

Τεχνολογία Ήχου

Διάλεξη 11: «Συστήματα οπτικών δίσκων για ηχητικές εφαρμογές»

Φλώρος Ανδρέας
Επικ. Καθηγητής

Σύντομη ιστορική αναδρομή

- 1938 PCM (Alec Reeves)
- 1970-74 Laser Disk (PHILIPS)
- 1980-81 CD-Audio (SONY-PHILIPS)
- 1985 CD-ROM
- 1986 CD-I (PHILIPS)
- 1989 CD-ROM eXtended Architecture (XA)
- 1990 CD Write Once (WO) ή CD-R
- 1990 PhotoCD
- 1994 CD-I Bridge
- 1996 DVD-Video/DVD-ROM
- 1997 SA-CD
- 1998 DVD-Audio/ DVD-RW/DVD-RAM
- 2003 DVDPlus/HD DVD
- 2004 Blu Ray

LaserDisc

**COMPACT
DIGITAL AUDIO**

DVD

**CD
SUPER AUDIO CD**

**DVD
AUDIO**



Πλεονεκτήματα οπτικών δίσκων

- Υψηλή χωρητικότητα
- Δυνατότητα ταυτόχρονης αποθήκευσης πολυμεσικής πληροφορίας
 - Κείμενο
 - ήχος
 - Εικόνα
 - video
- Μεγάλη διάρκεια ζωής και σταθερότητα
- Οπτική ανάγνωση (μη εμφάνιση φθοράς κατά την αναπαραγωγή)
- Μικρό μέγεθος / μεταφεριμότητα
- Χαμηλό κόστος
- Σημαντική, συνεχώς αυξανόμενη βάση οδηγών ανάγνωσης

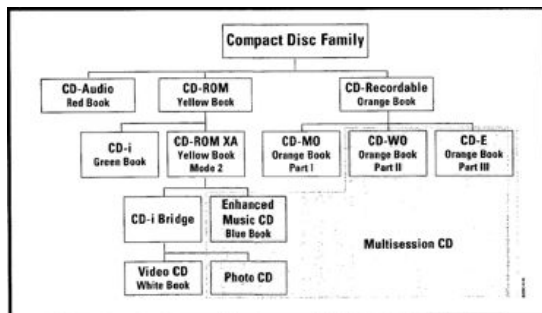


Πλεονεκτήματα οπτικών δίσκων (συν.)

	ΟΠΤΙΚΟΣ ΔΙΣΚΟΣ	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΔΙΣΚΟΣ	ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΤΑΙΝΙΑ
Πυκνότητα δεδομένων (bit /mm ²)	10 ⁶	2.10 ⁵	10 ⁴
συνολική χωρητικότητα (bits)	5.10 ¹⁰	10 ¹⁰	10 ¹⁰
χρόνος προεπίλεξης δεδομένων (ms)	10 ²	20	10 ⁴
Δυνατότητα μεταφοράς μονάδας	ναι	δύσκολα	ναι
Αξιοπιστία	υψηλή	καλή	χαμηλή

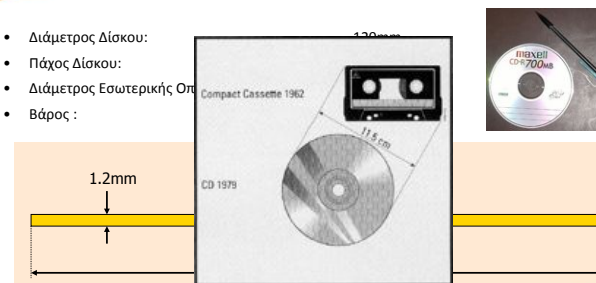


Οικογένεια οπτικών δίσκων τύπου CD



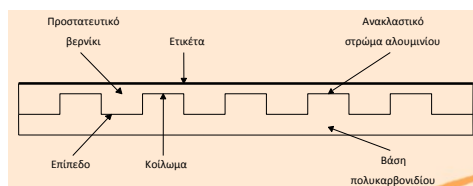
Φυσικά χαρακτηριστικά οπτικών δίσκων τύπου CD

- Διάμετρος Δίσκου:
- Πάχος Δίσκου:
- Διάμετρος Εσωτερικής Οπής
- Βάρος :



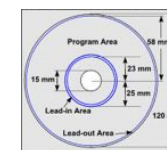
Δομή οπτικών δίσκων τύπου CD

- Τρία στρώματα διαφορετικών υλικών
 - Βάση: εξασφαλίζει την ανθεκτικότητα
 - Ανακλαστικό υλικό: αποθήκευση δεδομένων (πάχος ~100 nm)
 - Βερνίκι και ετικέτα



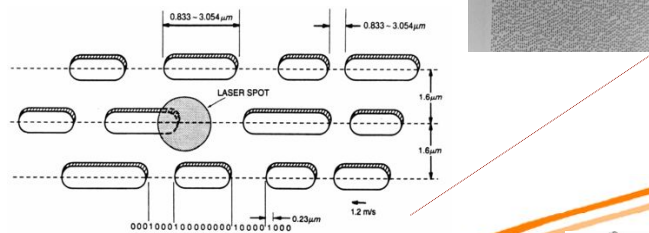
Εγγραφή δεδομένων σε οπτικούς δίσκους τύπου CD

- Εγγραφή δεδομένων υπό μορφή εναλλασσόμενων κοιλωμάτων (pits) κι επιπέδων (lands)
- Ελάχιστη ακτίνα εγγραφής 23mm
- Μέγιστη ακτίνα εγγραφής 58mm
- Περιοχές lead-in και lead-out 2.5mm
- "Υψος" κοιλώματος 0.16μm
- Σπειροειδής τροχιά εγγραφής από το κέντρο του δίσκου προς την περιφέρεια
 - βήμα σπειροειδούς τροχιάς 1.6mm
 - Συνολικό μήκος τροχιάς 5378m
- Χρήση EFM (Eight to Fourteen Modulation) διαμόρφωσης
 - πριν την εγγραφή



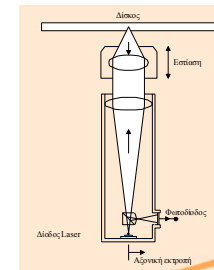
Ανάγνωση δεδομένων οπτικών δίσκων τύπου CD

- Σταθερή γραμμική ταχύτητα ανάγνωσης
– CLV=1.2m/sec

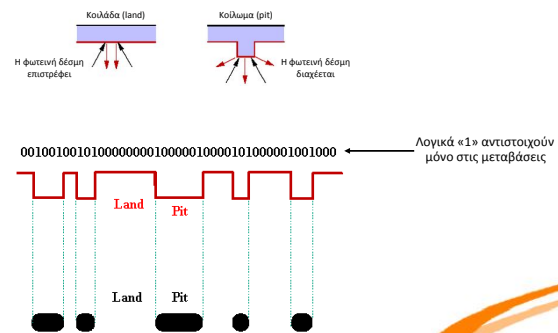


Σύστημα οπτικής ανάγνωσης

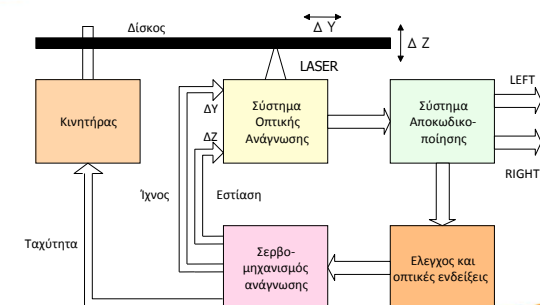
- Δίοδος Laser: εκπέμπει φως (μήκος κύματος 780nm)
- Φωτοδίοδος: ελέγχει την ένταση της ανακλώμενης από το δίσκο φωτεινής ακτίνας
- Όταν η ακτίνα Laser μεταβαίνει σε κοίλωμα (pit), διαχέεται και η ποσότητα φωτός στη φωτοδίοδο μειώνεται (Λογικό «1»)
- Υψηλή παρουσία φωτός στη φωτοδίοδο ισοδυναμεί με λογικό «0»
- Κύκλωμα χρονισμού υπεύθυνο για την καταμέτρηση των λογικών «0»



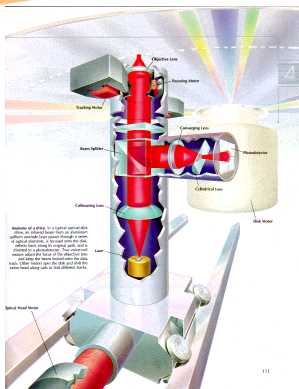
Σύστημα οπτικής ανάγνωσης (συν.)



Σύστημα οπτικής ανάγνωσης (συν.)



Σύστημα οπτικής ανάγνωσης (συν.)



Το πρότυπο CD-DA με λίγα λόγια

- Compact Disc Digital Audio
 - Ικανοποιητική δυναμική περιοχή
 - Χαμηλός θόρυβος κβαντισμού
 - Λειτουργικό, εύχρηστο, μικρό μέγεθος, μικρές φθορές
 - Συμβατό με την τεχνολογία CD-ROM
 - Μικρή ευκρίνεια σε χαμηλές στάθμες
 - Περιορισμός σε δύο κανάλια
 - Χαμηλή συχνότητα δειγματοληψίας
 - Σφάλματα μετατροπής από αναλογικό-σε-ψηφιακό
 - Υψηλός ρυθμός παροχής δεδομένων

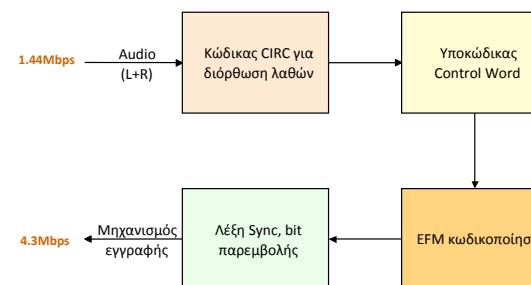


Οργάνωση δεδομένων στο πρότυπο CD-DA

- Αποθήκευση ηχητικών δεδομένων
- Μέγιστη διάρκεια αναπαραγωγής 74λεπτά
 - 746,93MB
- Υποστήριξη στερεοφωνικών ηχητικών εγγραφών
- Η αποθηκευόμενη ηχητική πληροφορία είναι ψηφιακή
 - $F_s=44.1\text{kHz}$, 16bit
- Υψηλή ποιότητα αναπαραγωγής
- Κόκκινο βιβλίο (red book)



Οργάνωση δεδομένων στο πρότυπο CD-DA (συν.)



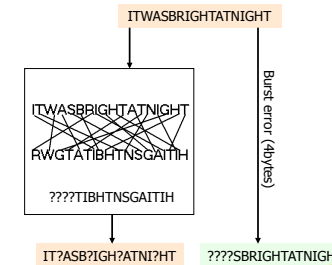
Κώδικας διόρθωσης λαθών

- Τα συστήματα Ο.Δ. παρουσιάζουν σφάλματα:
 - συστάδας (σκόνη, γδάρσιμο, μικροφυσαλίδες υλικού)
 - χρονισμού (jitter)
- Αντιμετώπιση με
 - Προσθήκη διορθωτικών κωδικών
 - ανίχνευση λαθών
 - διόρθωση λαθών
 - παρεμβολή δείγματος
 - Σίγαση
 - Ανακάτεμα (interleaving) των δεδομένων



Κώδικας διόρθωσης λαθών (συν.)

- Κώδικας CIRC
 - Cross Interleaved Reed-Solomon Code
- Υλοποίηση μέσω
 - προσθήκης bit ισοτιμίας
 - 4 byte ισοτιμίας ανά 24 byte δεδομένων
 - διαπλοκών δεδομένων σε δύο επίπεδα
 - αποφυγή σφαλμάτων συστάδας
 - δυνατότητα παρεμβολής δειγμάτων
 - R-S κυκλικό κώδικες
- Αποτέλεσμα: πολύ χαμηλός ρυθμός εμφάνισης ακουστών σφαλμάτων



Υποκώδικας Control Word

- 1 byte: P, Q, R, S, T, U, V, W
 - Στο CD-Audio μόνο τα P, Q χρησιμοποιούνται
 - P: αρχή μουσικού κομματιού, σήμανση περιοχών lead-in και lead-out του δίσκου
 - Q: υλοποίηση R-S κωδικών διόρθωσης λαθών, έλεγχος μονάδας ανάγνωσης, αρίθμηση μουσικών κομματιών
 - Δευτερεύουσες λειτουργίες που πρακτικά δεν υλοποιούνται
 - χρήση των bit R - W στο CD+Graphics (CD+G) για συγχρονισμό δεδομένων ήχου και εικόνας (πρόγονος CD-Extra)

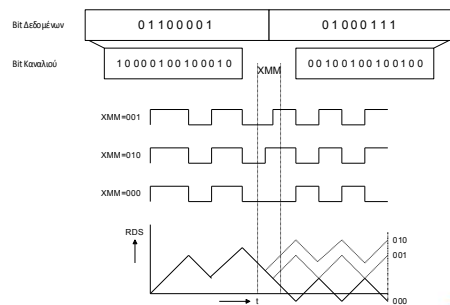


EFM κωδικοποίηση

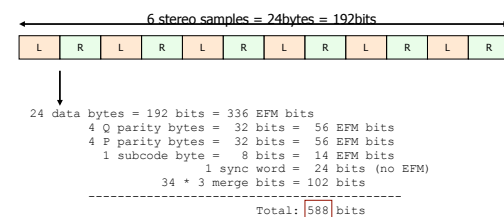
- Eight-to-Fourteen Modulation
- 8 bit δεδομένων αντιστοιχίζονται σε 14 bit καναλιού μέσω πίνακα μετασχηματισμού
- Μεταξύ δύο λογικών «1» υπάρχουν
 - κατ' ελάχιστο d=2 λογικά «0»
 - αποφυγή λαθών λόγω χαμηλοσυχνοτικού περιεχομένου
 - κατά μέγιστο k=10 λογικά «0»
 - μη απώλεια χρονισμού
- Προσθήκη 3 bit παρεμβολής (XMM) μεταξύ διαδοχικών 14άδων
 - μη παραβίαση συνθηκών d, k
- Τελικός μετασχηματισμός από 8 σε 17 bit



EFM κωδικοποίηση (συν.)



Οργάνωση δεδομένων καναλιού



Παράδειγμα υπολογισμού χωρητικότητας/διάρκειας

Track length of program area: 5378 meters

Channel bit length: 277.662 nm/bit (at 1.2 m/s)

Channel Bit capacity of program area = 5378 meters / 277.662 nm/bit

= 19,368,867,000 bits

Data capacity of program area = 19,368,867,000 bits / 588 bits/frame

= 32,940,250 frames

then 32,940,250 frames * 24 data bytes/frame

= 790,566,000 bytes (754 megabytes)

and 32,940,250 frames * 6/44,100 sec/frame

= 4482 seconds (74 minutes 42 seconds)

Πολύ υψηλής πιστότητας οπτικοί δίσκοι για ηχητικές εφαρμογές



To HDCD



- High Definition Compatible Digital
- Ιδιοκτησία της MICROSOFT
- Στόχευε στην παροχή αυξημένης δυναμικής περιοχής σε σχέση με το CD
 - Ισοδύναμη με 20bit μέσω dithering, κατάλληλων φίλτρων και reversible amplitude and gain encoding
 - Εγγραφή στα 16bit (συμβατότητα με το απλό CD)
- Πολύ περιορισμένοι διαθέσιμοι τίτλοι
 - 5.000 τίτλοι το 2000
 - 4.000 τίτλοι το 2008



To xrCD



- Extended Resolution Compact Disc
- Ιδιοκτησία της JVC
- Αναφέρεται όχι στον ίδιο τον δίσκο (ο οποίος είναι τυπικός CD-DA), αλλά σε διαδικασία μεταφοράς από master υλικό σε CD
- K2 τεχνολογία: Χρήση κατάλληλου dithering (χωρίς noise-shaping) (though without noise shaping) για την μεταφορά master υλικού (>16bit) σε τυπικό CD
- Πλήρης συμβατότητα με το κόκκινο βιβλίο
- Τιμή τίτλων περίπου διπλάσια



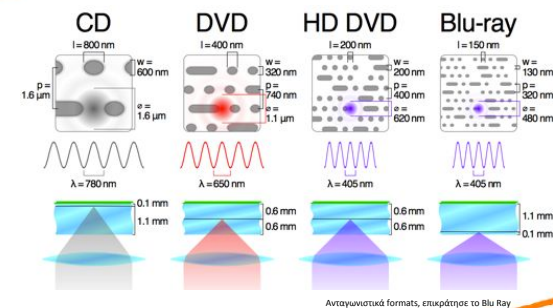
To Super Bit Mapping



- Ιδιοκτησία της SONY
- Αναφέρεται και αυτό στην διαδικασία του CD mastering
- Πλήρης συμβατότητα με το κόκκινο βιβλίο
- Επανακβαντισμός από 20bit master recordings σε 16bit
 - Χρήση ψυχοακουστικών αρχών και ανάλυσης στο πεδίο των κρίσιμων ζωνών
 - adaptive error-feedback φίλτρων
- Η διαδικασία υλοποιείται με ειδικό υλικό (hardware) κατά την διαδικασία της εγγραφής



Ζητούμενο η αύξηση χωρητικότητας



To DVD-Audio

- Τυποποίηση για υψηλής πιστότητας ήχο μέσω DVD
- Υποστηριζόμενα format ήχου:

	16-, 20- or 24-bit depth						
	44.1 kHz	48 kHz	88.2 kHz	96 kHz	176.4 kHz	192 kHz	
Mono (1.0)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
Stereo (2.0)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
Stereo (2.1)	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	
Stereo + mono surround (3.0 or 3.1)	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	
Quad (4.0 or 4.1)	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	
3-stereo (3.0 or 3.1)	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	
3-stereo + mono surround (4.0 or 4.1)	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	
Full surround (5.0 or 5.1)	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	



- Πρώτη κυκλοφορία δίσκων το 2000



To DVD-Audio (συν.)

- Δυνατότητα χρήσης πολλαπλών επιλογών συχνότητας δειγματοληψίας, bit resolution και πλήθους καναλιών ανά δίσκο
 - ...ακόμα και ανά κομμάτι!
- Υποστηριζόμενες κωδικοποιήσεις
 - Linear PCM (uncompressed)
 - Meridian Lossless Packing (losslessly compressed)
- Μέγιστος υποστηριζόμενος ρυθμός δεδομένων: 9.6Mbps
 - Για συνδυασμούς κωδικοποίησης που υπερβαίνουν αυτόν τον ρυθμό, χρησιμοποιείται η MLP



To Super Audio CD

- Δημιουργήθηκε το 1999 από την Sony/Philips Electronics
- Ισχυρός ανταγωνισμός με το DVD-Audio
- Υποστήριξη πολυκαναλικού ήχου
- Μελέτες (υποκειμενικές μετρήσεις) που έγιναν το 2007 απέδειξαν ότι η ποιότητα είναι ισοδύναμη με αυτήν του CD
- Πολύ μικρό μερίδιο αγοράς
 - Μόλις 6000 τίτλοι το 2009



To Super Audio CD (συν.)

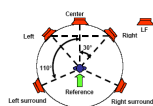
- Κωδικοποίηση δεδομένων: Direct Stream Digital (DSD)
 - Pulse Density Modulation
- Τεχνικά χαρακτηριστικά (σε σύγκριση με το CD):

	CD	SACD
Format	16 bit PCM	1 bit DSD
Sampling frequency	44.1 kHz	2.8224 MHz ^[37]
Dynamic range	90 dB (practical) ^[38] 96 dB (theoretical) ^[39]	105 dB (practical) ^[38] 120 dB (theoretical) ^[37]
Frequency range	20 Hz – 20 kHz ^[36]	20 Hz – 50 kHz (practical) ^[37] 2 Hz – 100 kHz (theoretical) ^[36]
Disc capacity	700 MB ^[36]	4.7 GB ^[37]
Stereo	Yes	Yes
Discrete surround	Never implemented	Yes



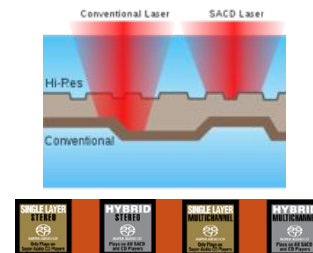
To Super Audio CD (συν.)

- Υποστήριξη στερεοφωνικού ήχου
 - 2 ανεξάρτητα DSD κανάλια
 - Απόκριση συχνότητας έως 100kHz
 - Δυναμική περιοχή μεγαλύτερη από 120dB
- Υποστήριξη πολυκάναλου ήχου
 - 6 ανεξάρτητα DSD κανάλια
 - Εγγραφή στο ενδιάμεσο τμήμα του High-density επιπέδου
- Παράλληλη υποστήριξη κειμένου και γραφικών
 - Όνομα δίσκου, στίχοι κ.λ.π.
 - Αποθήκευση στο εξωτερικό τμήμα του High-density επιπέδου



To Super Audio CD (συν.)

- Τρεις τύπου δίσκου:
 - Hybrid:
 - 4.7 GB DSD επίπεδο (HD layer),
 - PCM (Red Book) επίπεδο
 - συμβατός με CD συσκευές
 - Single-layer:
 - 4.7 GB DSD επίπεδο (HD layer)
 - μή συμβατός με CD συσκευές
 - Dual-layer:
 - Δύο DSD επίπεδα (σύνολο 8.5 GB)
 - μή συμβατός με CD συσκευές



Οπτικά μέσα και κωδικοποιήσεις Dolby

HD DVD				Blu-ray Disc				DVD VIDEO				DVD AUDIO			
Codec	Status	Channels	Max Bit Rate	Status	Channels	Max Bit Rate	Status	Channels	Max Bit Rate	Status	Channels	Max Bit Rate	Status	Channels	Max Bit Rate
Dolby Digital	Mandatory	5.1	448 k	Mandatory	5.1	640 k	Mandatory	5.1	448 k	Optional in video zone for playback compatibility on DVD-Video players	5.1	448 k			
Dolby Digital Plus	Mandatory	7.1	3.0 M	Optional	7.1	1.7 M	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
MLP	Mandatory	6	9.6 M	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Mandatory	6	9.6 M			
Dolby TrueHD	Mandatory	8	18 M	Optional	8	18 M	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			

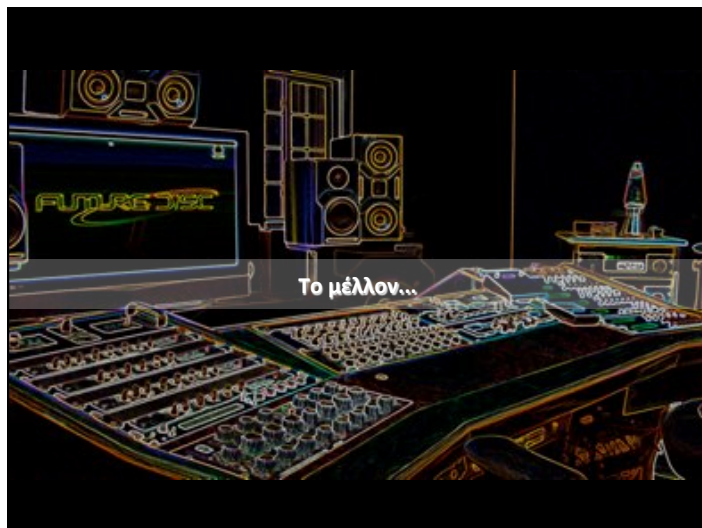
Comparison between Dolby Technologies in Packaged Media Formats



Οπτικά μέσα και κωδικοποιήσεις DTS

DTS Technologies Mandatory / Optional Status									
Codec	Video Type	Power	Max Bitrate	Channels	Max Bit Rate	Channels	Max Bit Rate		
 dts (Dolby Digital)	Content Assemblies plus 10.8 for 1st Substream	Optional	8	8	24.5 Mbps	Optional	8	8	18 Mbps
 dts (High Resolution Audio)	Content Assemblies plus 10.8 for 1st Substream	Optional	8	8	8.1 Mbps	Optional	8	8	3.1 Mbps
 dts (Digital Surround: 5.1)	Content Assemblies plus 10.8 for 1st Substream	Optional	5.1	5.1	1.089 Mbps	Optional	5.1	5.1	1.089 Mbps
 dts (Digital Surround: EX)	Content Assemblies plus 13.5 for 1st Substream	Optional	5.1	5.1	1.089 Mbps	Optional	5.1	5.1	1.089 Mbps
 dts (Digital Surround)	Content Assemblies	Optional	5.1	5.1	1.089 Mbps	Optional	5.1	5.1	1.089 Mbps
 dts (Digital Surround)	Content Assemblies	Mandatory	5.1	2 ch encoding	1.089 Mbps	Mandatory	5.1	2 ch encoding	1.089 Mbps





Holographic Versatile Disc

- Χωρητικότητα της τάξης των 6TB

HVD
Holographic Versatile Disc



Παράρτημα

Παράρτημα 1: μονάδες μέτρησης χωρητικότητας

	Byte	B	(= 8 Bits)
Kilo	Kilobyte	KB	= 1024 Byte
Mega	Megabyte	MB	= 1024 Kilobyte
Giga	Gigabyte	GB	= 1024 Megabyte
Terra	Terrabyte	TB	= 1024 Gigabyte
Penta	Pentabyte	PB	= 1024 Terrabyte
Exa	Exabyte	EB	= 1024 Pentabyte
Zetta	Zettabyte	ZB	= 1024 Exabyte
Yota	Yotabyte	YB	= 1024 Zettabyte



