

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietokonetekniikka

Tutkintotyö

Janne Kauramaa

TERÄVÄPIIRTOFORMAATIT HD DVD JA BLU-RAY

Työn ohjaaja
Tampere 2007

Kai Poutanen

Janne Kauramaa

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tietotekniikka

Tietokonetekniikka

KAURAMAA, JANNE Teräväpiirtoformaatit HD DVD ja Blu-ray

Tutkintotyö 27 sivua

Työn ohjaaja Kai Poutanen

Toukokuu 2007

Hakusanat HD DVD, Blu-ray, teräväpiirtovideo,
HDTV, H.264, MPEG-4 AVC, MPEG-4 part 10

TIIVISTELMÄ

Optisten levyjen kehitys on tullut teräväpiirtovideoaikaan. Uudet formaatit HD DVD ja kilpailija Blu-ray on kehitetty teräväpiirtovideoiden tallennusta varten. Kuluttajia kuitenkin hämää kahden kilpailevan formaatin olemassaolo. Tämän raportin tarkoitus on auttaa lukijaa ymmärtämään molempien formaattien suurimmat erot ja helpottamaan valintaa. Tässä työssä tutustutaan myös teräväpiirtovideotekniikan ja sen pakkaamiseen käytettyjen kodekkien perusteita sekä molempien levyformaattien tärkeimpiä ominaisuuksia.

Vaikka HD DVD ja Blu-ray käyttävät molemmat samalla aallonpituudella olevaa laserservaloa levyn pinnan lukemiseen, on levyissä kuitenkin eroja. Levyjen suojakerroksen paksuus eroaa toisistaan. Blu-ray-levyllä se on 0,1 mm paksu ja HD DVD:llä 0,6 mm. Levyjärjestelmien lukupäät eroavat myös toisistaan ja ovat keskenään yhteensopimattomia.

Näistä pienistä muutoksista on kuitenkin haittaa ja hyötyä. Blu-ray-levyjä on kalliimpi tuottaa, koska niitä ei voida valmistaa vanhojen formaattien tuotantolinjoilla kuten HD DVD:tä. Hyötynä Blu-rayn optisista muutoksista on kapasiteetin lisäys. Blu-ray-levylle mahtuu noin kaksi kolmasosaa enemmän dataa kuin HD DVD:lle. Tuotantokustannukset ovat siis kalliimmat, mutta kapasiteetti on suurempi.

Janne Kauramaa

TAMPERE POLYTECHNIC

Computer Systems Engineering

Computer Engineering

KAURAMAA, JANNE High Definition Formats HD DVD and Blu-ray

Engineering Thesis 27 pages

Thesis supervisor Kai Poutanen

May 2007

Keywords HD DVD, Blu-ray, high-definition video,
HDTV, H.264, MPEG-4 AVC, MPEG-4 part 10

ABSTRACT

The development of next generation optical discs has reached a point where they are capable of storing high definition video. HD DVD and its rival Blu-ray have got the capacity needed for high definition video usage even with the older compression methods like MPEG-2. The average consumer is faced with a problem. Which one of these two competing formats is better and which one to buy? This report will help the reader to make a decision and to understand the basic features of these two formats. In this report you will also find basics of high definition video and the video codec's used to compress video.

Both of these formats HD DVD and Blu-ray use the same wavelength laser to read from the disc but there are differences. First of all the protective layer of these discs differ from another. On a HD DVD it is 0.6 mm thick the same as the older format DVD had. On a Blu-ray disc the layer is only 0.1 mm thick. Also the optical pickups differ. These changes are both beneficial and disadvantageous to Blu-ray format. The good thing is that they bring more capacity to the disc. On the downside there is the fact that it costs more to manufacture Blu-ray discs. Manufacturing HD DVD discs can be done with the old DVD manufacturing process. More capacity means more expenses.

Janne Kauramaa

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	1
2	BLU-RAYN JA HD DVD:N OMINAISUUDET.....	3
2.1	Tallennuskapasiteetti.....	4
2.2	Fyysiset ominaisuudet.....	4
2.3	Siirtonopeudet	6
2.4	Video ja audio	6
2.4.1	MPEG-2-pakkaus.....	6
2.4.2	MPEG-4 AVC -pakkaus (H.264-pakkaus)	6
2.4.3	SMPTE VC-1 -pakkaus.....	7
2.4.4	Linear PCM -audioformaatti.....	7
2.4.5	Dolby Digital -audioformaatti.....	8
2.4.6	Dolby DigitalPlus -audioformaatti.....	8
2.4.7	Dolby TrueHD -audioformaatti.....	8
2.4.8	DTS Digital Surround -audioformaatti	9
2.4.9	DTS-HD-audioformaatti	9
3	OPTIIKKA.....	11
3.1	Numeerinen aukko (NA).....	11
3.2	Heijastuskulman virhe.....	12
4	TERÄVÄPIIRTOVIDEO	14
4.1	Esitystavat	15
4.2	Lomitus	15
4.3	Liitännät	16
4.3.1	DVI-liitäntä ja sen signaalit	16
4.3.2	HDMI-liitäntä ja sen signaalit.....	18
4.3.3	TMDS-kanavat.....	19
4.4	HD-valmius	20
4.5	H.264-videonpakkausalgoritmi.....	20
4.5.1	H.264 teräväpiirtovideossa.....	21
4.5.2	Vertailu MPEG-2-pakkaukseen	22
5	YHTEENVETO	23
	LÄHDELUETTELO.....	25

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

HD	High Definition, korkeatarkkuus
DVD	Digital Versatile Disc
SD	Standard Definition, normaalitarkkuus
HDTV	High Definition Television, teräväpiirtotelevisio
SDTV	Standard Definition Television, perustelevisio
NA	Numeerinen aukko (numeerinen apertuuri)
GB	Gigabyte, gigatavu
Gbps	Gigabits per second, gigabittiä sekunnissa
Mbps	Megabits per second, megabittiä sekunnissa
MB/s	Megatavua sekunnissa
kbps	Kilobits per second, kilobittiä sekunnissa
VCD	Video Compact Disc
MPEG	Moving Picture Experts Group
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers
VBR	Variable Bit Rate, vaihteleva bittinopeus
AVC	Advanced Video Coding
DVI	Digital Visual Interface, liitäntä, joka siirtää videoinformaatiota digitaalisessa muodossa
HDMI	High Definition Multimedia Interface, liitäntä, joka siirtää kuvaa sekä ääntä digitaalisessa muodossa
DVB-T2	Digital Video Broadcasting – Terrestrial v2, kehityksessä oleva uusi versio DVB-T maanpäällisestä digitaalisesta lähetyksestä, joka keskittyy ennen kaikkea HDTV lähetyksiin sekä parempiin IP-palveluihin

Janne Kauramaa

1 JOHDANTO

Philipsin 1969 kehittämä Laserdisc toi myöhemmin kuvaan monia uusia teknologioita. Kun Sony ja Philips alkoivat tehdä yhteistyötä, syntyi vuonna 1979 sellainen luomus kuin CD. 90-luvun alussa nämä yhtiöt olivat jälleen yhteisvoimin ottamassa seuraavaa kehitysaskelta MultiMedia Compact Discia (MMCD joka siis oli alkuperäinen nimi). Tämä formaatti tosin syrjäytettiin Toshiba kilpailevan Super Density Discin (SD) voimin, koska sillä oli suurin osa tukijoista takanaan. Näitä olivat esimerkiksi Hitachi, Matsushita (Panasonic), Mitsubishi, Pioneer, Thomson, ja Time Warner.

IBM:n toimitusjohtajan Lou Gerstnerin välittämänä nämä kaksi tahoja tekivät sopimuksen uudesta formaatista nimeltä DVD. Tilanteen rauhoituttua, vuosien 1995 ja 1996 aikana, Toshiba oli kilpailijoitaan edellä. Sony ja Philips eivät päässeet kiinni standardin kehitykseen eivätkä saaneet tekijänpalkkioita niin paljon kuin olisivat halunneet, joten molemmat alkoivat välittömästi kehittää uuden sukupolven formaattia. Professional Disc for DATA (eli PDD tai ProDATA) pohjautui Sonyn jo aikaisemmin kehityksessä olleeseen optiseen levyyn. Myöhemmin tämän levyn nimeksi muodostui Blu-ray disc. Toshiba, joka ei halunnut jäädä kehityksestä jälkeen, alkoi myös kehittää uutta kilpailevaa formaattia nimeltään Advanced Optical Disc, josta loppujen lopuksi tuli HD DVD. [14]

35-vuoden optisten levyjen kehityksen jälkeen ollaan jälleen samassa tilanteessa missä oltiin vuosia aikaisemmin: kaksi rahaa kahmivaa tahoja on taistelemassa kuluttajien kukkaron nyöreistä ja kilpailemassa teknisestä etulyöntiasemasta. Historia tosiaan toistaa itseään.

Molemmat systeemit, Blu-ray sekä HD DVD, käyttävät samaa 405 nm aallonpituuden omaavaa sinistä (siniviolettista) laseria, mutta niiden optiikat eroavat toisistaan. Tässä työssä tarkastellaan, miten ne eroavat ja mitä hyötyä tällä on saatu aikaan. Työssä perehdytään myös muihin levyjen ominaisuuksiin ja teräväpiirtovideoon. Lisäksi tarkastellaan teräväpiirtovideon H.264-pakkausalgoritmia ja sen etuja verrattuna vanhaan

Janne Kauramaa

MPEG-2-standardiin, jota käytetään DVD-videoiden ja digitaalisten televisiolähetysten pakkauksessa.

Janne Kauramaa

2 BLU-RAYN JA HD DVD:N OMINAISUUDET

Seuraavaksi tarkastellaan molempien levytyyppien ja niiden lukemiseen tarvittavien järjestelmien ominaisuuksia. Vertailun vuoksi taulukossa 2.1 on myös mukana vanhempi standardi DVD (SD DVD).[1],[2],[3],[4]

Taulukko 2.1

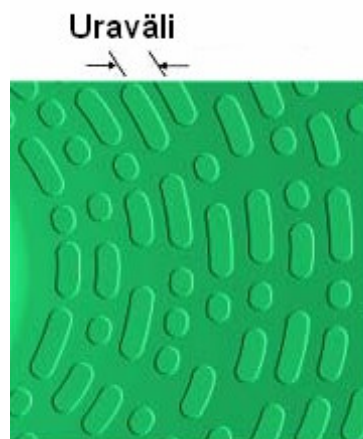
	DVD	HD DVD	Blu-ray
Tallennuskapasiteetti	4.7 GB (yksikerroksinen) 8.5 GB (kaksikerroksinen)	15 GB (yksikerroksinen) 30 GB (kaksikerroksinen)	25 GB (yksikerroksinen) 50 GB (kaksikerroksinen)
Laserin aallonpituus	650 nm (punainen laser)	405 nm (sininen laser)	405 nm (sininen laser)
Numeerinen aukko (NA)	0.60	0.65	0.85
Levyn halkaisija	120 mm	120 mm	120 mm
Levyn paksuus	1.2 mm	1.2 mm	1.2 mm
Suojakerros	0.6 mm	0.6 mm	0.1 mm
Kovapinnoitus	Ei	Ei	Kyllä
Urajako	0.74 µm	0.40 µm	0.32 µm
1x Siirtonopeus (data)	11.08 Mbps	36.55 Mbps	36.55 Mbps
Siirtonopeus (video + audio)	10.08 Mbps	30.24 Mbps	48.0 Mbps
Videon resoluutio (max)	720×480/720×576 (480i/576i)	1920×1080 (1080p)	1920×1080 (1080p)
Videon bittinopeus (max)	9.8 Mbps	29.4 Mbps	40.0 Mbps
Tuetut videokodekit	MPEG-2 - -	MPEG-2 MPEG-4 AVC (H.264) SMPTE VC-1	MPEG-2 MPEG-4 AVC (H.264) SMPTE VC-1
Tuetut audiokodekit	Linear PCM Dolby Digital DTS Digital Surround - - -	Linear PCM Dolby Digital Dolby Digital Plus Dolby TrueHD DTS Digital Surround DTS-HD	Linear PCM Dolby Digital Dolby Digital Plus Dolby TrueHD DTS Digital Surround DTS-HD
Interaktiivisuus / tekniikka	DVD-Video	HDi	BD-J

Janne Kauramaa

2.1 Tallennuskapasiteetti

Kun verrataan tallennuskapasiteetteja (yksikerroksinen ja yksipuolinen levy), niin Blu-ray-levylle saa tallennettua kaksi kolmasosaa enemmän dataa kuin HD DVD:lle ja HD DVD:n tallennuskapasiteetti taas on noussut standardi-DVD:stä 3,2-kertaiseksi. Nämä johtuvat seuraavista seikoista. Ensinnäkin Blu-ray- ja HD DVD -systemit käyttävät sinivioletista laseria DVD:n punaisen sijaan, joten bittejä indikoivat syvennykset voivat olla pienempiä levyn pinnalla. Lisäksi kapasiteetin lisäykseen vaikuttaa levyn urajako. Levyn pinnalla oleva ura alkaa levyn keskeltä ja kiertää koko levyä spiraalimaisesti levyn ulkoreunaan asti (kuva 2.1). Urat ovat DVD-levyllä $0.74\ \mu\text{m}$:n etäisyydellä toisistaan, kun taas HD DVD:llä niiden etäisyys on $0.40\ \mu\text{m}$. Blu-ray-levyn urajako on $0.32\ \mu\text{m}$. [1],[3]

Tiheämmän urajaon vuoksi lukupään linssin NA -arvon (numeerinen aukko) tulee olla suurempi verrattaessa DVD:n vastaavaan. HD DVD -systemiin se on kasvatettu arvosta 0,6 arvoon 0,65 ja Blu-rayssa peräti arvoon 0,85 asti. Tähän seikkaan perehdytään myöhemmin tämän raportin luvussa 3.



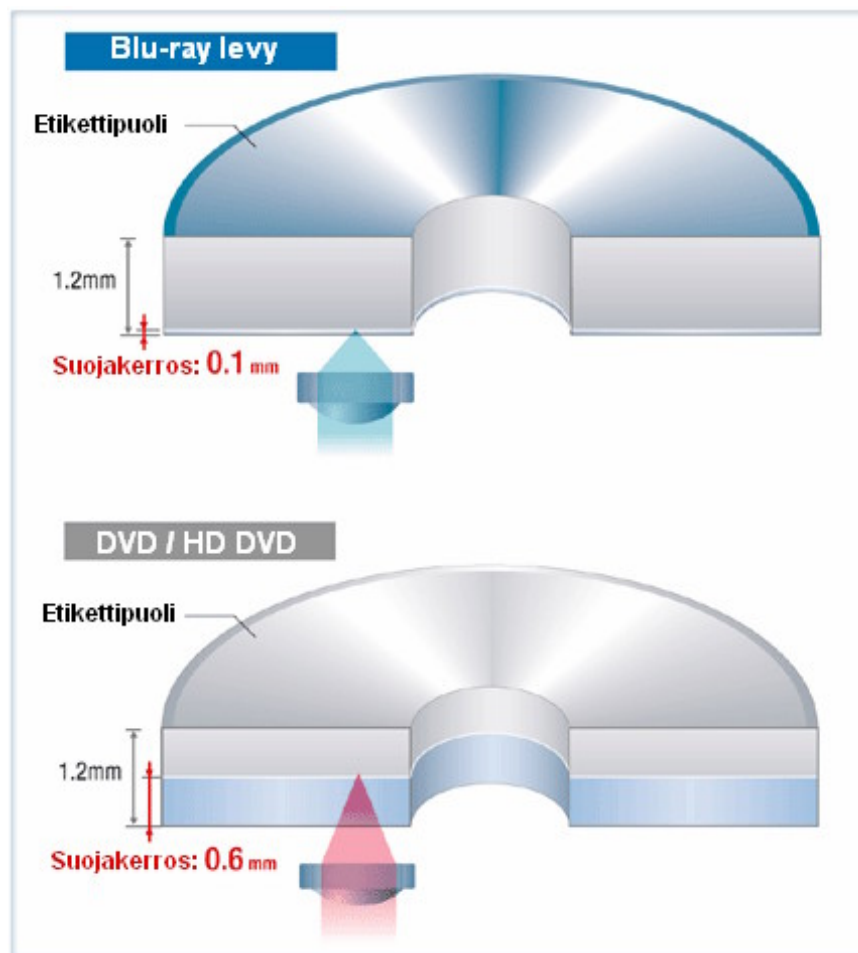
Kuva 2.1 Levyn urat [15]

2.2 Fyysiset ominaisuudet

Fyysiset ulkomitat ovat kaikilla levyillä samat eli ulkokehän halkaisija on 120 mm ja levyn paksuus on 1,2 mm. Levyn rakenteesta löytyy sitten taas eroja. Tärkein raken-

Janne Kauramaa

teellinen ero on levyn pintakerroksen (suojakerroksen) paksuus, joka eroaa verrattaessa HD DVD -levyä ja Blu-ray-levyä toisiinsa. HD DVD -levyn suojakerros on 0.6 mm paksu eli sama kuin edellisessä DVD-levyssä, mutta Blu-ray-levyn suojakerros on vain 0,1 mm paksu (kuva 2.2). Blu-ray-levyn pintakerroksen pitää olla erityisen kestävä, jotta se suojaa levyn dataa vaikka onkin vain 0.1 mm paksu. Durabis, TDK:n kehittämä polymeeripinnoite, on erittäin sitkeää ja sormenjälkiä kestävä materiaalia.



Kuva 2.2 Suojakerrokset levyillä [16]

Ohentamalla suojakerrosta, saadaan levyn datakerros lähemmäs lukupäätä. Blu-ray-levyn datakerros on siis 0,5 mm lähempänä levyn ulkoreunaa kuin HD DVD:llä, joten lisäkerroksille on siis jäänyt enemmän tilaa. Näin ainakin teoriassa Blu-ray-levylle saadaan mahtumaan tulevaisuudessa vielä enemmän kerroksia ja sen ansiosta lisää dataa.

[2]

Janne Kauramaa

2.3 Siirtonopeudet

Taulukossa 2.1 näkyvät levyjen datan siirtonopeudet ovat maksiminopeuksia käytettäessä nopeusluokkaa 1x. Koska Blu-ray-levyllä olevat elokuvat tarvitsevat minimissään 48 Mbps:n siirtonopeuden, tulee Blu-ray lukemaan vähintään 1,5-kertaisella nopeudella eli 54 Mbps. [1],[3]

2.4 Video ja audio

HD DVD- ja Blu-ray-levyillä on mahdollisuus käyttää samoja video- ja audiostandardeja. Tarkastellaan niitä seuraavaksi.

2.4.1 MPEG-2-pakkaus

MPEG-2 on 1997 käyttöön otettu standardi kuvan pakkaukseen. Sitä käytetään melkein kaikissa DVD-videolevyissä, Super VCD -levyissä, kaapeli- ja satelliittitelevisioissa, Digi-TV-lähetyksissä ja HDTV:ssä. MPEG-2 pystyy pakkaamaan videota ja ääntä 2–20 Mbps:n siirtonopeuksilla. MPEG-2-koodatun kuvan HDTV-tasoinen maksimikoko on 1920×1152. Formaatti tukee vaihtelevaa bittinopeutta (VBR) eli esim. toimintakohtauksiin voidaan käyttää hitaissa kohtauksissa säästettyjä tavuja ja välttyä kuvan palikoitumiselta.

MPEG-2 on häviöllinen digitaalinen koodausjärjestelmä. Häviöllisyys tarkoittaa sitä, ettei kerran koodattua signaalia voi enää palauttaa alkuperäiseksi. Lopputuloksena syntynyt video voi sisältää häiriötekijöitä. Tämä riippuu tekemisen laadusta ja pakkauksen määrästä. Normaalisissa 3,5 Mbps:n koodauksessa saattaa näitä häiriöitä esiintyä.

MPEG-2-pakkaus tapahtuu yksinkertaistettuna niin, että osa kuvien passiivisista kohdista jätetään pois ja keskitytään niihin kuvajaksoihin, joissa on liikettä. [6],[7]

2.4.2 MPEG-4 AVC -pakkaus (H.264-pakkaus)

MPEG-4 AVC -videonpakkausta käytetään mobiililaitteille tarkoitettun videon ja HD-tasoinen videon pakkaukseen. Se tunnetaan myös nimellä H.264 ja MPEG-4 part 10.

Janne Kauramaa

ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) ja ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG) -työryhmät ovat sen yhteistyössä kehittäneet.

MPEG-4 AVC:n kuuluu kuusi eri käyttöprofiilia. Tärkeimmät kaksi ovat Baseline Profile, joka on tarkoitettu mobiililaitteisiin, ja High Profile, joka on tarkoitettu HDTV-lähetysiin. AVC-videon bittinopeus voi olla 64 kbps:sta 960 Mbps:iin, joten se on kehitetty myös tulevaisuutta ajatellen (vrt. nykyisen HDTV-lähetysten n. 20 Mbps:n kaistanleveyteen).

2.4.3 SMPTE VC-1 -pakkaus

SMPTE VC-1 on Windows Media Video 9 -tekniikkaan (tunnetaan myös WMV3:n nimellä) perustuva pakkausalgoritmi. SMPTE tulee sanoista Society of Motion Picture and Television Engineers ja se on tämän ryhmän kehittämä. H.264 on kilpaileva HD-videon pakkaukseen tarkoitettu algoritmi.

VC-1:n kehittämisen ja standardoinnin päätavoitteena on pakata lomitettua videota ilman, että se ensin muunnetaan lomittamattomaksi. Tällä ominaisuudella on tarkoitus tehdä VC-1 entistä houkuttelevammaksi elokuva-alan ammattilaisten käyttöön ja televisio-ohjelmien jakeluun. [8]

Vaikka SMPTE VC-1 on laajalti käsitetty Microsoftin lanseeraamana tuotteena, on tässä patentissa mukana 15 eri yritystä. Tuota olettamusta kylläkin tukee se seikka, että Microsoft käyttää VC-1:tä virallisena videonpakkausalgoritmina XBOX360-pelikonsolissaan.

2.4.4 Linear PCM -audioformaatti

Linear PCM on pakkaamaton audioformaatti eli häviötön. Se tukee jopa kahdeksaa erillistä kanavaa 48 kHz:n tai 96 kHz:n näytteenottotaajuuksilla ja 16, 20 tai 24 bitin näytteillä. Suurin bittinopeus on 6.144 MB/s. Linear PCM tunnetaan myös lyhyemmällä nimellä LPCM.

Janne Kauramaa

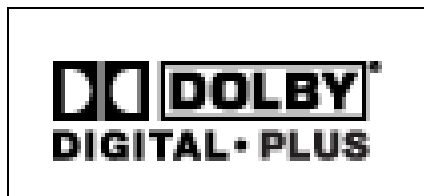
2.4.5 Dolby Digital -audioformaatti

Dolby Digital eli AC-3 sisältää kuusi erillistä digitaalista äänikanavaa. Viisi näistä on tarkoitettu normaalitaajuuden (20 Hz - 20,000 Hz) toistaville kaiuttimille (oikea etu-, keski-, vasen etu-, oikea taka- ja vasen takakaiutin) ja yksi kanava matalan taajuuden toistavalle subwoofer-kaiuttimelle. Dolby Digital-formaattiin kuuluvat myös mono- ja stereotoisto. Ensimmäiset Dolby Digitalia käyttävät elokuvat tulivat teattereihin 1992 ja koteihin 1995.

2.4.6 Dolby DigitalPlus -audioformaatti

Dolby Digital Plus (DD+), joka tunnetaan myös nimellä E-AC-3, on kehitetty erityisesti HDTV:n sekä HD DVD- ja Blu-ray-levyjen käyttöönottoa ajatellen. Se on kehittynyt versio Dolby Digital-äänenpakkausmenetelmästä. Siinä voidaan käyttää niinkin korkeaa kuin 6,144 Mbps:n bittivirtaa verrattuna Dolby Digitalin alkuperäiseen 0,640 Mbps:iin, joten sen avulla voidaan tuottaa yhä parempilaatuista ääntä. Lisäksi uudistuksena, vanhan viiden normaalikanavan sijaan, siinä on kaksi lisää. Jokainen kanava voi maksimissaan sisältää 24-bittisiä näytteitä näytteenottotaajuuksilla 32, 44.1, 48, tai 96 kHz. [12]

Pakkausalgoritmia on myös kehitetty edellisestä. Uuden pakkausalgoritmin johdosta vanhat AC-3-dekooderit eivät kykene purkamaan uutta E-AC-3-virtaa vaan siihen tarvitaan DD+:aa purkava laitteisto. Kuvassa 2.3 on Dolby Digital Plus -logo.



Kuva 2.3 Dolby Digital Plus -logo [12]

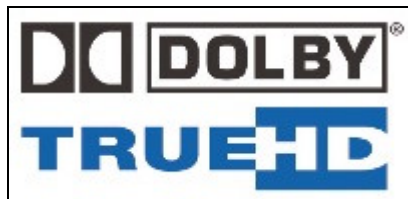
2.4.7 Dolby TrueHD -audioformaatti

Dolby TrueHD on kehittynyt häviötön audiokodekki, joka perustuu Meridian Lossless Packing-pakkaukseen. TrueHD:ssa on kahdeksan erillistä kanavaa, joista jokainen si-

Janne Kauramaa

sältää ääntä maksimissaan 24-bitin näytteillä ja 96 kHz:n näytteenottotaajuudella. Maksimibittinopeus on 18 Mbps.

Dolby TrueHD kilpailee Digital Theater Systems:n kehittämän DTS-HD Master Audio kanssa, joka on myös häviötön kodekki. Kuvassa 2.4 on Dolby TrueHD -logo. [13]



Kuva 2.4 Dolby TrueHD -logo [13]

2.4.8 DTS Digital Surround -audioformaatti

DTS:n erona Dolby Digital-kodekkiin on se, että se käyttää suurempaa kaistaa. Dolby Digital käyttää maksimissaan 0,640 Mbps:n kun taas DTS käyttää 1,5 Mbps:n kaistaa. Filmitelollisuus ei ole ottanut DTS:ää yhtä innokkaasti käyttöön kuin Dolby Digitalia, koska se vie enemmän kapasiteettia DVD-levyiltä. DTS-raita sisältää 5.1 surround-äänet. Kuvassa 2.5 on DTS Digital Surround -logo. [11]



Kuva 2.5 DTS Digital Surround -logo [11]

2.4.9 DTS-HD-audioformaatti

DTS-HD:sta on kaksi HD DVD- ja Blu-ray-levyillä käytössä olevaa versiota: DTS-HD Master Audio ja DTS-HD High Resolution Audio. Molemmat ovat laajennuksia edelliseen DTS Digital Surround-kodekkiin.

Janne Kauramaa

DTS-HD Master Audio voi sisältää kahdeksan äänikanavaa (24-bit, 96 kHz). DTS-HD High Resolution Audio voi sisältää 7.1-surround äänet eli seitsemän normaalikanavaa ja yksi subwoofer-kanava. Kuvassa 2.6 on DTS-HD Master Audio -logo ja kuvassa 2.7 DTS-HD High Resolution Audio -logo.

DTS-HD Master Audio on Dolby TrueHD:n ohella ainoa kodekki, joka mahdollistaa HD DVD- tai Blu-ray-levyllä tarjottavat pakatut häviöttömät surround-äänet. [11]



Kuva 2.6 DTS-HD Master Audio -logo [11]



Kuva 2.7 DTS-HD High Resolution Audio -logo [11]

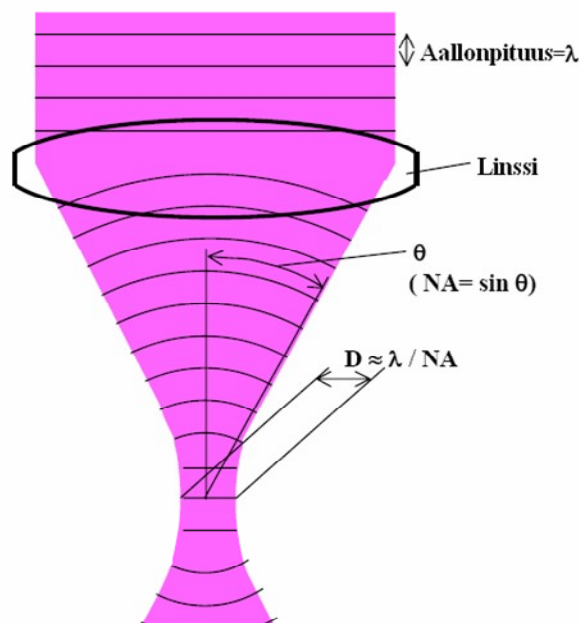
Janne Kauramaa

3 OPTIIKKA

HD DVD:n ja Blu-rayn suurimmat erot ovat linssin aukossa ja suojakerroksen paksuudessa.

3.1 Numeerinen aukko (NA)

Mitä ohuempi levyn suojakerros, sitä helpompi on parantaa linssin laservalon yhdistämiskykyä (konvergenssia). Tätä linssin valon yhdistämiskykyä kuvataan NA-arvolla (numeerinen aperttuuri, numeerinen aukko). Yhtyvän lasersäteen halkaisija on kääntäen verrannollinen NA:n suuruuteen (kuva 3.1).



Kuva 3.1 NA (numeerinen aukko) [2]

Suurentamalla aukkoa mahdollisimman suureksi saadaan valoenergia keskittymään yhä pienemmälle alueelle, toisin sanoen entistä tarkemmaksi. Tätä toimenpidettä ei kuitenkaan voida suorittaa ilman ongelmia. Kun linssin optinen akseli kääntyy pois-pään levyn pintaan nähden kohtisuorasta, heikkenee konvergenssi (tapahtuu aberratioita). Heikkeneminen kasvaa suoraan verrannollisesti NA:n neliöön, ja koska ei voida

Janne Kauramaa

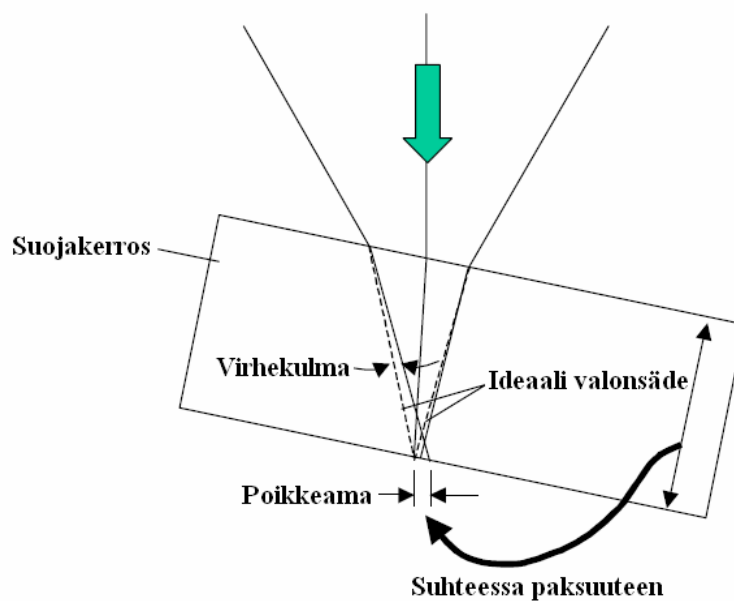
estää levyn kallistumista akselin suhteen (syynä levyn taipuminen tai huono asennus) ei myöskään voida kovin paljon lisätä NA-arvoa. [2]

NA määritellään $\sin(\theta)$ (kuva 3.1), missä θ on linssin yhdistämän valonsäteen puolikas kulma. Suurin piirtein 80 % valoenergiasta kohdistuu alueelle jonka halkaisija on λ / NA . [2]

3.2 Heijastuskulman virhe

Koska levy saattaa kallistua, tuo NA-arvon suurentaminen ongelmia. Mikäli suojakerros olisi edelleen paksuudeltaan 0,6 mm (kuten DVD:llä ja HD DVD:llä), olisi mahdollinen heijastuskulman virhe liian suuri ja levyn lukeminen ei ehkä onnistuisi virheettömästi.

Levyn kallistumisesta johtuva aberraatio on suoraan verrannollinen suojakerroksen paksuuteen. Tämä aberraatio suojakerroksessa johtuu heijastuskulman virheestä, joka ilmenee levyn kallistuessa. Tästä seuraa laserin valonsäteiden sumeutta kohdistuspisteessä. Sumeuden määrä on suoraan verrannollinen kohdistuspisteen ja levyn pinnan etäisyyteen toisistaan (kuva 3.2). [2]



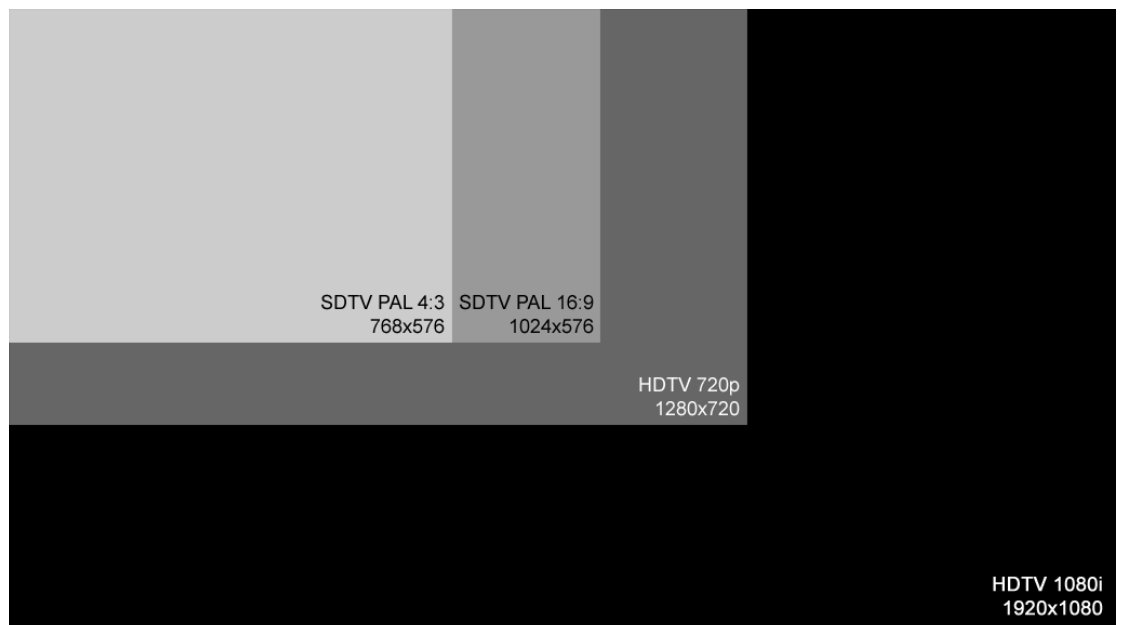
Kuva 3.2 Poikkeama ideaalisesta valon kohdistuksesta luettavaan dataan [2]

Janne Kauramaa

Kun levy kallistuu, heijastuskulman virhe kasvaa. Virhe on poikkeamaa ideaalisen valonpisteen luovasta kulmasta. Näin linssin suurempi numeerinen aukko aiheuttaa sitä suurempaa yhdistämiskyvyn heikkenemistä, mitä suurempi on levyn pinnan ja kohdistuspisteen etäisyys toisistaan, eli aberraatio on sitä suurempi, mitä paksumpi on suoja-kerros. [2]

4 TERÄVÄPIIRTOVIDEO

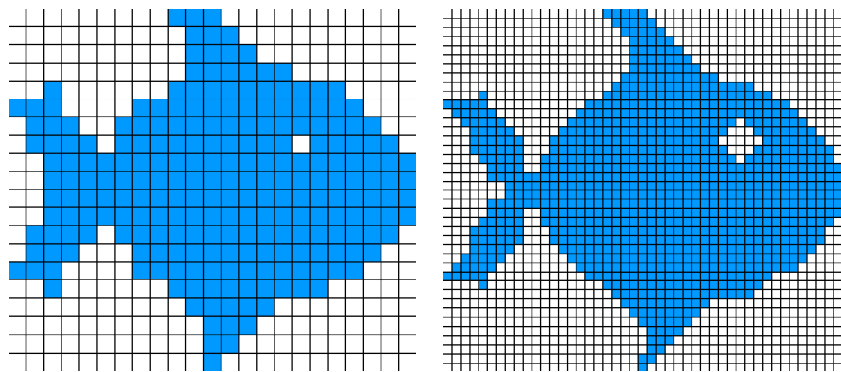
Perinteisiä televisioformaatteja, kuten SECAM, NTSC ja Suomessa käytössä oleva PAL, kutsutaan nimellä Standard Definition Television (SDTV). Niiden kuvasuhde on yleensä 4:3 tai paranneltuna myös 16:9. HDTV puolestaan esitetään aina suhteessa 16:9. Kun SDTV-kuva sisältää korkeintaan 576 päällekkäistä vaakajuovaa kuvainformaatiota, on HDTV-kuvassa joko 720 tai 1080 vaakajuovaa. Kuten kuvasta 4.1 voi arvioida, voi HDTV-kuvan kuvapistemäärä olla jopa viisi kertaa suurempi kuin perinteisen TV-kuvan. [10]



Kuva 4.1 HDTV-kuvan resoluutiot suhteessa perinteisen PAL-standardin resoluutioon. [17]

Koska HDTV-kuvassa on enemmän vaakajuovia, saadaan siihen mahtumaan myös enemmän informaatiota, jolloin kuvasta tulee yksityiskohtaisempi. Kuva 4.2 osoittaa millainen ero piirroskalan esittämisessä voi olla televisioformaatista riippuen. [10]

Janne Kauramaa



SDTV (576 juovaa)

HDTV (1080 juovaa)

Kuva 4.2 HDTV-kuvaan sisältyy enemmän informaatiota ja yksityiskohtia [17]

4.1 Esitystavat

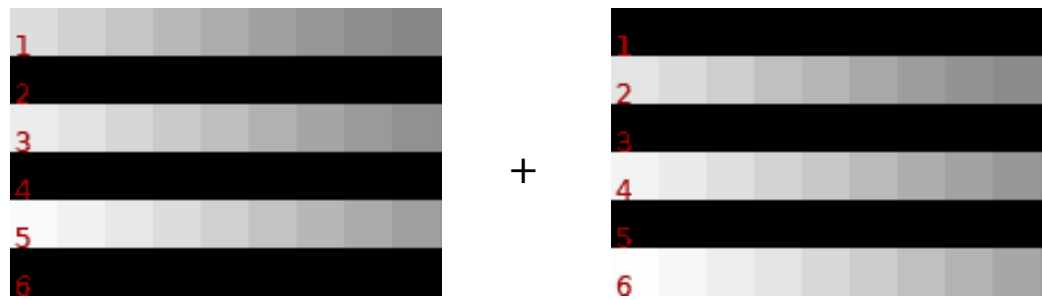
Teräväpiirtokuvan resoluutioille on olemassa seuraavat esitysstandardit: 720i50, 720i60, 720p24, 720p25, 720p30, 720p50, 720p60, 1080i50, 1080i60, 1080p24, 1080p25 ja 1080p30. Näissä ensimmäinen luku kertoo resoluution vaakajuovien määrän, kirjain kuvaa onko esitystapa lomitettu (i=interlaced) vai lomittamaton (p=progressive). Lopussa oleva luku ilmoittaa kuinka useasti kuva päivittyy sekunnissa (=Hz). [10]

4.2 Lomitus

Lomitettu esitystapa on alun perin kehitetty perinteisille televisiostandardeille. Esimerkiksi PAL-standardi sisältää 625 vaakajuovaa, joista 576 on tarkoitettu kuvamateriaalille ja loput muun informaation välityksen, kuten synkronointiin ja Teksti-tv:lle. Normaali (lomittamaton) PAL-kuva päivittyy vain 25 kertaa sekunnissa, jolloin kuva välkkyä ja rasittaa silmiä.

Lomituksessa kuva jaetaan kahdeksi osakuvaksi kuvan 4.3 osoittamalla tavalla. Toiseen kuvaan otetaan mukaan parittomat juovat ja toiseen parilliset. Koska kuvadataa on molemmissa kuvissa tällöin puolet vähemmän, kuvia voidaan päivittää kaksi kertaa nopeammin eli 50 kertaa sekunnissa. Tällöin kuva ei välky ja näyttää ihmissilmässä taseiselta. Koska HDTV-lähetys sisältää entistä enemmän kuvadataa ja lähetykskaistat ovat rajalliset, on lomitus otettu käyttöön myös teräväpiirtolähettyksiin. [10]

Janne Kauramaa



Kuva 4.3 Lomitetun kuvan muodostaminen

4.3 Liitännät

Tärkeimmät liitännät teräväpiirtoon liittyen ovat Digital Visual Interface (DVI) ja High Definition Media Interface (HDMI). Liittimet ovat kuvassa 4.4. Kuvan 4.4 DVI-liitin on DVI on tarkoitettu puhtaasti digitaalisen kuvasignaalin siirtoon. HDMI sen sijaan on monipuolisempi. Se pystyy siirtämään samassa kaapelissa sekä kuva- että äänisignaalin. Kaikista tuotteista, joilla on HD-valmius, edellytetään jompaakumpaa liitännöistä.



Kuva 4.4 DVI- ja HDMI-liittimet (uros)

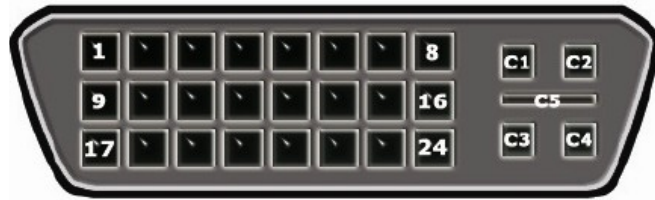
4.3.1 DVI-liitäntä ja sen signaalit

DVI (Digital Video Interface) on videoliitäntä, joka on suunniteltu digitaalisia näyttöjä (kuten LCD-näytöt ja digitaaliset videotykit) varten. DVI:stä on olemassa kolme eri tyyppiä, DVI-A (analoginen siirto), DVI-D (digitaalinen siirto) ja DVI-I (analoginen ja digitaalinen siirto mahdollinen).

Janne Kauramaa

DVI-liitännästä ja -kaapelista on myös dual link -versio. Siinä on tuplasti datansiirtokykyä joten sen kanssa on mahdollista käyttää korkeampia resoluutioita ja virkistystaajuuksia. Kuvan 4.4 DVI-liitin on tyypiltään DVI-D dual link -versio. Fyysisenä erona single linkin ja dual linkin välillä on dual linkin suurempi nastamäärä. [18]

Kuvassa 4.5 on DVI-liittimen nastajärjestys ja taulukossa 4.1 on nastoissa kulkevat signaalit. Taulukossa käytettävä lyhenne DDC tulee sanoista Display Data Channel, jonka kautta laitteet keskustelevat keskenään. Sen avulla esimerkiksi näyttölaitteen resoluutiot saadaan lähettävän laitteen tietoon.



Kuva 4.5 DVI-liittimen (naaras) nastat [18]

Taulukko 4.1 DVI-liittimen signaalit [18]

Nasta	Signaali	Nasta	Signaali	Nasta	Signaali
1	Data 2-	9	Data 1-	17	Data 0-
2	Data 2+	10	Data 1+	18	Data 0+
3	Suoja (2 & 4)	11	Suoja (1 & 3)	19	Suoja (0 & 5)
4	Data 4-	12	Data 3-	20	Data 5-
5	Data 4+	13	Data 3+	21	Data 5+
6	Kello DDC	14	+5 V	22	Suojan kello
7	Data DDC	15	Maa	23	Kello +
8	Analoginen pystysynkronointi	16	Hot Plug	24	Kello -
C1	Analoginen Punainen				
C2	Analoginen Vihreä				
C3	Analoginen Sininen				
C4	Analoginen vaakasynkronointi				
C5	Analoginen maa				

	TMDS
	Plug & Play
	Analoginen

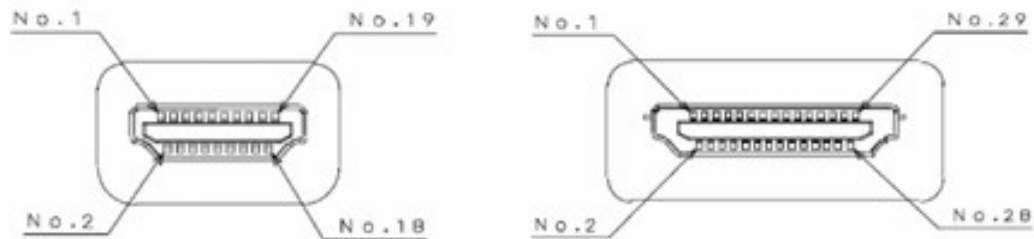
Janne Kauramaa

DVI-D dual link -liittimessä on tuplasti datanastoja sigle link -liittimeen verrattuna. Single linkin datanastojen (nastat 1,2,9,10,17 ja 18) lisäksi dual linkin liittimeen kuuluu myös datanastat 4,5,12,13,20 ja 21.

4.3.2 HDMI-liitäntä ja sen signaalit

HDMI on lyhenne sanoista High-Definition Multimedia Interface. Se on digitaalisen videon ja audion siirtämiseen kehitetty standardi. HDMI on suunniteltu teräväpiirtotelevisioita varten. Siirrettävän videon resoluutio voi olla aina 1980x1080 asti ja samassa kaapelissa voi siirtyä lisäksi maksimissaan kahdeksankanavainen 192 kHz näytteenototaajuudella 24-bittinen audio. Viimeisimmässä HDMI-määrittelyssä (1.3) käytössä olevan siirtokaistan määrä lähes kaksinkertaistettiin arvoon 10.2 Gbps (edellinen maksimi oli 4.95 Gbps), joka riittää reilusti 1080p-videolle ja monikanavaäänelle.

Kuvassa 4.6 on HDMI-liittimien (tyyppi A ja tyyppi B) nastajärjestykset. Tyypin A HDMI-liittimessä on 19 nastaa ja tyypin B -liittimessä on 29 nastaa.



Tyypin A -liitin

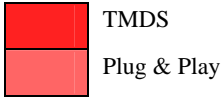
Tyypin B -liitin

Kuva 4.6 HDMI-liittimen nastat [19]

Taulukossa 4.2 on HDMI-liitännän (tyyppi B) signaalit. Taulukossa käytetty lyhenne CEC tulee sanoista Consumer Electronic Control. CEC mahdollistaa laitteiden ohjauksen ryhminä - yhdellä napin painalluksella voi ohjata usempaa laitetta, esim. digiboksi voi itse käskä DVD-tallentimen aloittaa nauhoituksen. [20]

Taulukko 4.2 HDMI-liitännän signaalit [20]

Nasta	Signaali	Nasta	Signaali	Nasta	Signaali
1	Data 2+	9	Data 0-	17	Suoja (4)
2	Suoja (2)	10	Kello +	18	Data 4-
3	Data 2-	11	Suojan kello	19	Data 3+
4	Data 1+	12	Kello -	20	Suoja (3)
5	Suoja (1)	13	Data 5+	21	Data 3-
6	Data 1-	14	Suoja (5)	22	CEC
7	Data 0+	15	Data 5-	23	varattu
8	Suoja (0)	16	Data 4+	24	varattu
25	Kello DDC				
26	Data DDC				
27	Maa				
28	+5 V				
29	Hot Plug				



TMDS
 Plug & Play

4.3.3 TMDS-kanavat

Transition Minimized Differential Signaling (TMDS) on Silicon Imagen kehittämä tekniikka sarjamuotoisen datan siirtoon. Sitä käytetään DVI- ja HDMI-liitännöissä. DVI single link -liitännässä ja HDMI tyyppin A -liitännässä (19 nastainen) on kolme TMDS-kanavaa. Jokainen TMDS-kanava siirtää kyseisen väriavaruuden yhtä ulottuvuutta (esim. punainen, vihreä, sininen) ja ohjausdataa (HDMI:ssä myös audiota). TMDS-kellokanava tahdistaa TMDS-kanavat tiedon oikea-aikaista siirtämistä varten. DVI dual link -liitännässä ja HDMI tyyppin B -liitännässä (29 nastainen) noita kanavia on kaikkia kaksi, joten kaista on kaksi kertaa suurempi.

TMDS-tekniikkaan kuuluu algoritmi, joka on samantyyppinen kuin 8B/10B-koodaus. Prosessi on kaksiosainen, jossa kahdeksan bittiä esitetään kymmenellä bitillä. Ensimmäisessä osassa jokaiselle bitille (ensimmäistä lukuunottamatta) tehdään joko XOR- tai XNOR-muunnos edellistä bittiä vastaan. Toinen toiminnoista valitaan sillä perusteella, kummalla tulee vähemmän muunnoksia. Yhdeksäs bitti lisätään osoittamaan, kumpaa muunnosta käytettiin. Toisessa osassa ensimmäisille kahdeksalle bitille voidaan tehdä inversio tasoittamaan ykkösten ja nollien määrää. Tällä saadaan pidettyä ta-

Janne Kauramaa

savirta keskiarvossa. Kymmenes bitti lisätään osoittamaan, tehtiinkö inversio vai ei. [21]

4.4 HD-valmius

European Information & Communications Technology Industry Association (EICTA) on määritellyt minimivaatimukset tuotteelle, joka ansaitsee merkinnän HD-valmiudesta. Merkinä vaatimusten täyttämiseksi on kuvan 4.7 mukainen HD-Ready-merkintä.



Kuva 4.7 HD-Ready-merkintä (laite täyttää EICTA:n kriteerit)

HD-ready-vaatimukseen kuuluu näyttöpaneelin tuki 720 pikseliin pystysuunnassa ja laajakuvamuotoinen kuva. Analogisen signaalin sisääntulo komponenttiliitännän kautta ja digitaalisen signaalin DVI- tai HDMI-liittimien kautta. Laitteen on kyettävä ottamaan sisään 1280x720-resoluutiota progressiivisena 50 Hz ja 60 Hz taajuudella (720p) sekä lomitettuna 1920x1080-resoluutiota 50 Hz ja 60 Hz taajuudella (1080i). Lisäksi DVI- ja HDMI-liitännöissä on oltava Intelin kehittämä HDCP-kopiointisuojaus. [9]

4.5 H.264-videonpakkausalgoritmi

H.264 saa yhä enemmän huomiota, koska se pystyy pakkaamaan videota noin kolme kertaa pienempään tilaan kuin MPEG-2. Tämä mahdollistaa esimerkiksi useamman televisio-ohjelman mahtumisen annettuun kaistanleveyteen, laatuvideoiden toimittamisen kaistarajoitteiseen ympäristöön (kuten 3G puhelinverkko) sekä korkeatasoisen elokuvan tallettamisen perinteiselle DVD-levylle. [5]

Janne Kauramaa

Koska H.264 on kaksi kertaa tehokkaampi kuin MPEG-4 Part 2 -pakkausalgoritmi, on se hyväksytty MPEG-4-standardiin Part 10 - Advanced Video Coding -nimikkeellä. Tästä syystä elokuvateollisuus on siirtymässä suoraan H.264-pakkaukseen yhden väli-vaiheen MPEG-4 Part 2 ohi. Menetelmä hahmottaa kuvassa esiintyvät oliot, joita se liikuttelee erillisinä objekteina. Käytännössä olio voi olla esimerkiksi pöytä tai tuoli tai yhtä lailla ihminen.

4.5.1 H.264 teräväpiirtovideoissa

Mitä laadukkaampaa videokuvaa halutaan tarjota, sitä enemmän tarvitaan kaistaa siirtotiellä. Jos olisi tarjota siirtotielle ääretöntä kaistanleveyttä, ei tarvittaisi lainkaan kehittyvää pakkaustekniikkaa. Mutta todellisuudessa kaista on rajoitettu ja silti pitäisi saada parempaa ja tarkempaa videokuvaa kuluttajille.

Digitaalisten lähetysten myötä tuli MPEG-2 käyttöön pakkausmenetelmänä. Sen teho riitti, kun haluttiin julkaista ns. standarditasoista televisiolähetystä. PAL-standardissa tämä tarkoittaa resoluutiota 720x576. Kun mukaan tulee teräväpiirtolähetykset, resoluutionaan maksimissaan 1920x1080, niin MPEG-2-pakkauksella yhden ohjelman viemä kaista paisuu liian suureksi jotta kaistatilaa voidaan tehokkaasti hyödyntää. Yksi ohjelma vaatisi kokonaisen kanavanipun suuruisen kaistan eli noin 20 Mbps. [5]

Tällä hetkellä digitaalisessa televisiolähetyksissä käytetään vielä useasti MPEG-2-pakkausta, mutta tulevaisuudessa tullaan maanpäällisissäkin lähetyksissä siirtymään DVB-T2-standardin mukaisiin HDTV-lähetysiin (satelliitin kautta on jo lähetetty). Näissä lähetyksissä tullaan käyttämään H.264-pakkausta (MPEG-4 AVC). Tuon pakkausmenetelmän lanseerausta hidastaa tällä hetkellä sen purkamiseen vaadittavien digisovittimien saatavuus.

Tämän raportin kirjoitushetkellä Euroopassa on jo yli 50 kaupallista HDTV-kanavaa, joista jo suurin osa käyttää H.264-pakkausta. Vuoteen 2010 mennessä on ennustettu kanavamäärän olevan jo yli 100.

Janne Kauramaa

4.5.2 Vertailu MPEG-2-pakkaukseen

H.264-pakkauksen teho tulee selvästi esille, kun käytetään alhaista bittivirtaa. Kuvassa 4.8 näkyy videon pysäytyskuvat MPEG-2- sekä H.264-pakatussa kohtauksessa. Molemmat ovat pakattu käyttäen 100 kbps kaistaa.



Kuva 4.8 Vasemmalla on MPEG-2 ja oikealla H.264 pakattu video [5]

Kuvista näkee selvästi miten MPEG-2-pakatussa videossa näkyy jo häiritsevää palikoitumista kun taas H.264-pakattu kuva on pysynyt vielä katsottavana. H.264-kuva on jo hieman tullut suttuiseksi hahmojen rajapinnoista. [5]

5 YHTEENVETO

Mitä tulee valintaan kumpi formaateista, Blu-ray tai HD DVD, kannattaa hankkia, siihen ei tällä hetkellä ole hyvää ratkaisua. Hinnan puolesta tällä hetkellä viisaampi valinta olisi HD DVD, mutta kun tuotantolinjoja alkaa olla tarpeeksi ja tuotantomäärät suuria, tulee Blu-ray-levyjen hinta varmasti alas. Jos valinta on pelkästään elokuvien katselua varten, kilpailu onkin sitten tiukempaa. Molemmat kykenevät tuomaan samanlaatuisen elokuvan kotien valkokankaille tai teräväpiirtonäytöille, koska tukevat samoja pakkausmenetelmiä.

Tällä hetkellä elokuvajulkaisuja tehdään paljon myös vanhoista klassikoista joissa ns. masternauha ei ole tarpeeksi laadukas, jotta siitä saataisiin digitalisoitua tarpeeksi terävää kuvaa. Näiden kautta vertailu formaattien välillä on aivan turhaa. Kyseessä on enemmänkin elokuvayhtiöiden taito tehdä elokuvasta hyvänlaatuinen uusi versio.

Mikäli tilannetta katsoo tallennuskapasiteetin puolelta, voittaja on Blu-ray. Blu-ray-levyn yksinkertaisimpaankin versioon menee jo 25 GB dataa verrattuna HD DVD:n 15 GB. Tietysti valinnassa pitää ottaa huomioon kodin muut laitteet esimerkiksi mahdollinen HD-kamera ja sen käyttämät formaatit.

Yksi sinänsä vartenotettava vaihtoehto on ostaa uusi konsoli, jossa uutta tekniikkaa jo käytetään. Niiden hinta on usein jopa alhaisempi kuin vastaavaan toistoon kykenevien soittimien. Tällaisesta tapauksesta hyvä esimerkki on esimerkiksi Blu-ray-asetalla varustettu Sony PlayStation 3, joka tukee myös teräväpiirtotekniikkaa.

Kuluttajille saattaa tulla ikävänä yllätyksenä digitelevision tuleva kehitysaskel teräväpiirtovideo H.264-pakkauksella. Vanhat ja suurin osa tällä hetkellä myynnissä olevista digisovittimista eivät tue uutta pakkausta ja jos haluaa nauttia uusista teräväpiirtolähetyksistä, on ostettava uusi digisovitin. Tämän hetken teräväpiirtolähetyksiä voi seurata nykyisillä laitteilla, koska pakkausalgoritmina käytetään vielä MPEG-2:sta. Tilanne tulee muuttumaan kanavien lisääntyessä, koska tällä hetkellä yksi lähetyksien määrä vie koko kana-

Janne Kauramaa

vanipulle varatun kaistan. Uudella pakkauksella saadaan mahtumaan kanavia enemmän yhdelle kaistalle.

Janne Kauramaa

LÄHDELUETTELO

1. Technical White Paper, http://maxellcanada.com/pdfs/white_papers/blue_ray_wp.htm,
luettu 20.4.2007
2. General Blu-ray Disc Format White paper, http://www.blu-raydisc.com/assets/downloadablefile/general_bluraydiscformat-12834.pdf, elokuu
2004, luettu 20.4.2007
3. HD DVD – A technical introduction,
http://www.dvdforum.org/images/Forum_HD_DVD_Universal_24.pdf, marraskuu
2005, luettu 21.4.2007
4. HD DVD Production White Paper,
<http://www.sonic.com/products/Professional/whitepapers.aspx>, huhtikuu 2007, luettu
21.4.2007
5. Introduction to H.264, http://ati.amd.com/products/pdf/H264_Whitepaper.pdf, 2005,
luettu 20.4.2007
6. MPEG-2 Video Compression,
http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/papers/paper_14/paper_14.shtml, joulukuu 1995
7. Introduction to MPEG 2 Video Compression,
<http://www.bretl.com/mpeghtml/mpeg2vc1.HTM>, 15.1 2000
8. SMPTE VC-1, <http://www.digitalpreservation.gov/formats/fdd/fdd000095.shtml>,
7.3.2007, luettu 22.4.2007
9. Conditions for High Definition Labelling of Display Devices,
http://www.eicta.org/fileadmin/user_upload/document/document1160753216.pdf, lue-
ttu 22.4.2007

Janne Kauramaa

10. HDTV FAQ, <http://www.hdtv.net/faq.cfm>, luettu 23.4.2007
11. DTS on Blu-ray and HD DVD, <http://www.dtsonline.com/dts-hd/dts-on-bluray-and-hddvd.php>, luettu 23.4.2007
12. Dolby Digital Plus, http://www.dolby.com/assets/pdf/tech_library/DDPlus_FAQ.pdf, luettu 23.4.2007
13. Dolby TrueHD, http://www.dolby.com/assets/pdf/tech_library/TrueHD_FAQ_10925_Final.pdf, luettu 23.4.2007
14. Blu-ray vs HD DVD: State of the Division, <http://www.engadget.com/2005/09/19/blu-ray-vs-hd-dvd-state-of-the-s-union-s-division>, 19.9.2007, luettu 21.4.2007
15. Urajaon (muokattu) kuva sivulta: <http://www.avx.be/pictures/grafiek/dvd/dvd-macro.jpg>, haettu 21.4.2007
16. Suojakerroksen-kuva (muokattu) sivulta: <http://panasonic.net/blu-ray/story01/img/image05.gif>, haettu 21.4.2007
17. HDTV, <http://fi.wikipedia.org/wiki/HDTV>, luettu 24.4.2007
18. Digital Visual Interface & TMDS Extensions White Paper, <http://www.siliconimage.com/docs/SiI-WP-007-A.pdf>, Silicon Image, Lokakuu 2004, luettu 7.5.2007
19. HDMI-liittimien nastakuvat, http://member.digitimes.com.tw/newsimage/06010915b312_1.gif, haettu 7.5.2007

Janne Kauramaa

20. Hardware Secrets, The New HDMI Video Connector,
<http://www.hardwaresecrets.com/article/283/3>, 13.2.2006, luettu 7.5.2007

21. Transition Minimized Differential Signaling,
http://en.wikipedia.org/wiki/Transition_Minimized_Differential_Signaling, luettu
7.5.2007