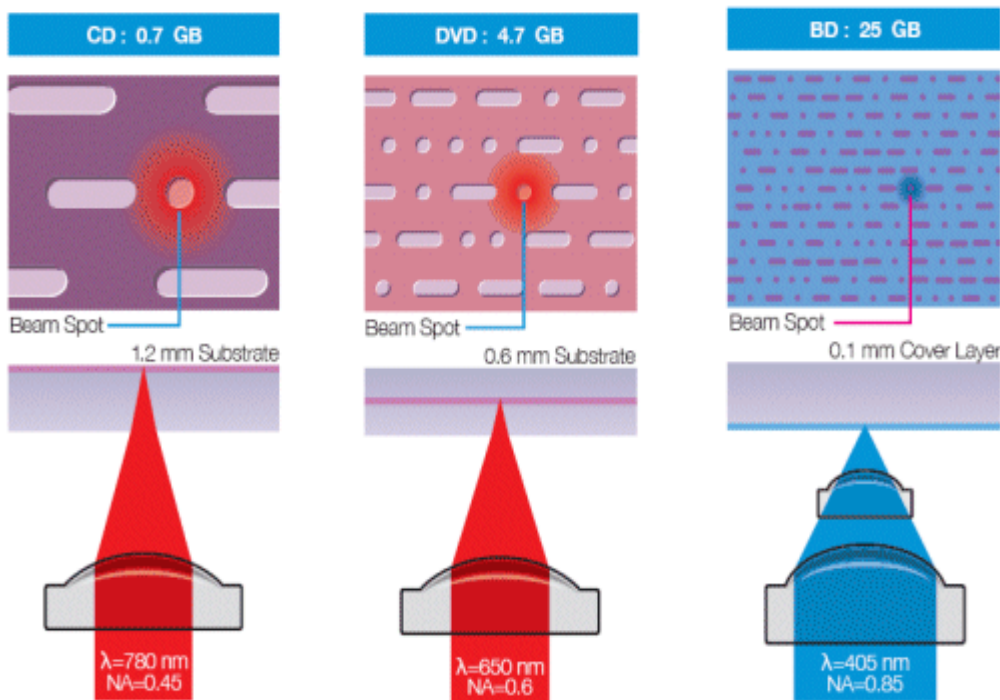
Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 2.1) συνοψίζονται όλα τα χαρακτηριστικά του δίσκου που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.

Χωρητικότητα	(SL) 23.3GB, 25GB, 27GB (DL) 46.6GB, 50GB, 54GB
Μήκος κύματος	405nm
NA ακτίνας	0.85
Πάχος επιπέδου επίστρωσης	0.10mm(L0,SL), 0.075mm(L1)
Μέθοδος διευθυνσοδότησης	MSK & STW
Περιστροφή Δίσκου	CLV
Απόσταση τροχιάς	0.32μm
Διαμόρφωση καναλιού	17PP
Ελάχιστο μήκος ίχνους	0.160μm για 23.3GB, 46.6GB 0.149μm για 25GB, 50GB 0.138μm για 27GB, 54GB
Απόδοση	81.70%

Πίνακας 2.1 : Χαρακτηριστικά Blu-Ray Disc

Ο δίσκος Blu-Ray είναι ο τελευταίος που θα χρησιμοποιεί ορατό φως στην ακτίνα του. Έτσι λοιπόν ακολουθώντας το CD και το DVD με τα 780nm και 650nm αντίστοιχα, αποφασίστηκαν συγκεκριμένες τιμές για το μήκος κύματος της ακτίνας, το αριθμητικό άνοιγμα (Numeric Aperture, NA) και το πάχος για το εν λόγω δίσκο. Οι τιμές αυτές είναι 400nm για το ελάχιστο μήκος κύματος, 0.85 για την μεγαλύτερη τιμή του NA και 1.1mm για το πάχος του πλαστικού υποστρώματος. Αρχικά εξετάζονταν και η χρήση μικρότερου μήκους κύματος αλλά αυτή απορρίφθηκε λόγω προβλημάτων που σχετίζονταν με τη διάρκεια ζωής και την αντοχή των πλαστικών του υποστρώματος.

Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη και η εξάρτηση του μήκους κύματος από τη θερμοκρασία, ώστε αυτό να μην πέσει ποτέ κάτω από τα 400nm. Για τα μήκη κύματος του CD και DVD και για τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτών των lasers, η εξάρτηση από τη θερμοκρασία είναι της τάξης των 0.3 nm/deg για τα 780 nm και 0.25 nm/deg για τα 650nm. Έτσι, χρησιμοποιείται laser GaN το οποίο έχει πολύ καλύτερη συμπεριφορά σε αυτό το μήκος κύματος σε σχέση με τα παραπάνω lasers. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η σχέση που έχουν το μήκος κύματος και το χρώμα της ακτίνας στα CD, DVD και Blu-Ray.



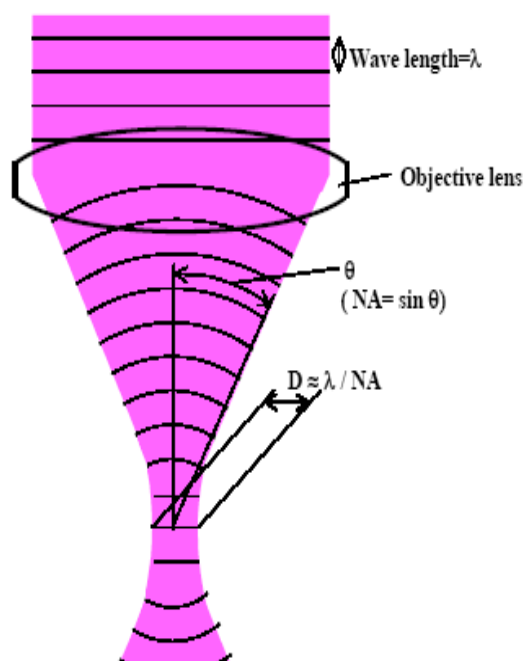
Σχήμα 2.1 : Χαρακτηριστικά CD, DVD, Blu-Ray

Η διάμετρος της ακτίνας εξαρτάται από το NA και το μήκος κύματος σύμφωνα με την παρακάτω σχέση

$$\text{Beam Diameter} = \lambda / (\alpha * NA) \quad (1)$$

όπου λ το μήκος κύματος και a σταθερά. Το μέγεθος NA έχει την τιμή 0.85 για το BD όπως προκύπτει από την παρακάτω ανάλυση.

Ένα από τα χαρακτηριστικά των οπτικών δίσκων είναι το ότι τα δεδομένα διαβάζονται μέσα από ένα πλαστικό στρώμα. Όσο λεπτότερο είναι το στρώμα αυτό τόσο πιο εύκολα μπορεί να αυξηθεί η απόδοση της αντικειμενικής ακτίνας (Objective Lens) στο να συγκλίνει στην ακτίνα του laser (Laser Beam). Αυτή η απόδοση καλείται NA. Το αριθμητικό άνοιγμα ορίζεται σαν το ημίτονο της γωνίας θ , δηλαδή της γωνίας σύγκλισης. Περίπου το 80% της ενέργειας της ακτίνας βρίσκεται μέσα σε μια περιοχή με διάμετρο που δίνεται από τον τύπο (1).



Σχήμα 2.2

Από τα παραπάνω προκύπτει πως το NA πρέπει να είναι όσο μεγαλύτερο γίνεται. Εντούτοις, υπάρχει ένα όριο στη μέγιστη τιμή που αυτό μπορεί να πάρει. Όταν ο οπτικός άξονας της αντικειμενικής ακτίνας αλλάξει σε σχέση με την κάθετη στην επιφάνεια του δίσκου, η απόδοση της σύγκλισης μειώνεται και η μείωση αυτή είναι ανάλογη του NA^3 . Από τη στιγμή που για κατασκευαστικούς λόγους δε μπορεί να αποφευχθεί η απόκλιση πρέπει να περιοριστεί η αύξηση του NA.

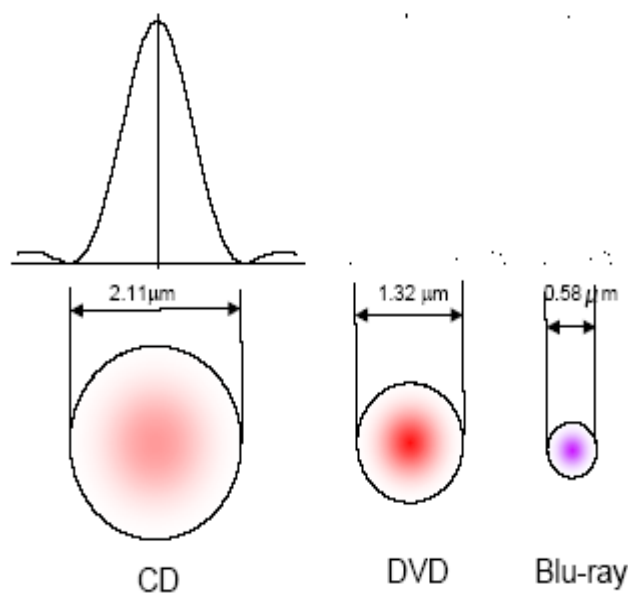
Συνεπώς αποφασίστηκε ως αριθμητικό άνοιγμα το 0.85 για το BD σε αντίθεση με το 0.45 για το CD και το 0.6 για το DVD. Αρχικά μια ακτίνα με NA 0.85 κατασκευάστηκε τοποθετώντας 2 ακτίνες NA 0.6 σε σειρά. Η απόσταση λειτουργίας μιας τέτοιας ακτίνας δε μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 0.14mm. Σε τόσο μικρές τιμές πρέπει να ληφθούν επιπρόσθετα μέτρα ώστε να προβλέπεται η ακτίνα να μην «χτυπήσει» το δίσκο (hit the disc) και να αποφευχθούν καταστροφές του υλικού.

Θεωρητικά η χωρητικότητα του BD μπορεί να υπολογιστεί ως εξής. Ο τύπος που δίνει την χωρητικότητα εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτίνας (λ) και το αριθμητικό άνοιγμα (NA) σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση

$$\text{Χωρητικότητα} \propto (\lambda/\text{NA})^2 \quad (2)$$

Μειώνοντας το λ σε 405nm αυξάνεται η χωρητικότητα κατά ένα παράγοντα 2.5 σε σχέση με τη χωρητικότητα το DVD (650 nm, NA=0.6, 4.7GB). Επίσης, με αύξηση του NA διπλασιάζεται η χωρητικότητα. Έτσι, προκύπτουν τα 25GB αποθηκευτικού χώρου που υποστηρίζει το BD σε σχέση με τα 4.7GB του DVD.

Για εγγραφή σε οπτικά μέσα το μεγάλο NA αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα. Η ενέργεια που απαιτείται για την εγγραφή ενός συστήματος Blu-Ray με μήκος κύματος 400nm και NA = 0.85 είναι το 1/4 της ενέργειας που απαιτεί ένα σύστημα DVD με αντίστοιχες τιμές 650 και 0.6, εξαιτίας του μικρότερου σημείου εστίασης.



Σχήμα 2.3 : Σύγκριση των ακτίνων CD, DVD, BD

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται συγκριτικά η διάμετρος και η κατανομή της έντασης των ακτίνων των τριών συσκευών. Η επιφάνεια των παραπάνω γραφικών ισούται με την ενέργεια εγγραφής. Επομένως, όσο μικρότερη είναι η διάμετρος της ακτίνας τόσο μικρότερη και η απαιτούμενη ενέργεια. Όλα αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα πως το BD απαιτεί μόνο 5 mW σε αντίθεση με το CD και το DVD που απαιτούν κάποιες δεκάδες mW για παρόμοιες ταχύτητες εγγραφής.

Στους οπτικούς δίσκους ο κύβος του NA αναφέρεται και ως «skew» και είναι αυτός που διαμορφώνει το όριο στην απόκλιση από τις 90° την γωνίας μεταξύ της επιφάνειας του δίσκου και τον οπτικό άξονα. Για το BD το όριο αυτό τέθηκε ίσο με $\pm 0,75^\circ$ όπως ακριβώς και στο DVD. Αυτός είναι ο λόγος που το πάχος του πλαστικού υποστρώματος είναι 100μm.

Φυσικά, με την αύξηση της χωρητικότητας του BD αυξάνονται και οι τιμές των οπτικών αποκλίσεων σαν εξισορρόπηση, ώστε να περιοριστεί η αλόγιστη αύξηση της χωρητικότητας. Ως αποτέλεσμα μειώνονται οι οπτικές ανέχειες. Οι κυριότερες οπτικές ανέχειες είναι οι ακόλουθες

$$\text{Defocus} \propto \lambda / \text{NA}^2$$

$$\text{Coma Aberration} \propto \lambda / (t \times \text{NA})^3$$

$$\text{Σφαιρική Απόκλιση} \propto \lambda / \text{NA}^4$$

όπου t είναι το πάχος του στρώματος καλύμματος.

Οι παραπάνω τύποι αποτελούν μόνο προσεγγιστικές λύσεις. Παρατίθενται με σκοπό την εξήγηση της αύξησης ορισμένων παραμέτρων συναρτήσει του μήκους κύματος και του αριθμητικού ανοίγματος. Στο τελευταίο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν πιο πρακτικοί τρόποι υπολογισμού.

Με τη βοήθεια των παραπάνω μεθόδων είναι εμφανές πως τόσο η αύξηση του NA όσο και η μείωση του λ επιδρούν αρνητικά πάνω στις συγκεκριμένες παραμέτρους, κάνοντας τη κατασκευή δίσκων πιο δύσκολη και απαιτητική. Ο παρακάτω πίνακας συγκριτικά τα αναφερθέντα μεγέθη με τις αντίστοιχες παραμέτρους του DVD καθιστά κατανοητή την εξασθένηση που υφίστανται οι οπτικές ανέχειες. Οι παραπάνω τύποι δε δίνουν εφάμιλλα αποτελέσματα με αυτά που καταγράφονται πειραματικά.

	Blu-ray	DVD Blue	DVD
Wavelength	405nm	405nm	650nm
NA	0.85	0.65	0.60
Cover thickness	0.1mm	0.6mm	0.6mm
Capacity (proportional)	24.3 GB	14.2 GB	4.7 GB
Tilt	0.64deg.	0.33deg.	0.70deg.
Thickness error	±3.0μm	±13μm	±30μm
	±3.0μm/100μm = ±3.0 %	±13μm/600μm = ±2.2 %	±30μm/600μm = ±5.0 %
Defocus	±0.22μm	±0.42μm	±0.80μm

Πίνακας 2.2 : Οπτικές Ανέχειες.

Πρέπει να αναφερθεί πως για το ROM δίσκο η απόσταση μεταξύ των bit είναι 111.75nm για δίσκο 25GB (267nm), η γραμμική ταχύτητα περιστροφής για εφαρμογές ταινίας 7.367m/s (3.49 m/s) ενώ ο μέγιστος ρυθμός δεδομένων για εφαρμογές ταινίας 59.948 Mbits/s (10.08 Mbits/s).Στις παρενθέσεις είναι η αντίστοιχη τιμή για τα DVD. Όπως φαίνεται, απλός διπλασιασμός της ταχύτητας περιστροφής αποδίδει σχεδόν πενταπλάσιο ρυθμό δεδομένων λόγω της αύξησης του NA και της μείωσης του λ.

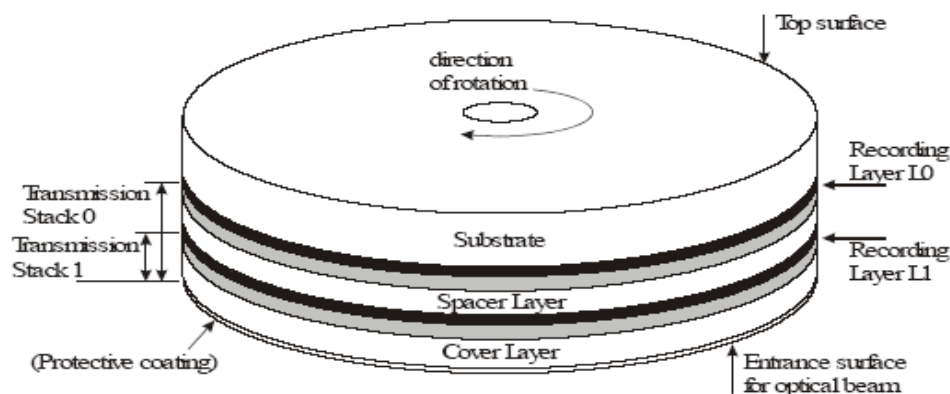
2.1.3) Δίσκος Δύο Στρωμάτων (Dual Layer Disc)

Ένα ακόμα από τα χαρακτηριστικά του BD είναι η υποστήριξη δίσκων δύο στρώσεων (Dual-Layer Discs). Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η δομή ενός δίσκου δύο στρώσεων. Σε ένα τέτοιο δίσκο υποστηρίζονται χωρητικότητες 46.6 / 50 / 54 GB (23.3 /25 /27 GB ανά layer). Περισσότερες από 4 ώρες HDTV και 20 ώρες SDTV

είναι δυνατόν να αποθηκευθούν σε ένα τέτοιο δίσκο. Το πάχος του πλαστικού υποστρώματος των Dual-Layer BD θα είναι ίσο με 100μm όπως ακριβώς και στα Single-Layer BD. Η δημιουργία ενός DL-BD απαιτεί την επίλυση τεχνικών και κατασκευαστικών ζητημάτων.

Στο DL-BD το δεύτερο (πίσω, rear) layer δημιουργείται σε ένα πολυανθρακικό υπόστρωμα πάχους 1.1mm με ένα αυλάκι οδηγό (guide groove) για την ευθυγράμμιση. Στη συνέχεια σχηματίζεται το πάχους 25 μm spacer layer αποτελούμενο από ρετσίνι, πάνω στο οποίο δημιουργείται το πρώτο (front) Layer. Τέλος, σχηματίζεται το 75μm πάχους στρώμα καλύμματος (cover layer). Το κατώφλι κλίσης (tilt) του μπροστά στρώματος είναι ευρύτερο σε σχέση με αυτό του πίσω λόγω του μικρότερου πάχους του πρώτου, που το κάνει λιγότερο επιρρεπές στη σφαιρική απόκλιση. Το πρόβλημα στα παραπάνω έγκειται στο ότι το στρώμα καλύμματος είναι πολύ λεπτό για να σχηματίσει το απαραίτητα guide groove. Λύση στο παραπάνω δόθηκε αντιγράφοντας το guide groove για το front layer στη πλευρά του spacer layer σαν μια διαδικασία αποτύπωσης.

Ένα δεύτερο πρόβλημα αφορά το πρώτο στρώμα εγγραφής, για τη λύση του οποίου καθορίστηκαν συγκεκριμένες προδιαγραφές.



Σχήμα 2.4 : Δομή BD Δύο Στρώσεων

1. Εκπομπή (Transmittance)

Επειδή το δεύτερο στρώμα εγγράφεται δια μέσω του πρώτου πρέπει το τελευταίο να έχει μια αρκετά μεγάλη τιμή εκπομπής. Είναι φυσικό λοιπόν το πρώτο στρώμα να διαβάζεται και εγγράφεται με μια συγκεκριμένη φωτεινή ισχύ, γι' αυτό και η ιδανική τιμή για την εκπομπή πρέπει να είναι 50% ώστε να διαμοιράζεται εξίσου το φως και στα δύο στρώματα.

2. Διατήρηση εκπομπής πριν και μετά την εγγραφή

Από τη στιγμή που το DL-BD υποστηρίζει τυχαίες μεθόδους πρόσβασης κατά την εγγραφή είναι δυνατόν ορισμένες φορές να γραφούν και αναπαραχθούν δεδομένα από το δεύτερο στρώμα ενώ υπάρχουν εγγεγραμμένες και άδειες περιοχές στο πρώτο.

Αν η τιμή της εκπομπής εξαρτάται από το αν μια περιοχή είναι άδεια ή όχι, η ένταση της ακτινοβολίας που θα φτάνει στο πίσω στρώμα θα κυμαίνεται, με αρνητικά αποτελέσματα για την εγγραφή και την ανάγνωσή του. Επιβάλλεται συνεπώς να διατηρείται σταθερή η τιμή της τόσο πριν όσο και μετά την εγγραφή του δίσκου.

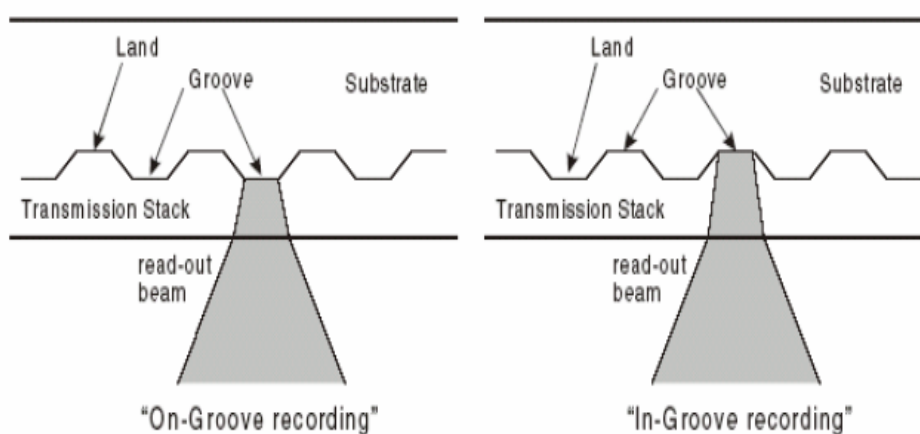
3. Ισορροπία ταχύτητας ψύξης και κρυστάλλωσης.

Τα υλικά αλλαγής φάσης από τα οποία κατασκευάζεται ο δίσκος, γίνονται άμορφα κατά την εγγραφή του δίσκου αφού θερμαίνονται με laser υψηλής ισχύος με αποτέλεσμα να απαιτείται ψύξη τους, και κρυσταλλώνονται κατά τη διαγραφή του δίσκου εξαιτίας της θέρμανσής τους από laser μέσης ισχύος. Για να γίνει το πρώτο στρώμα ημιδιάφανο, οι μεμβράνες ανάκλασης και εγγραφής τείνουν να γίνουν λεπτότερες σε σχέση με τους συμβατούς δίσκου. Για το λόγο αυτό παρουσιάζονται προβλήματα μείωσης των δύο προαναφερθεισών ταχυτήτων.

Κεφάλαιο 3

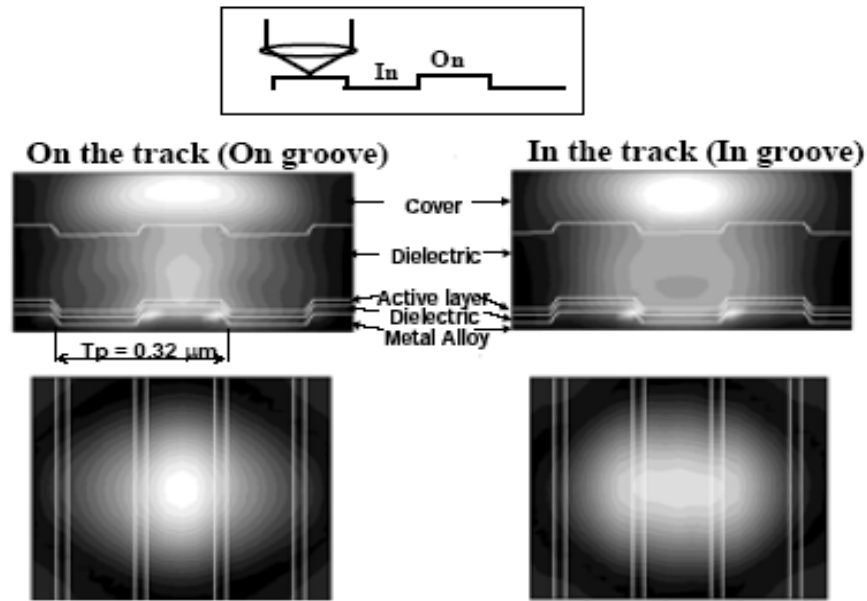
Τεχνολογίες Εγγραφής Και Αναπαραγωγής

Αρχικά συζητήθηκαν δύο τρόποι εγγραφής, in groove και on groove. Η επεξήγηση αυτών φαίνεται σχηματικά στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 3.1). Σε αυτόν τον τρόπο εγγραφής (groove recording), οι λόφοι (lands) συνορεύουν με δύο γειτονικά τους αυλάκια (grooves), εμποδίζοντας έτσι τη διάχυση θερμότητας μεταξύ αυτών και συντελώντας στη διατήρηση της ποιότητας του σήματος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στο BD λόγω του πολύ στενού track pitch ($0.32\ \mu\text{m}$) μεταξύ των αυλάκων. Αναφέρθηκε πιο πάνω πως το BD παρέχει χωρητικότητα 25 GB για ένα δίσκο ενός στρώματος. Αυτό δεν είναι απόλυτα σωστό. Η χωρητικότητα που διαθέτει το BD ποικίλει και μπορεί να είναι 23.3 / 25 / 27 GB. Αυτό εξαρτάται από τη γραμμική πυκνότητα εγγραφής δεδομένου του track pitch. Το ελάχιστο μήκος μεταξύ δύο σημείων που μπορούν να εγγραφούν (marks) είναι $0.160 / 0.149 / 0.138\ \mu\text{m}$ αντίστοιχα για τις τρεις διαφορετικές χωρητικότητες.



Σχήμα 3.1 : On-Groove και In-Groove Εγγραφή

Επικράτησε ο δεύτερος τρόπος και αυτό γιατί με τις τιμές των παραμέτρων του BD (μήκος κύματος, NA) αποδείχθηκε πειραματικά πως για την in-groove περίπτωση η ενέργεια της ακτίνας εγγραφής επεκτείνεται κατά τέτοια διεύθυνση ώστε να επηρεάζει και τα γειτονικά αυλάκια (Σχήμα 3.2).



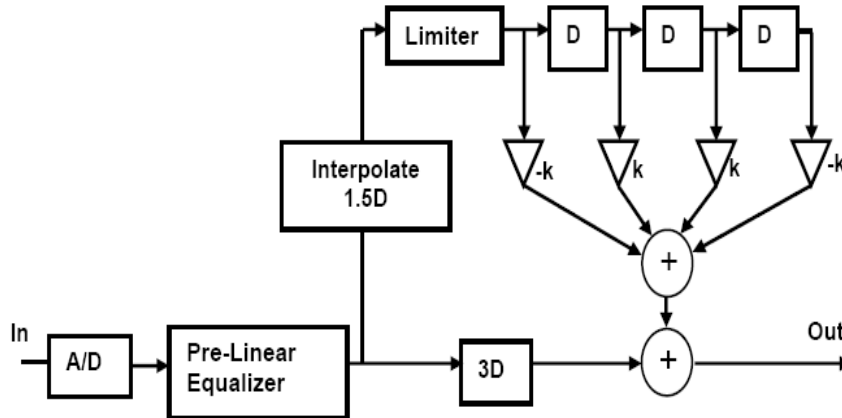
Σχήμα 3.2 : Ενέργεια Της Ακτίνας Εγγραφής για τους δυο τρόπους εγγραφής

Στην οπτική εγγραφή δεδομένων υψηλής πυκνότητας, εμφανίζεται διασυμβολική παρεμβολή εκεί που οι άκρες των σημείων εγγραφής (marks) αλλάζουν σύμφωνα με την κατάσταση εγγραφής. Για την αποφυγή της μείωσης της ποιότητας του εγγεγραμμένου σήματος εξαιτίας της διασυμβολικής παρεμβολής το BD χρησιμοποιεί μια τεχνολογία καλούμενη “**Adaptive Mark Compensation**”. Με αυτή προσαρμόζει το σημείο έναρξης της ακτινοβολίας του laser και το εύρος του παλμού για κάθε σημείο ώστε να αποφεύγεται η παρεμβολή.

Το ελάχιστο μήκος ενός σημείου εγγραφής, λόγω του “17PP” κώδικα, είναι μικρότερο από το μέγεθος της οπτικής κηλίδας. Αυτό οδηγεί σε εγγραφή υψηλής πυκνότητας, άρα και σε μεγάλο αριθμό λαθών κατά την αναπαραγωγή. Για την μείωση αυτού του αριθμού χρησιμοποιείται παράλληλα με τον ECC και η τεχνολογία επεξεργασίας σήματος “**Partial Response Maximum Likelihood**”, η οποία είναι κατάλληλη για αναπαραγωγή δεδομένων υψηλής πυκνότητας.

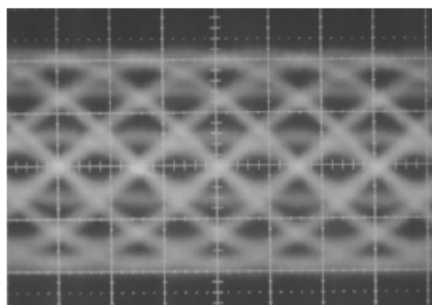
Τέλος, ένα σύστημα αναπαραγωγής σήματος χρησιμοποιεί γραμμικό ισοσταθμιστή (linear equalizer) για τη βελτίωση του λόγου σήματος προς θόρυβο (SNR) γύρω από τα σημεία ελάχιστου μήκους και να καταστείλει τη διασυμβολική παρεμβολή. Ο θόρυβος του δίσκου υπάρχει κυρίως στις χαμηλές συχνότητες. Όταν οι υψηλές συχνότητες γύρω από τα σημεία ελάχιστου μήκους ενισχύονται με τη χρήση γραμμικού ισοσταθμιστή, το σήμα σε αυτά μπορεί να ενισχυθεί αρκετά με πολύ μικρή αύξηση του θορύβου. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να βελτιωθεί ο τελικός λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR). Όμως η βελτίωση αυτή έχει ένα όριο καθώς υπέρμετρη ενίσχυση των υψηλών συχνοτήτων οδηγεί σε διασυμβολική παρεμβολή και άρα μείωση του SNR. Ένας “**Limit Equalizer**” που χρησιμοποιεί το BD είναι ένας ισοσταθμιστής ο οποίος δεν επηρεάζεται από τη διασυμβολική παρεμβολή. Το Σχήμα 3.3 δείχνει έναν τέτοιο για κώδικα διαμόρφωσης “17PP”. Στο σύστημα αυτό ένας προ-ισοσταθμιστής, ο οποίος είναι ένας τυπικός γραμμικός ισοσταθμιστής,

μειώνει τη διασυμβολική παρεμβολή στην αρχή. Ο limit equalizer ακολουθεί μετά από αυτόν.

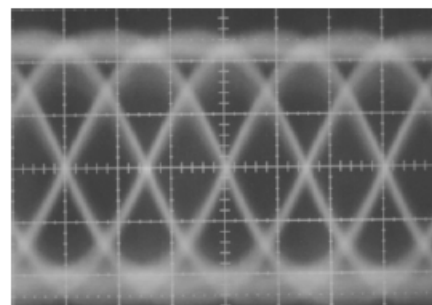


Σχήμα 3.3 : Limit Equalizer

Πιο συγκεκριμένα, από τη στιγμή που το BD υιοθετεί εγγραφή υψηλής πυκνότητας και κώδικα διαμόρφωσης “17PP” το ελάχιστο μήκος δύο εγγράψιμων σημείων (mark) είναι μικρότερο από αυτό των συμβατικών δίσκων, άρα το SNR είναι χαμηλό. Η αποκωδικοποίηση Viterbi στον οδηγό δίσκου, μπορεί να αντισταθμίσει τον χαμηλό λόγο σήματος προς θόρυβο, ώστε να επιτευχθεί καλή απόδοση αναπαραγωγής. Το αποτέλεσμα της αποκωδικοποίησης Viterbi είναι απόφαση 1/0 και είναι μικρής ευαισθησίας, συνεπώς δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε οπτικούς δίσκους. Το jitter των σημάτων που επεξεργάζονται από ένα γραμμικό ισοσταθμιστή κυριαρχείται από τα συστατικά εκείνα που αποδίδονται στο θόρυβο του δίσκου παρά στα συστατικά που αποδίδονται στην ποιότητα των εγγράψιμων σημείων, κάνοντας δύσκολο να καθοριστεί αν η εγγραφή είναι η βέλτιστη ή όχι. Γι’ αυτό η χρήση ενός γραμμικού ισοσταθμιστή δεν είναι κατάλληλη για την εκτίμηση οπτικών δίσκων. Ο limit equalizer που χρησιμοποιείται στο BD μπορεί να βελτιώσει το SNR αλλά και να μετρήσει το jitter. Με τη χρήση του είναι εφικτός ο προσδιορισμός της ποιότητας των εγγεγραμμένων σημείων με μεγάλη ευαισθησία.



With a conventional linear equalizer



With the Limit equalizer

Σχήμα 3.4 : Διαγράμματα Μαιού για Linear και Limit Equalizer

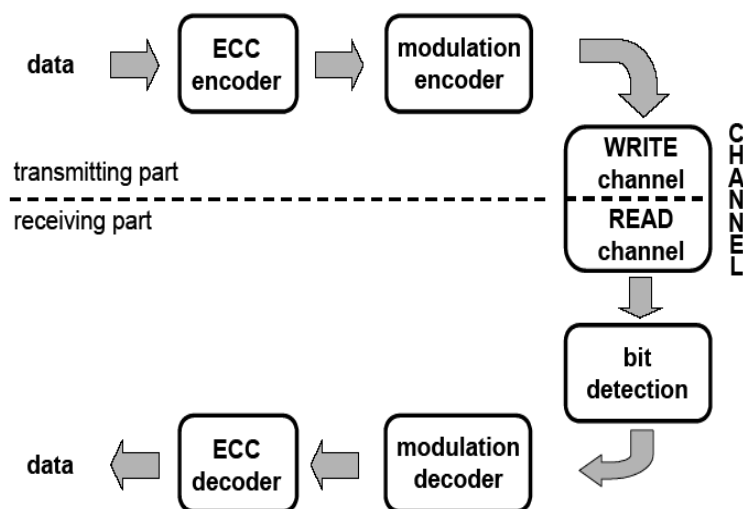
Κεφάλαιο 4

Κωδικοποίηση Καναλιού

4.1) Blu-Ray

4.1.1) Γενικά

Οι κώδικες διαμόρφωσης και ελέγχου λαθών αποτελούν ένα από τα βασικά στοιχεία στα οπτικά συστήματα αποθήκευσης. Σε ένα τέτοιο σύστημα μπορούμε να συναρτήσουμε δύο μέρη, αυτό της εκπομπής που περιλαμβάνει το κανάλι εγγραφής δεδομένων στο δίσκο και της λήψης το οποίο εμπεριέχει το κανάλι της ανάγνωσης δεδομένων(Σχήμα4.1).



Σχήμα 4.1 : Τα μέρη ενός οπτικού συστήματος αποθήκευσης

Προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη αξιοπιστία, τα δεδομένα κωδικοποιούνται πριν αποθηκευτούν. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει συνήθως έναν κώδικα ελέγχου λαθών (Error Correction Code, ECC) και έναν κώδικα διαμόρφωσης (Modulation Code, MC). Ο κωδικοποιητής καναλιού στο άκρο του πομπού περιλαμβάνει τον ECC κωδικοποιητή και τον MC κωδικοποιητή. Στο άκρο του δέκτη γίνεται η φυσική ανίχνευση του σήματος με τη σάρωση των πληροφοριών από κεφαλή ανάγνωσης, ακολουθεί η ανίχνευση των bits η οποία αποσκοπεί στην εξαγωγή των τιμών των bit από τις μετρούμενες τιμές όσο πιο σωστά γίνεται και τέλος ακολουθούν οι αποκωδικοποιητές MC και ECC.

Ο ECC προσθέτει πλεόνασμα με τη μορφή bits ισοτιμίας ώστε να μπορεί να εξαχθεί η σωστή πληροφορία ακόμα και μέσα από ατέλειες του καναλιού, όπως

τυχαία ή υπό μορφή καταγισμού λάθη που μπορεί να προκληθούν κατά την ανάγνωση των δεδομένων. Ο MC χρησιμεύει στη μετατροπή αυθαίρετων δυαδικών ακολουθιών σε ακολουθίες με συγκεκριμένες επιθυμητές ιδιότητες. Μια σημαντική ιδιότητα είναι οι ακολουθίες να μην περιέχουν πολύ μεγάλες σειρές από συνεχόμενα “0” ή “1”.

4.1.2) Κώδικας Διαμόρφωσης

Στην απτική εγγραφή, η διαμόρφωση φυσικών σημάτων αφορά δύο φυσικές καταστάσεις του δίσκου. Το επίπεδο (υψηλό ή χαμηλό) της ανακλαστικότητας των pits ή των lands. Μια κατάσταση μπορεί να συμβολιστεί με το “1” ενώ η άλλη με το “0”. Η αναπαράσταση αυτή είναι ευρέως γνωστή σαν NRZI. Μια ισοδύναμη παράσταση είναι η NRZ όπου το “1” συμβολίζει την αρχή ενός pit ή land και το “0” τη συνέχισή του. Μια σειρά από bits NRZI μπορεί να καταταμηθεί σε μικρότερα τμήματα, καλούμενα runs. Το καθένα από αυτά αποτελείται από μια σειρά bits ίδιου τύπου. Ο αριθμός των bits σε κάθε run καλείται runlength.

Πολύ μικρά runs οδηγούν σε μικρά πλάτη σήματος κάνοντας το σύστημα επιρρεπές σε λάθη κατά τη ανίχνευση των τιμών των bits. Αντίθετα πολύ μεγάλα runs οδηγούν σε ανακρίβειες στην ανάκληση του χρονισμού από το Phase-Locked Loop (PLL). Το PLL αναγεννά το εσωτερικό bit ρολογιού προσαρμόζοντας το σε κάθε μετάβαση. Πολύ μεγάλες σειρές από σύμβολα με λίγες μεταβάσεις μπορεί να οδηγήσουν το ρολόι σε απόκλιση. Η αντιμετώπιση των παραπάνω γίνεται με τη χρήση ενός runlength limited (RLL) κώδικα. Οι περιορισμοί ενός τέτοιου κώδικα περιγράφονται με δύο μεταβλητές, την d και την m , οι οποίες υποδηλώνουν πως το μέγιστο runlength που υποστηρίζεται είναι $m+1$ ενώ το ελάχιστο $d+1$.

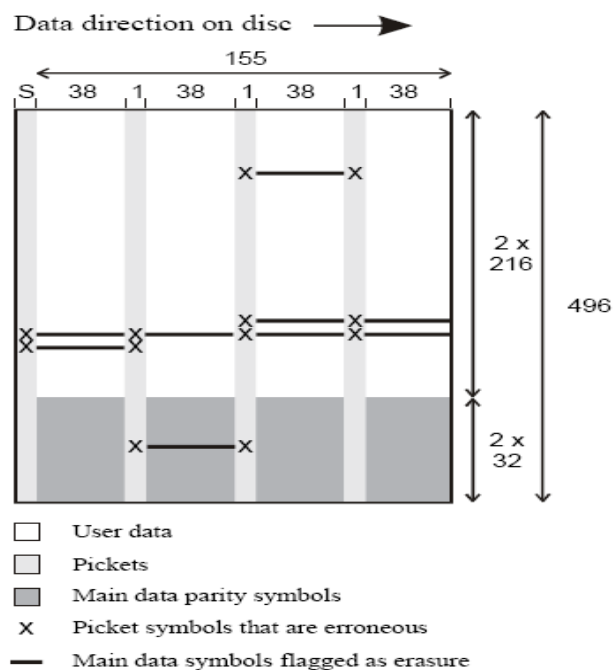
Στο BD το μέγεθος των bit είναι τόσο μικρό ώστε η εξαγωγή της κυματομορφής του σήματος εξ αιτίας της φυσικής για μια συγκεκριμένη θέση bit, να μην εξαρτάται μόνο από αυτό το bit αλλά και από ένα περιορισμένο αριθμό γειτόνων. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως διασυμβολική παρεμβολή (Inter-Symbol Interference, ISI). Η ISI χαρακτηρίζεται από την κρουστική απόκριση του καναλιού ή ισοδύναμα από τον μετασχηματισμό Fourier αυτής, γνωστή και ως συνάρτηση μεταφοράς διαμόρφωσης (Modulation Transfer Function, MTF) του καναλιού. Η MTF δηλώνει την απόκριση του καναλιού για κάθε συχνότητα. Στην οπτική εγγραφή, παρουσιάζει γραμμική μείωση μέχρι τη συχνότητα αποκοπής του καναλιού. Για το λόγο αυτό, σε μικρά run lengths που οδηγούν σε υψίσυχνα σήματα παρατηρείται μεγαλύτερο πρόβλημα λόγω ISI, κάνοντάς τα πολύ επιρρεπή σε λάθη. Επομένως απαιτείται μεγάλο d ώστε να αντιμετωπισθεί αυτό το μειονέκτημα. Όσο όμως αυξάνεται το d αποδεικνύεται πως το μήκος των bits καναλιού μειώνεται σε μεγαλύτερη ευαισθησία στο jitter, κάτι που αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα στην μεγάλη αύξηση του d . Τελικά η επιλογή της τελικής τιμής $d=1$ αποτέλεσε συμβιβασμό στους δύο παραπάνω περιορισμούς. Στις δύο αυτές τιμές των $d=1$ και $m=7$ οφείλει ο κώδικας διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται στο BD το όνομα “17PP”. Δηλαδή, ο κώδικας υποστηρίζει ελάχιστο μήκος run length $2T$ και μέγιστο $8T$ (όπου T το μήκος bit καναλιού). Ο ρυθμός συμπίεσης που επιτυγχάνει ο κώδικας είναι 2:3.

4.1.3) Κώδικας Ελέγχου Λαθών

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μπορούν να υπάρξουν δύο είδη λαθών στα οπτικά συστήματα: α) Απλά ή τυχαία λάθη που υφίστανται από θόρυβο σε συνδυασμό με άλλες πηγές παρεμβολής του σήματος όπως γέρσιμο (tilt) του δίσκου και επηρεάζουν ένα ή δύο bytes και β) λάθη καταγισμού που προκαλούνται από ατέλειες στην επιφάνεια του δίσκου όπως γρατσουνιές, σκόνη κ.α.

Το σύστημα ελέγχου λαθών πρέπει να προσαρμοστεί στο φυσικό μέσο για το οποίο προορίζεται. Το Blu-Ray επειδή έχει μικρό σημείο εστίασης, λεπτό στρώμα καλύμματος και μεγάλο αριθμητικό άνοιγμα, είναι πολύ πιο επιρρεπές στα λάθη καταγισμού απ' ότι το DVD. Η ίδια ατέλεια σε ένα BD θα επηρεάσει περισσότερα bits από ότι σε ένα DVD. Για αυτό το σύστημα ελέγχου λαθών του BD θα πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίζει πολύ μεγάλες σειρές λαθών.

Ο μέγιστος αριθμός λαθών καταγισμού που μπορεί να διορθωθεί εξαρτάται από τον αριθμό των bits ισοτιμίας. Για κάθε δύο τέτοια bits ένα παραπάνω λάθος μπορεί να διορθωθεί. Αυτό ισχύει υποθέτοντας πως δεν είναι γνωστή οποιαδήποτε πληροφορία για το λάθος εκ των προτέρων. Στην περίπτωση που η θέση του λάθους μπορεί να υπολογιστεί από πριν, απαιτείται μόνο ένα bit ισοτιμίας. Επομένως, είναι ωφέλιμο το σύστημα διόρθωσης σφαλμάτων να χρησιμοποιεί “εμπειρία” για τις θέσεις των λαθών, την οποία και αποκτά κατά τη διαδικασία της αποκωδικοποίησης. Λόγω της φύσης των λαθών αυτό δεν είναι πολύ πιθανό για τα τυχαία λάθη αλλά μπορεί να γίνει για τα λάθη καταγισμού. Απαιτείται ένας μηχανισμός ανίχνευσης λαθών καταγισμού πριν από την έναρξη της διαδικασίας της διόρθωσης.



Σχήμα 4.2 : Δομή Picket κώδικα

Το Blu-Ray χρησιμοποιεί έναν πολύ αποδοτικό κώδικα ελέγχου λαθών καταγισμού, έναν picket κώδικα. Η δομή αυτού του κώδικα φαίνεται στο σχήμα 4.2. Τα pickets είναι στήλες, οι οποίες εισέρχονται ανάμεσα στις στήλες των κυρίως δεδομένων ανά τακτά διαστήματα. Τα κυρίως δεδομένα προστατεύονται από ένα

κώδικα Reed Solomon ο οποίος είναι δυνατός και αποτελεσματικός. Τα pickets προστατεύονται και αυτά με ένα δεύτερο, ανεξάρτητο και ιδιαίτερα δυνατό Reed Solomon κώδικα. Κατά την αποκωδικοποίηση, πρώτα διορθώνονται οι στήλες των pickets. Από τις πληροφορίες που λαμβάνονται από τη διόρθωση μπορούν να υπολογιστούν οι θέσεις πιθανόν λαθών καταγισμού στα κυρίως δεδομένα.

Ένα block ECC μπορεί να χωρέσει 64K δεδομένων σε ένα BD. Τα δεδομένα αυτά προστατεύονται από έναν Long Distance Code (LDC) ο οποίος διαθέτει 304 κωδικές λέξεις με μήκος 248 συμβόλων η κάθε μία (216 σύμβολα πληροφορίας και 32 σύμβολα ισοτιμίας). Οι κωδικές αυτές λέξεις συμπλέκονται κάθετα ανά δύο όπως φαίνεται στο προηγούμενο σχήμα, σχηματίζοντας ένα block αποτελούμενο από 152x496 bytes. Ένα τέτοιο block στο Blu-Ray περιέχει 4 ισαπέχουσες στήλες από pickets. Το πλέον αριστερό από αυτά δημιουργείται από διάφορα πρότυπα συγχρονισμού στην αρχή κάθε σειράς. Αν τα πρότυπα αυτά δεν ανιχνευτούν σωστά τότε αυτό αποτελεί ένδειξη για λάθη καταγισμού. Τα άλλα τρία pickets προστατεύονται από τον Burst Indicator Subcode (BIS) του οποίου οι κωδικές λέξεις αποτελούνται από 30 σύμβολα πληροφορίας και 32 ισοτιμίας, έχοντας συνολικό μήκος 62 συμβόλων. Οι τελευταίες παρεμβάλλονται στις τρεις στήλες.

Επειδή τόσο ο LDC όσο και ο BIS κώδικας διαθέτουν τον ίδιο αριθμό από σύμβολα ισοτιμίας είναι απαραίτητος μόνος ένας Reed Solomon αποκωδικοποιητής και για τους δύο.

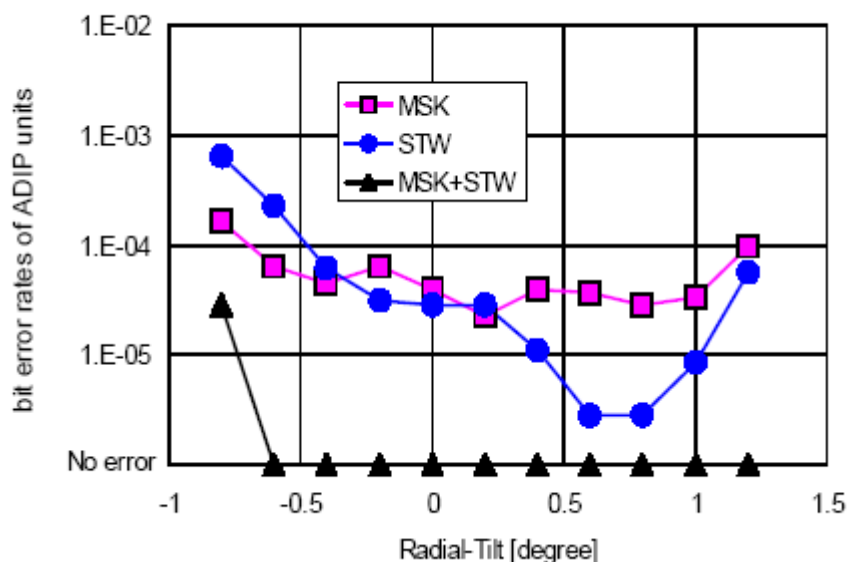
4.1.4) Διευθυνσιοδότηση

Το BD χρησιμοποιεί ένα συνεχόμενο αυλάκι (groove) διατεταγμένο κατά σπирάλ γύρω από τον εαυτό του. Ο ρόλος αυτού δεν είναι μόνο ο έλεγχος του ίχνους. Χρησιμοποιείται και για την έναρξη του χρόνου εγγραφής και κυρίως για την εμφύτευση σε ένα κενό δεδομένων ίχνος, διευθύνσεων για την αναγνώριση των σημείων των δεδομένων και των βοηθητικών δεδομένων σε όλο το δίσκο. Για την αποθήκευση αυτής της πληροφορίας, το αυλάκι διαμορφώνεται με ταλαντώσεις (wobble modulation). Το πλάτος αυτών είναι περίπου $\pm 10\text{nm}$ κατά την ακτινική διεύθυνση του δίσκου. Ο τρόπος αυτός επιλέχθηκε αντί του συστήματος Pit Addressing επειδή σε αντίθεση με το τελευταίο δεν παρουσιάζει διαστρωματικές παρεμβολές ανάμεσα στα δύο στρώματα ενός dual-layer δίσκου. Τα BD-R και BD-RW εγγράφουν πολύ μικρά σημεία υψηλής πυκνότητας. Γι' αυτό απαιτείται η ύπαρξη σταθερού ρολογιού εγγραφής μεγάλης ακρίβειας. Έτσι, η θεμελιώδης συχνότητα των ταλαντώσεων είναι μια απλή συχνότητα (single frequency) και το αυλάκι είναι ομαλό και συνεχόμενο. Με μια απλή συχνότητα είναι εύκολο να δημιουργήσουμε ένα σήμα ρολογιού εγγραφής από φιλτραρισμένα συστατικά ταλαντώσεων. Από τη στιγμή, μάλιστα που τα δεδομένα του χρήστη εγγράφονται σε συγχρονισμό με τις ταλαντώσεις, το μήκος αυτών είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τη συνολική χωρητικότητα του δίσκου (Για παράδειγμα μήκος ταλάντωσης $5.52\mu\text{m}$ συνεπάγεται 23.3GB ενώ $5.14\mu\text{m}$ 25GB).

Ταλαντώσεις βασισμένες σε απλή συχνότητα μπορούν να διαμορφωθούν περαιτέρω ώστε να συμπεριλάβουν πληροφορίες χρονισμού και διευθύνσεων. Η διαμόρφωση αυτή πρέπει να είναι ισχυρή απέναντι σε οποιοδήποτε είδος παραμορφώσεων. Τα είδη των παραμορφώσεων που προσβάλλουν έναν οπτικό δίσκο είναι τα ακόλουθα τέσσερα.

1. **Θόρυβος:** Ο θόρυβος του αυλακιού (groove noise) πηγάζει από τη ανώμαλη επιφάνεια του. Ο θόρυβος διαφωνίας δεδομένων πηγάζει από τα ίδια.
2. **Wobble Shift:** Το φαινόμενο κατά το οποίο η ταλάντωση αλλάζει από τη φυσική της θέση κατά την ανίχνευση από τη συσκευή οδηγεί σε μείωση της ευαισθησίας ανίχνευσης.
3. **Wobble Beat:** Αυτό προκύπτει από διαφωνία μεταξύ των ταλαντώσεων γειτονικών ιχνών.
4. **Ατέλειες:** Τοπικά ελαττώματα όπως σκόνη ή γρατσουνιές στην επιφάνεια του δίσκου.

Πρέπει, λοιπόν να προβλεφθούν μέτρα κατά όλων των παραπάνω παραμορφώσεων. Αυτό στο BD γίνεται χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό δύο διαφορετικών συστημάτων διαμόρφωσης με ταλαντώσεις, με τέτοια διάταξη ώστε να παράγονται συνεργατικά αποτελέσματα χωρίς παρενέργειες. Ο συνδυασμός αυτός ικανοποιεί τις απαιτήσεις για ελάχιστη παραμόρφωση, κάτι που είναι εξαιρετικά δύσκολο να επιτευχθεί με τη χρήση ενός μόνο συστήματος. Συγκεκριμένα το BD εισήγαγε ένα πλήρως καινοτόμο σύστημα διευθύνσεων αποτελούμενο από έναν Minimum Shift-Keying (MSK) διαμορφωτή και μια Saw Tooth Wobble (STW) τεχνολογία. Κάθε μια από αυτές τις δύο παρουσιάζει προτερήματα και μειονεκτήματα. Η μεταξύ τους συνεργασία οδηγεί σε δραστική μείωση των λαθών και άρα σε αύξηση του SNR. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η σύγκριση των δύο αυτών μεθόδων ξεχωριστά καθώς και σε συνδυασμό τους. Στον οριζόντιο άξονα είναι η απόκλιση της ακτίνας σε μοίρες. Παρατηρείται πως τα λάθη μειώθηκαν σημαντικά για τον συνδυασμό των δύο μεθόδων ενώ για μικρές τιμές απόκλισης ο ρυθμός τους είναι πρακτικά 0.



Σχήμα 4.3 : Ρυθμός λαθών για MSK, STW και MSK+STW

Αν και οι δύο αυτές τεχνολογίες είναι διαφορετικές, εντούτοις μπορούν να ανιχνευθούν χρησιμοποιώντας τα ίδια ετερόδυνα κυκλώματα, αποτελούμενα από έναν πολλαπλασιαστή φέρουσας, έναν ολοκληρωτή, μια βαθμίδα sample-and-hold

και ένα συγκριτή, κάνοντάς τες ιδιαίτερα συμβατές σε αυτόν τον τομέα. Οι μέθοδοι ανίχνευσης διαφέρουν στο ότι η MSK χρησιμοποιεί βασικά συχνότητα 957 KHz ενώ η STW τη δεύτερη αρμονική της (1913 KHz). Η άλλη διαφορά βρίσκεται στο σήμα χρονισμού που διευθύνει το κάθε κύκλωμα.

Κεφάλαιο 5

Εφαρμογές

5.1) Γενικές Εφαρμογές Blu-Ray

Το Blu-ray σχεδιάστηκε για να παρέχει ένα πλήθος από εφαρμογές. Οι σημαντικότερες από αυτές αναλύονται στην παρούσα ενότητα. Αναφορικά αυτές είναι:

1. *High Definition Television Recording*
2. *Διανομή High Definition Video*
3. *Δημιουργία προσωπικού αρχείου High Definition*
4. *Μεγάλος αποθηκευτικός χώρος*
5. *Διαχείριση Ψηφιακών Πόρων και Επαγγελματική Αποθήκευση*

5.1.1) High Definition Television Recording

Η εκπομπή High Definition έχει γίνει ευρέως γνωστή στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και στην Ασία, καθώς ολοένα και αυξάνει ο αριθμός των καταναλωτών που προτιμούν HDTV συσκευές ώστε να έχουν την καλύτερη δυνατή ποιότητα. Το format του Blu-Ray έχει σχεδιαστεί έτσι, ώστε να επιτρέπει την εγγραφή εκπομπών HD στην αρχική τους ποιότητα, διατηρώντας τόσο την εικόνα όσο και τον ήχο που παρέχονται από τον διανομέα. Από τη στιγμή μάλιστα που το BD συνοδεύεται από πολύ ισχυρούς αλγορίθμους προστασίας περιεχομένου, επιτρέπει την εγγραφή των εκπομπών ενώ παράλληλα ικανοποιεί το αίτημα της βιομηχανίας εκπομπής για προστασία του περιεχομένου.

5.1.2) Διανομή High Definition Video

Λόγω της τεράστιας χωρητικότητας των 25 με 50 GB ανά δίσκου, το BD μπορεί να αποθηκεύσει HD Video σε πολύ μεγάλη ανάλυση, χωρίς να γίνουν συμβιβασμοί στην ποιότητα της εικόνας και του ήχου. Ανάλογα με τον τρόπο κωδικοποίησης, μπορεί να χωρέσουν μέχρι και 7 ώρες HD video και να υπάρχει και χώρος για διάφορα extras και bonus υλικό που μπορεί να συνοδεύουν την ταινία.

5.1.3) Δημιουργία προσωπικού αρχείου High Definition

Καθώς η αγορά των συσκευών HDTV αυξάνει, μεγαλώνουν και οι απαιτήσεις των καταναλωτών για τη δημιουργία προσωπικών HD εγγραφών. Με την έλευση των ψηφιακών καμερών υψηλής ευκρίνειας, οι καταναλωτές μπορούν να μαγνητοσκοπήσουν τα δικά τους home videos σε κορυφαία ποιότητα εικόνας και

ήχου. Από τη στιγμή μάλιστα που οι κάμερες αυτές αντικαταστήσουν την ταινία που χρησιμοποιείται αρχικά με οπτικούς δίσκους νέας γενιάς οι καταναλωτές θα μπορέσουν να επωφεληθούν και από την ευκολία και την άμεση πρόσβαση σε χαρακτηριστικά που έχουν γνωρίσει από τα DVD players και recorders.

5.1.4) Μεγάλος αποθηκευτικός χώρος

Μέχρι πριν από λίγα χρόνια το CD αποτελούσε ένα ικανοποιητικό μέσο αποθήκευσης δεδομένων με τα 650 ή τα 700MB που προσέφερε. Η έλευση του DVD σηματοδότησε μια τεράστια αύξηση στον αποθηκευτικό χώρο (5 με 10 φορές) παρέχοντας 4,7 ή 8,5 GB. Οι ανάγκες των καταναλωτών όμως συνεχώς αυξάνουν. Τόσο η ευκολότερη πρόσβαση σε ευριζωνικές συνδέσεις που επιτρέπει το downloading μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων, όσο και η αύξηση των δυνατοτήτων των προσωπικών υπολογιστών πάνω σε θέματα εικόνας και ήχου, έχουν οδηγήσει τις απαιτήσεις για αποθηκευτικό χώρο σε ένα νέο επίπεδο. Το Blu-Ray, ικανοποιεί τις αυξημένες απαιτήσεις, προσφέροντας 25 με 50 GB χώρου ανά δίσκο. Τέλος, επειδή χρησιμοποιεί το ίδιο μέσο με το CD και το DVD επιτρέπει και την εγγραφή και ανάγνωση δεδομένων από αυτά τα formats.

5.1.5) Διαχείριση Ψηφιακών Πόρων και Επαγγελματική Αποθήκευση

Εξαιτίας της μεγάλης χωρητικότητας που διαθέτει, του χαμηλού κόστους ανά GB και των ευέλικτων τρόπων μεταφοράς δεδομένων ανάμεσα σε δύο συσκευές, το εν λόγω format είναι ιδανικό για Διαχείριση Ψηφιακών Πόρων (Digital Asset Management) και για διάφορες άλλες επαγγελματικές εφαρμογές που απαιτούν μεγάλο αποθηκευτικό χώρο. Ένα παράδειγμα μπορεί να είναι τα ιατρικά αρχεία τα οποία μπορεί να περιέχουν ένα πλήθος διαγνωστικών scans σε μεγαλύτερη ανάλυση.

5.2.1) High Definition MoVie (HDMV)

Το BD προσφέρει ένα πλαίσιο εργασίας για τη δημιουργία εμπειριών υψηλής ευκρίνειας, γνωστό σαν HDMV. Το τελευταίο υποστηρίζει όλα τα χαρακτηριστικά που προσέφερε μέχρι τώρα το DVD αλλά και ένα πλήθος νέων. Ορισμένα από τα στοιχεία κλειδιά του είναι τα ακόλουθα:

- ***Υποστήριξη υψηλής ευκρίνειας video και ήχου***
 - MPEG-2, MPEG-4 AVC και VC-1 video codecs
 - LPCM, Dolby Digital, Dolby Digital Plus, MLP Lossless, DTS Digital Surround, DTS-HD audio codecs
- ***Βελτιωμένες λειτουργίες «μενού»***
 - “Multi-page menus” Παρουσιάσεις μενού που μπορούν να αλλάξουν χωρίς διακοπή της αναπαραγωγής.
 - “Pop-Up menus”
 - Full Color High Definition πλήκτρα και κινούμενα εφέ
 - “Ήχοι Πλήκτρων” οι οποίοι θα ακούγονται όταν ένα πλήκτρο επιλέγεται

- **Βελτιωμένες λειτουργίες υποτίτλων**
 - Υψηλής Ευκρίνειας “Bitmap Υπότιτλοι” οι οποίοι υποστηρίζουν εικόνες πλήρους χρώματος με κινούμενα εφέ.
 - Υψηλής Ευκρίνειας “Text Υπότιτλοι”
- **Ανεξάρτητο επίπεδο γραφικών υψηλής ευκρίνειας**
 Δύο ανεξάρτητα γραφικά επίπεδα υψηλής ευκρίνειας και video επίπεδο απλοποιούν τη διαδικασία δημιουργίας των γραφικών τόσο των μενού όσο και των υποτίτλων.
 - **Επιπρόσθετα χαρακτηριστικά**
 “Browsable Slideshow” Οι ακίνητες εικόνες μπορούν να απεικονισθούν και να αλλάξουν χωρίς παύση της ηχητικής ροής.

5.2.1.1) Λειτουργίες HDMV

➤ **Out-Of-Mux stream Framework**

Μια Out-Of-Mux ροή είναι μια επιπλέον ροή η οποία αποκωδικοποιείται ενώ αποκωδικοποιείται η κύρια MPEG ροή. Το συγκεκριμένο πλαίσιο εργασίας επιτρέπει παρέχει υποστήριξη σε νέες εφαρμογές όπως pop-up μενού, ήχους πλήκτρων και εμφάνιση υποτίτλων κειμένου.

Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση δύο buffers ανάγνωσης, δύο preloading buffers και δύο διακοπών. Στο δεύτερο από τα τις ανάγνωσης γίνεται η αποκωδικοποίηση της ροής Out-Of-Mux χωρίς να επηρεάζεται η ταυτόχρονη αποκωδικοποίηση της κυρίας ροής. Στα δύο preloading αποθηκεύονται οι πληροφορίες υποτίτλων κειμένου, γραφικών αλληλεπίδρασης και ηχητικών εφέ πριν από την έναρξη της αναπαραγωγής της MPEG ροής και είναι προσβάσιμες ακόμα και κατά τη διάρκεια της αποκωδικοποίησης της κυρίας ροής.

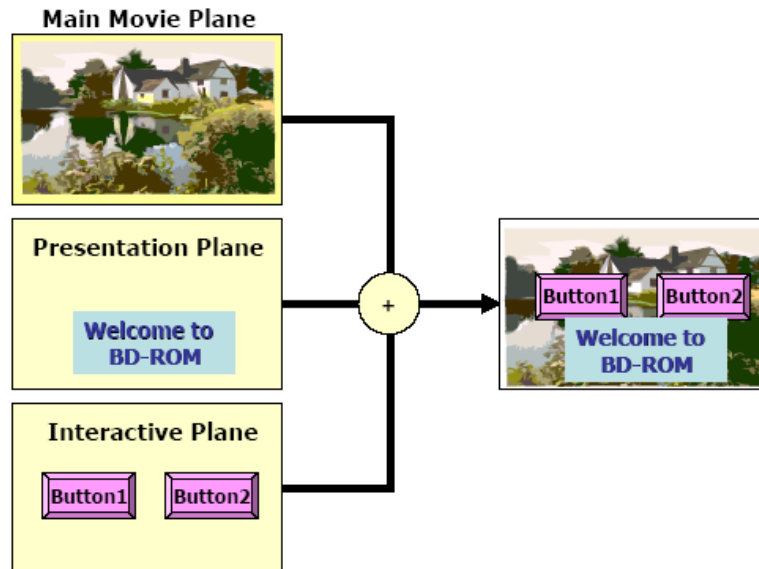
Οι δύο διακόπτες χρησιμεύουν στην εναλλαγή των Video και Audio αποκωδικοποιητών με τα buffers.

➤ **Graphics Framework (Πλαίσιο Εργασίας Γραφικών)**

Το HDMV υποστηρίζει δύο πλαίσια εργασίας γραφικών. Το πρώτο αφορά το σύστημα αλληλεπιδρώντων γραφικών και το δεύτερο στο σύστημα παρουσίασης γραφικών.

Η ροή του συστήματος αλληλεπιδρώντων γραφικών χρησιμοποιείται για την παροχή τόσο της απεικόνισης όσο και των κατάλληλων εντολών για γραφική αλληλεπίδραση κατά τη διάρκεια μιας παρουσίασης HDMV.

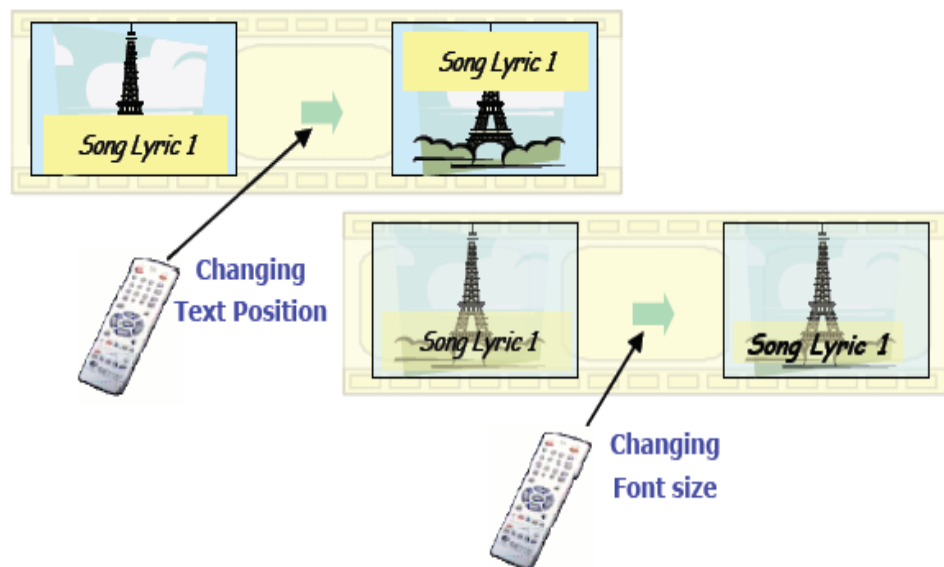
Αντίθετα η ροή του συστήματος παρουσίασης γραφικών θα χρησιμοποιείται για υπηρεσίες υποτίτλων και κινούμενων γραφικών κατά τη διάρκεια μιας παρουσίασης HDMV. Στο επόμενο σχήμα (5.1) φαίνεται πως μπορεί να υλοποιηθεί μια εφαρμογή των παραπάνω. Σε αυτό η κύρια ροή δεδομένων συνδυάζεται με αυτές των συστημάτων γραφικών interactive και presentation.



Σχήμα 5.1 : Εφαρμογή Interactive και Presentation System Graphics

➤ **Text Subtitle Framework (Πλαίσιο Εργασίας Υποτίτλων)**

Το HDMV υποστηρίζει υπότιτλους κειμένου με γραφικά. Αυτό επιτρέπει στον παροχέα να δημιουργεί εφαρμογές υποτίτλων αποτελούμενων από κείμενο αλλά με τη δυνατότητα να σχεδιαστούν και να παρουσιαστούν με ιδιαίτερο στυλ. Οι υπότιτλοι μπορούν να συνοδεύονται με γραφικά και επιτρέπεται η αλλαγή της γραμματοσειράς, το μέγεθος των γραμμάτων καθώς και η θέση απεικόνισης στην οθόνη (Σχήμα 5.2).



Σχήμα 5.2 : Δυνατότητα επιλογής διαφορετικών στυλ υποτίτλων

Η Text Subtitle ροή αποθηκεύεται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, σαν Out-Of-Mux ροή και δεν προσμετράται στο συνολικό οπτικοακουστικό bandwidth, δηλαδή δεν αλλοιώνει καθόλου την ποιότητα της εικόνας.

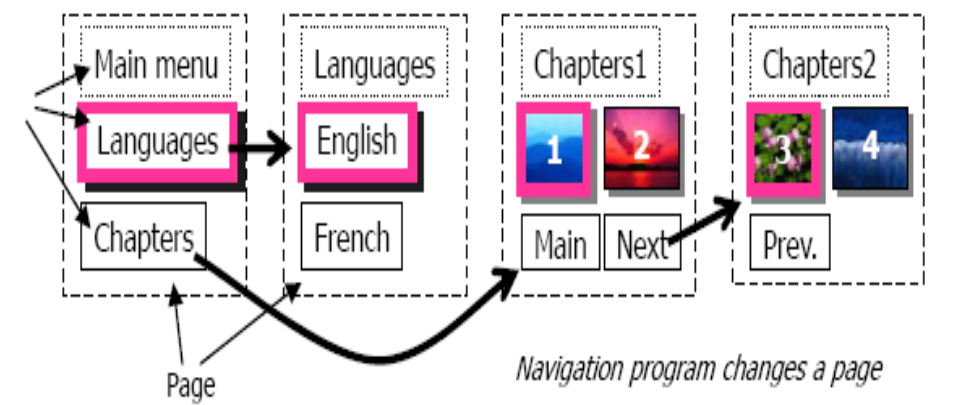
➤ **Interactivity Framework (Πλαίσιο Εργασίας Αλληλεπίδρασης)**

Το συγκεκριμένο πλαίσιο εργασίας υποστηρίζει τριών ειδών μενού, τα pop-up menu, τα always-on menu και multi-page menu καθώς και ενεργοποίηση και απενεργοποίηση πλήκτρων.

Τα pop-up menus μπορούν να εμφανιστούν στην οθόνη μετά την έναρξη της αναπαραγωγής του video με μορφή αλληλεπιδρώντος περιεχομένου. Κατά την εμφάνισή τους, η αναπαραγωγή μπορεί είτε να συνεχιστεί ανεπηρέαστη, είτε να σταματήσει προσωρινά.

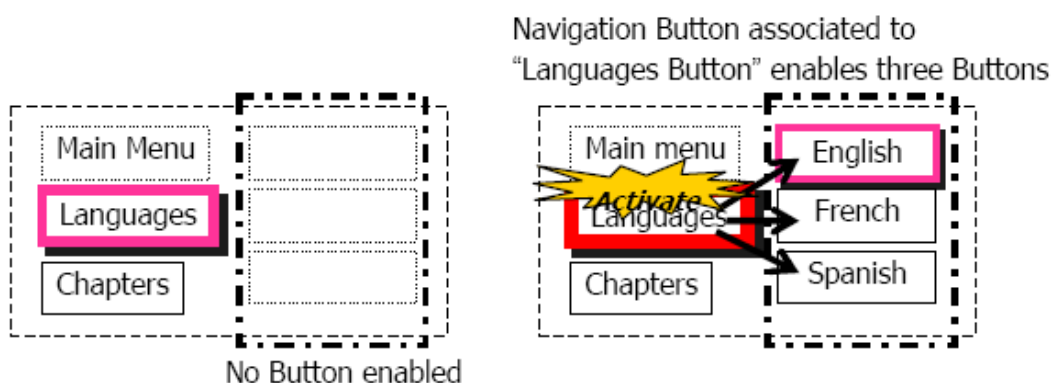
Τα always-on menus είναι μενού τα οποία δε μπορούν να εξαφανιστούν από την οθόνη μετά από απαίτηση του χρήστη.

Τέλος, τα multi-page menus χρησιμεύουν στην οργανωμένη παρουσίαση των δεδομένων που βρίσκονται αποθηκευμένα σε ένα δίσκο Blu-Ray, με τη βοήθεια ειδικών εντολών για εσωτερική πλοήγηση εντός των σελίδων. Για παράδειγμα, με το πάτημα ενός πλήκτρου “Languages”, εκτελείται μια εντολή πλοήγησης και γίνεται άμεσα η μεταφορά σε μια νέα σελίδα που υποδεικνύεται από το πλήκτρο (Σχήμα 5.3).



Σχήμα 5.3 : Παράδειγμα Multi-Paged Menu

Η λειτουργία ενεργοποίησης και απενεργοποίησης πλήκτρων είναι πανομοιότυπη με τη λειτουργία multi-page μενού, απλά αντί να γίνει μεταφορά σε νέα σελίδα, ενεργοποιούνται νέες επιλογές στην τρέχουσα σελίδα. Ένα παρόμοιο παράδειγμα με αυτό του σχήματος 5.3 φαίνεται στο σχήμα 5.4.



Σχήμα 5.4 : Παράδειγμα ενεργοποίησης και απενεργοποίησης πλήκτρων

➤ **Command Framework (Πλαίσιο Εργασίας Εντολών)**

Αυτή η πλατφόρμα επιτρέπει στον παροχέα τον προγραμματισμό της συμπεριφοράς των μενού και της αναπαραγωγής. Υπάρχουν δύο είδη αντικειμένων που περιέχουν εντολές πλοήγησης, τα Movie Objects και τα Button Objects.

5.2.2) BD-J

Το BD προσφέρει ένα πλήρως προγραμματιζόμενο περιβάλλον εφαρμογής με δυνατότητα για σύνδεση και ανταλλαγή δεδομένων με το Internet. Έτσι, δίνει τη δυνατότητα στους παροχείς να δημιουργήσουν τίτλους υψηλού επιπέδου αλληλεπίδρασης και πλήρως ενημερώσιμους. Το περιβάλλον αυτό βασίζεται στην πλατφόρμα Java και είναι γνωστό ως BD-J.

6.2.2.1) Λειτουργίες BD-J

Το BD-J παρέχει ένα πλήθος λειτουργιών, αρκετά σημαντικών. Μερικές από αυτές συζητούνται στη συνέχεια.

➤ *Εκτέλεση/Διαχείριση Εφαρμογής*

Η βασική έννοια πίσω από το BD-J είναι το BD-J Object. Αυτό είναι ένα Java Xlet που χρησιμοποιείται από τον Πίνακα Διαχείρισης Εφαρμογής (Application Management Table - AMT). Κάθε τίτλος στον δίσκο, ή ακόμα και ο ίδιος ο δίσκος, διαθέτει ένα AMT. Κάθε AMT διαθέτει μια εφαρμογή “Autostart”, η οποία αναλαμβάνει την έναρξη της αναπαραγωγής όταν επιλέγεται ο εν λόγω τίτλος.

➤ *Πλαίσιο Εργασίας Γραφικού Περιβάλλοντος (GUI) και Διεπαφή Χρήστη*

Το γραφικό περιβάλλον μπορεί να ενεργοποιηθεί από ένα χειριστήριο με το κατάλληλο σετ από πλήκτρα. Το σετ αυτό πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον τα πλήκτρα που απαιτούνταν για τις User Operations στις εφαρμογές HDMV.

➤ *Οπτικοακουστική Αναπαραγωγή και Έλεγχος Γλωσσών Audio/Υποτίτλων*

Η βασική μονάδα πίσω από την αναπαραγωγή σε μια BD-J εφαρμογή είναι όπως ακριβώς και στην HDMV η playlist. Όλες οι λειτουργίες της HDMV, εκτός από τα Interactive Γραφικά τα οποία έχουν αντικατασταθεί από τα BD-J γραφικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μια BD-J εφαρμογή. Υποστηρίζονται λειτουργίες όπως video, audio, Presentation Γραφικά, Text Υπότιτλοι, έλεγχος του ρυθμού αναπαραγωγής(Playback Rate).

Η συσκευή video BD-J είναι ένας συνδυασμός των επιπέδων HDMV video και Presentation Graphics. Τα δύο τελευταία αναπαράγονται από τη BD-J video device.

➤ *Μοντέλο Συσκευής*

Το BD-J περιλαμβάνει μια συσκευή η οποία «χαρτογραφεί» τους πόρους του BD. Μια από τις υποσυσκευές αυτής είναι η συσκευή οθόνης (screen device) η οποία αποτελείται από τρία επίπεδα. Αυτά, με διάταξη από το βάθος της οθόνης προς τα έξω είναι το επίπεδο υπόβαθρου (background), video και γραφικών Java.

Οι αναλύσεις που υποστηρίζονται από τις παραπάνω συσκευές είναι συμβατές με τις αναλύσεις του video format. Το επίπεδο γραφικών υποστηρίζει 32-bit χρώματα RGB.

➤ *Λειτουργίες Γραφικών, Κειμένου, Audio Clips*

Το BD-J περιλαμβάνει βιβλιοθήκες Java για αποκωδικοποίηση και απεικόνιση εικόνων JFIF (JPEG), PNG και διαφόρων άλλων formats εικόνων. Αυτές μπορούν να προβληθούν στο επίπεδο γραφικών Java κάνοντας χρήση κάποιων εξελεγχόμενων

χαρακτηριστικών του. Μια εικόνα μπορεί ακόμα να μεταδοθεί στο επίπεδο υποβάθρου.

Το κείμενο προβάλλεται χρησιμοποιώντας μια vector-based γραμματοσειρά η οποία μπορεί να προέρχεται από το δίσκο, από τη συσκευή αναπαραγωγής ή και να είναι κατεβασμένη από το Internet. Η διαδικασίες κειμένου χρησιμοποιούν μια εξελιγμένη διάταξη η οποία ενοποιείται με το περιβάλλον χρήστη BD-J.

Οι ήχοι πλήκτρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Οι ήχοι αυτοί μπορούν να αποθηκευτούν και να κληθούν σαν αποτέλεσμα ενός γεγονότος που σηματοδοτήθηκε από μια εφαρμογή BD-J, όπως για παράδειγμα το πάτημα ενός πλήκτρου ή ένα γεγονός της ταινίας.

➤ ***Έλεγχος πρόσβασης, αυξημένη ασφάλεια***

Το BD-J χρησιμοποιεί το μοντέλο ασφάλειας Java 2 για να πιστοποιήσει υπογεγραμμένες εφαρμογές και να τους παραχωρήσει την άδεια να εκτελέσουν διάφορες λειτουργίες.

Εφαρμογές των οποίων η αυθεντικότητα έχει πιστοποιηθεί μπορούν να λάβουν άδεια για την εκτέλεση ενός πλήθους λειτουργιών όπως η εγγραφή και η ανάγνωση από του συστήματος ή τον τοπικό αποθηκευτικό χώρο, η σύνδεση με το Internet, η πρόσβαση στα περιεχόμενα του BD και η πρόσβαση στις BD-J εφαρμογές.

➤ ***Δυνατότητα σύνδεσης με το Διαδίκτυο***

Το BD-J περιλαμβάνει το πακέτο δικτύου Java. Με τη χρήση του συγκεκριμένου πακέτου οι εφαρμογές μπορούν να συνδέονται σε προκαθορισμένους servers στο Διαδίκτυο. Η σύνδεση στο φυσικό επίπεδο μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους (Ethernet, τηλεφωνική γραμμή). Στο επίπεδο δικτύου χρησιμοποιείται το TCP/IP ενώ υποστηρίζεται και το HTTP. Επιπλέον, για προστασία περιλαμβάνεται και το πακέτο Java για ασφαλείς συνδέσεις (JSSE).

Ορισμένες εφαρμογές που επιτρέπει η δυνατότητα σύνδεσης με το Διαδίκτυο είναι το downloading νέων υποτίτλων για την ταινία σε γλώσσες που δεν έχουν περιληφθεί στην αρχική της έκδοση ή του trailer της ταινίας και η on-line εκτέλεση Java εφαρμογών (παιχνίδια).

➤ ***Τοπική/Συστήματος Αποθήκευση***

Το BD-J θα περιλαμβάνει αποθηκευτικό χώρο, διαθέσιμο στη συσκευή αναπαραγωγής. Διακρίνεται ο υποχρεωτικός χώρος αποθήκευσης συστήματος και ο προαιρετικός τοπικός.

Το ελάχιστο μέγεθος του πρώτου πρέπει να επιτρέπει την αποθήκευση διαφόρων ρυθμίσεων ή στατιστικών. Δεν είναι αρκετά μεγάλος ώστε να υποστηρίζει οπτικοακουστικό υλικό προερχόμενο από το Internet. Για αυτό το σκοπό είναι διαθέσιμος ο τοπικός αποθηκευτικός χώρος.

Επειδή ο αποθηκευτικός χώρος θα είναι διαθέσιμος από κοινού για κάθε δίσκο, ο έλεγχος πρόσβασης Java δίνει σε κάθε δίσκο άδεια για πρόσβαση μόνο σε μια οριοθετημένη για αυτόν περιοχή του χώρου.

Πηγές

[1] : www.blu-raydisc.com

[2] : “Physical Format Specifications For BD-RE”, White Paper, Blu-Ray Disc Founders, August 2004

[3] : “Physical Format Specifications For BD-R”, White Paper, Blu-Ray Disc Founders, August 2004

[4] : “General Blu-Ray Disc Format”, White Paper, Blu-Ray Disc Founders, August 2004

[5] : “Key Technologies”, White Paper, Blu-Ray Disc Founders, August 2004

[6] : “DVD Update: From Double Layers To Blu-Lasers”, by Rich D’Ambrise, Computer Technology Review, May 2004, Volume XXIV, Number 5

[7]: “Ψηφιακή Τεχνολογία Ήχου”, Ιωάννης Μουρτζόπουλος

[8]: “MLP Encoder User Guide”, by Boothroyd Stuart, Meridian

[9] : “A logical and audio/visual application format for BD-RW”, Blu-Ray Disc Founders, August 2004

[10]: www.hddvdprg.com

[11]: Εργασίες των φοιτητών Πουλόπουλο Παναγιώτη, Καραφώτη Παναγιώτη και Μιχαήλ Σιγάλα στο μάθημα της Ψηφιακής Τεχνολογίας Ήχου

Σημείωση: Για οποιαδήποτε τυπογραφικά λάθη και παρατηρήσεις επικοινωνήστε με το προσωπικό της Ομάδας Τεχνολογίας Ήχου και Ακουστικής.

