



KOLMIULOTTEINEN ELOKUVAUS

Tampereen ammattikorkeakoulu
Viestinnän koulutusohjelman tutkintotyö
Kuvaus
Syksy 2008
Naskali Riku

OPINNÄYTETIIVISTELMÄ

Osasto Viestintä	Erikoistumisala Kuvaus
Tekijä Riku Naskali	
Työn nimi Kolmiulotteinen elokuvaus	
Lopputyön laji Kirjallinen / Projekti	
Työn valmistumisaika 28.11.2008	Sivumäärä 57
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytteeni käsittelee monipuolisesti kolmiulotteisen kuvan tuottamista, jälkituotantoa sekä itse esitystilannetta. Työni etenee ennakkosuunnittelusta aina esitystilanteeseen asti.</p> <p>Työhöni liittyy myös projektiosuus, johon kuvasin itsenäisesti monenlaista materiaalia stereoskooppisena. Projektiosuudessa on myös materiaalia Toni Pykäläniemen ohjaamasta musiikkivideosta, jossa toimin 3d-asiiantuntijana. Kyseessä oli Suomen ensimmäinen kolmiulotteinen musiikkivideo. Työni kirjoitushetkellä videon jälkituotanto on vielä kesken, joten materiaali on varsin tuoretta.</p> <p>Työni tavoitteena on lisätä kiinnostusta formaattia kohtaan ja näyttää muille että kolmiulotteisen kuvan kuvaaminen opiskelijabudjetilla on täysin mahdollista. Tavoitteenani on myös selkeästi kertoa minkälainen prosessi kolmiulotteinen kuvaaminen tällä hetkellä on. Aiheesta ei ole ollut olemassa minkäänlaista suomen kielistä tietopakettia, jollaiseksi toivonkin oman työni muodostuvan.</p>	
Aineisto	
Asiasanat Kolmiulotteinen, stereoskooppinen, 3d, interaksiaali	
Säilytyspaikka Tampereen ammattikorkeakoulu, Finlaysonin kirjasto	
Muita tietoja	

THESIS		SUMMARY	
Department Media Programme			Area of specialisation TV/Video Studies
Author Riku Naskali			
Title Stereoscopic cinematography			
Sort of Final Thesis (Written / Project / Portfolio) Written / Project			
Date 28.11.2008			Number of pages 57
<p>Summary:</p> <p>In the written part of my thesis I explore how humans see and sense depth, and how anyone can recreate that very same illusion of three-dimensionality in cinematography. I compare different stereoscopic imaging systems and present my own workflow to shoot, edit, and screen films in stereoscopic format.</p> <p>With my thesis I'd like to inspire people to experiment with stereoscopic filming, especially in Finland. According to my knowledge there has been no literature in Finnish on stereoscopic cinematography before my thesis. In my thesis I also conclude that anyone can shoot stereoscopic movies, there is no need for multimillion budgets or precisely machined rigs.</p> <p>The functional part of my thesis is my stereoscopic cinematography reel, which I shot in a period of three months in various locations. The focus of my reel is on stereoscopic imaging, not so much on fine cinematography. Most of the material on the reel was shot in run-and-gun situations with preset interaxial distances.</p> <p>I was also the 3d-supervisor on Finland's first stereoscopic music video for the band Essentia, directed by Toni Pykalaniemi and shot by Tommi Moilanen. On that shoot I used Inition's Stereobrain software to calculate precise maximum allowed parallaxes and interaxial distances. I've included clips from the shoot in my reel, unfortunately the official music video is not yet completed due to complex post-production pipeline.</p>			
Material (e.g. audio / video tape, photographs, slides, paintings, statues...)			
Key words Stereoscopy, interaxial, stereography, parallax			
Filing TAMK University of Applied Sciences, Art and Media			
Other information			

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Aiheen valinta ja aikaisempi kokemus	3
2.1	Hyppäys tuntemattomaan	3
2.2	Käytännön kokemus.....	3
2.2.1	<i>Kolmiulotteisesta kuvasta.....</i>	<i>3</i>
2.2.2	<i>Kaksiulotteisesta, perinteisestä elävästä kuvasta.....</i>	<i>3</i>
2.2.3	<i>Laitteiden rakentelusta.....</i>	<i>4</i>
2.3	Kirjallisuus ja eri teoreettiset lähteet.....	5
3	Kolmiulotteisuuden illuusio ja syvyysvihjeet	6
3.1	Ihmisen silmissä ja aivoissa	6
3.1.1	<i>Monokulaariset syvyysvihjeet.....</i>	<i>6</i>
3.1.1.1	Accommodation.....	6
3.1.1.2	Pintagradietit.....	6
3.1.1.3	Väriin ja valon vaihtelut.....	7
3.1.1.4	Kohteen suhteellinen koko.....	7
3.1.1.5	Päällekkäisyydet	7
3.1.1.6	Lineaarinen perspektiivi.....	7
3.1.1.7	Atmosfäärinen perspektiivi	7
3.1.1.8	Monokulaarinen liikeparallaksi.....	7
3.1.2	<i>Binokulaariset syvyysvihjeet.....</i>	<i>7</i>
3.1.2.1	Konvergenssi	8
3.1.2.2	Binokulaarinen parallaksi.....	8
3.2	Syvyysvihjeet perinteisessä kaksiulotteisessa elokuvassa	8
3.3	Syvyysvihjeet stereoskooppisessa elokuvassa.....	9
4	Kolmiulotteisen kuvan tuottaminen.....	10

4.1	Eri tapoja tuottaa kolmiulotteista kuvaa.....	10
4.1.1	<i>Kuvaparien tuottaminen yhdellä kameralla peilien avulla.....</i>	10
4.1.2	<i>Kuvaparien tuottaminen kameraa siirtämällä kuvien välissä</i>	11
4.1.3	<i>Kolmiulotteisen kuvan tuottaminen kahdella kameralla</i>	12

5 Kolmiulotteinen kuvauskalusto..... 13

5.1	Oma elokuvauskalustoni	13
5.1.1	<i>Kameroiden synkronisointi.....</i>	13
5.1.2	<i>Kameroiden valinta</i>	14
5.1.2.1	Sony HDR-CX 11	16
5.1.3	<i>Kameroiden rigaus vierekkäin</i>	16
5.1.4	<i>Puolipeilirigini</i>	16
5.1.4.1	Toimintaperiaate	16
5.1.4.2	Kokoonpano, testaus ja evoluutio	17
5.1.4.3	Puolipeilien vaikutus optiseen laatuun	18
5.1.5	<i>Monitorointi</i>	20
5.2	Oma stillkuvauskalustoni.....	21
5.2.1	<i>Stereodatamaker ja USB-laukaisin</i>	21
5.2.2	<i>Canon A710iS.....</i>	22
5.2.3	<i>Z-bar kameroille.....</i>	22
5.3	Esimerkkejä kaupallisista ratkaisuista kolmiulotteiseen kuvaamiseen ²³	
5.3.1	<i>Cameron-Pace Fusion 3D Rig</i>	23
5.3.2	<i>Paradise FX 3D Rig</i>	24
5.3.3	<i>P&S Technic 3D Rig</i>	24
5.3.4	<i>21st Century 3DVX.....</i>	24

6 Stereoskooppisen elokuvauksen perusasiat ja –

käsitteet 25

6.1	Parallaksi ja stereoikkuna	25
6.1.1	<i>Positiivinen parallaksi.....</i>	26
6.1.2	<i>Negatiivinen parallaksi</i>	26
6.1.3	<i>Parallaksin käyttäminen.....</i>	27
6.1.4	<i>Pinnaus ja sen käytännön seuraukset.....</i>	27
6.1.5	<i>Window violation ja retinal rivalry</i>	28
6.1.6	<i>Kelluva ikkuna, floating window.....</i>	29
6.2	Interaktiivinen etäisyys	29

6.2.1	<i>Kohteiden suhteellinen koko</i>	30
6.2.2	<i>Polttovälin vaikutus interokulaariseen etäisyyteen</i>	30
6.2.3	<i>1/30 sääntö</i>	31
6.2.4	<i>Berkovitzin täydellinen kaava</i>	31
6.2.4.1	<i>Yksinkertaistettu Berkovitzin kaava</i>	31
6.2.4.2	<i>Davisin muutos Berkovitzin kaavaan</i>	31
6.2.5	<i>Frank Di Marzion yleiskaava</i>	32
6.2.6	<i>Di Marzion kaava makrokuvia varten</i>	32
6.3	Konvergenssi ja divergenssi	32
6.3.1	<i>Kameroiden suuntaaminen suoraan eteenpäin</i>	33
6.3.2	<i>Kameroiden kääntäminen sisäänpäin</i>	33

7 Stereoskooppisen elokuvauksen taiteelliset ja

draamalliset erityispiirteet 35

7.1	<i>Kuvausformaatin valinta</i>	35
7.2	<i>Kameran liikuttaminen</i>	35
7.3	<i>Syvyysterävyys</i>	35
7.4	<i>Valaisu</i>	36
7.5	<i>Syvyyden kontrollointi</i>	36
7.6	<i>Polttovälien käyttö</i>	36

8 Stereoskooppisen elokuvan jälkityöt 37

8.1	<i>Oma workflowni</i>	37
8.1.1	<i>Videoiden transkoodaaminen leikattavaan muotoon</i>	37
8.1.2	<i>Videoiden leikkaaminen Adobe Premiere Pro:ssa</i>	38
8.1.3	<i>Videoiden asemointi StereoMovie Makerissa</i>	38
8.1.4	<i>Videoiden lopullinen leikkaus</i>	38
8.2	<i>Johdatus StereoMovie Makeriin</i>	39
8.2.1	<i>Stereoikkunan asettaminen</i>	39
8.2.2	<i>Suuntausvirheiden korjaaminen</i>	41
8.3	<i>Stereoskooppisen elokuvan pakkaaminen ja eri tiedostomuodot</i>	42

9 Stereoskooppisen elokuvan esitystekniikoita 43

9.1	<i>Aktiiset esitystekniikat</i>	43
9.1.1	<i>Suljinlasit</i>	43
9.1.2	<i>HMD</i>	43

9.2	Passiiviset esitystekniikat.....	43
9.2.1	<i>Anaglyph, eli punaviherlasit.....</i>	44
9.2.2	<i>ColorCode 3D.....</i>	45
9.2.3	<i>Chromadepth.....</i>	45
9.2.4	<i>Pulfrich –efekti.....</i>	46
9.2.5	<i>Parallel / Side by side.....</i>	47
9.2.6	<i>Cross eyed.....</i>	47
9.2.7	<i>Passiiviseen polarisaatioon perustuvat menetelmät.....</i>	48
9.2.7.1	<i>Planar.....</i>	48
9.2.8	<i>Projisointi kahdella videotykillä.....</i>	50
9.3	Autostereoskooppiset näytöt.....	50
9.4	Suomessa elokuvateattereissa käytössä olevia esitystekniikoita.....	52
9.4.1	<i>Dolby.....</i>	52
9.4.2	<i>XpanD 3D.....</i>	52
10	Case: Kolmiulotteista kuvaa.....	53
10.1	Kuvauskohteiden valinta.....	53
10.2	Kuvaustekniikka käytännössä.....	53
11	Kolmiulotteisen kuvauksen haasteet tällä hetkellä .	54
11.1	Kohdistukset ja säädöt.....	54
11.2	Kolmiulotteisen elokuvan esittämisen vaikeus.....	54
11.3	Vaiva vastaan saavutettu hyöty.....	54
11.4	Kolmiulotteisen elokuvan tuotantokelpoisuus.....	55
	Lähteet.....	56

1 Johdanto

Kolmiulotteinen eli stereoskooppinen elokuva on tällä hetkellä kaikkien huulilla. Suomen elokuvateattereihin on juuri saatu useita saleja, joissa voidaan näyttää kolmiulotteista elokuvaa. Mediat ovat selvästi kiinnostuneita ”uudesta” formaatista ja kuluttajatkin ovat käyneet ahkerasti katsomassa kolmiulotteisia elokuvia. Formaatti on kuitenkin ollut olemassa jo useita vuosikymmeniä ja siitä on povattu menestyjää aiemminkin. Nyt asiat ovat kuitenkin toisin digitaalitekniikan yleistymisen myötä, stereoskooppinen kuvaus on käytännössä lähes kaikkien ulottuvilla.

Suomessa stereoskooppisesta kuvauksesta on kirjoitettu valitettavasti hyvin vähän. Toivoisinkin lopputyöni lisäävän kiinnostusta formaattia kohtaan ja rohkaisemaan muita opiskelijoita, miksei ammattilaisiakin, kokeilemaan formaattia. Kolmiulotteinen kuvaus voi aluksi vaikuttaa monimutkaiselta, mutta sen salat aukeavat nopeasti käytännössä. Sääntöjä ja erilaisia kaavoja on paljon, mutta formaattiin pätee sama kuin muuhunkin kuvaamiseen: sääntöjä voi rikkoa kunhan tietää mitä tekee, kuvaus on kuitenkin vähintään puoliksi taidetta tekniikan lisäksi. Stereoskooppisella kuvalla on myös muita vähemmän tunnettuja käyttökohteita, esimerkiksi lääketieteessä sitä on jo käytetty pitkään kuvantamisessa. Luonnollisesti en tällaisia käyttökohteita käsittele lopputyössäni.

Lopputyöni ei ole tarkoitus kattaa kaikkea mahdollista stereoskooppisesta kuvaamisesta, mutta pyrkimyksenäni on antaa hyvät lähtökohdat kaikille formaatista kiinnostuneille. Pyrin kiinnittämään huomiota myös suhteellisen paljon kolmiulotteisten elokuvien esittämiseen, sillä se on tällä hetkellä formaatin suurin kompastuskivi ja se aiheutti minulle myös suuria ongelmia. Yksinkertaisesti massamarkkinoille järkeviä näyttöratkaisuita ei ole vielä olemassa. Esitän lyhyesti lopputyössäni erään näppärän näyttöratkaisun kotikäyttäjien tarpeisiin, joka koostuu kahdesta normaalista tietokoneen litteästä näytöstä, sekä puolipeilistä. Useat tietokoneharrastajat ympäri maailmaa ovatkin rakentaneet tällaisen näyttöratkaisun ja ovat havainneet sen toimivaksi ratkaisuksi kolmiulotteisen sisällön katselemiseen kotioloissa.

Tutkintotyöhöni liittyvässä projektiosassa tutkin kolmiulotteisen kuvan kuvaamista käytännössä ja sen vaikutusta muihin kuvaukseen liittyviin ratkaisuihin. Pyrin

valitsemaan siihen mahdollisimman monipuolisia kuvauskohteita ja tilanteita, jotta siitä saisi realistisen kuvan formaatin mahdollisuuksista.

Lopuksi otan kantaa kolmiulotteisen elokuvan suurimpiin ongelmiin ja yleistymistä vaikeuttaviin asioihin. Samalla referoin kokemuksiani oman mediatekoni kuvauksista.

2 Aiheen valinta ja aikaisempi kokemus

2.1 Hyppäys tuntemattomaan

Mikä sai minut valitsemaan aiheen, josta en käytännössä tiennyt etukäteen yhtään mitään, johon ei ole olemassa varsinaisesti valmista tekniikkaa tai vakiintuneita kuvaustapoja, ja jonka esittäminenkään ei ole aivan helppoa? Luonteeni huomioon ottaen varmasti juuri nuo seikat vaikuttivat aiheen valintaan merkittävästi, hyppy tuntemattomaan on itselleni nimittäin mielenkiintoinen ja positiivinen asia.

Aihetta pohtiessani tuntui, että tietäisin perinteisestä elokuvauksesta niin paljon, että siitä kirjoittaminen ei olisi mielekäästä. Minulle ehdotettiin myös, että tekisin lopputyöni jostakin valaisuun liittyvästä aiheesta, koska olen valaissut viimeisen parin vuoden aikana monia lopputöitä. En kuitenkaan osannut kuvitella kirjoittavani kymmeniä sivuja valaisusta, koska se on itselleni niin tuttua. Muutenkin minulla oli sellainen olo, että uusia asioita kuvauksissa tuli eteen yhä harvemmin ja harvemmin.

Törmäsin sattumalta Internetissä surffaillessani stereoskooppiseen kuvaamiseen ja kaikki lokahti paikoilleen. Aihe, josta on kirjoitettu Suomessa hyvin vähän ja joka on tällä hetkellä erittäin kuuma. En edes aiheeseen törmäämistäni ennen tiennyt, että kolmiulotteinen kuvaaminen olisi ylipäättään mahdollista kuluttajaluokan laitteilla, saati sitten melko helppoa.

2.2 Käytännön kokemus

2.2.1 *Kolmiulotteisesta kuvasta*

Käytännön kokemukseni kolmiulotteisesta kuvasta, tai elokuvasta, oli käytännössä nolla kun valitsin aiheeni. Olin nähnyt aiemmin yhden kolmiulotteisen elokuvan, Terminator 2 3-D:n Universal Studiosin huvipuistossa. Olin vaikuttunut kokemuksesta, sitä ennen olin tutustunut lähinnä vain punaviherlaseilla katsottaviin stereoskooppisiin kuviin. Ne eivät toimineet kovin hyvin ja aiheuttivat räsitusta silmille.

2.2.2 *Kaksiulotteisesta, perinteisestä elävästä kuvasta*

Kokemusta perinteisestä elävän kuvan tuotannosta minulla on melko paljon, olen ollut aktiivinen koulussa projektien suhteen ja minulla on myös amatöörielokuvatausta ennen opiskelujani.

Ennen TTVO:ta kävin Voionmaan opiston, missä kokemusta kertyi muun muassa filmityöskentelystä. Valaisua pääsin myös hieman kokeilemaan, vaikkakin sen suhteen olin vielä täysi ummikko ennen kouluun pääsyäni. Pääsin myös Puolustusvoimissa videoeditoijan tehtäviin, ja sain sitä kautta kokemusta videoiden itsenäisestä tuottamisesta ja leikkaamisesta. Armeijasta päästyäni sain myös ensimmäisen palkallisen työpaikkani elokuva-alalla, erikoistehosteassistentin paikan Damage Fx Oy:ssa. Heidän kauttaan pääsin osallistumaan ensimmäiseen pitkään elokuvaani ja hahmotin ensi kertaa tuotantoprosessin kokonaisuutena.

Koulussa tein heti ensimmäisenä vuonna monia mediaprojekteja, vaikka meille sanottiinkin että ensimmäisenä vuonna tulisi keskittyä opiskeluun. Toisena vuonna kuvasin varmasti määrällisesti eniten projekteja koko kouluaikanani. Silloin sain mahdollisuuden myös kuvata ensimmäistä kertaa S-16MM filmille Miina Hujalan taide-elokuvan parissa. Kolmantena vuonna pääsin hieman valaisun makuun ja kuvasin myös isompana projektina Matti Lehtisen kolmeminuuttisen. Neljännestä vuodesta eteenpäin olen lähes pelkästään valaissut muiden kuvaajien töitä, kolmeminuuttisia ja kymmenminuuttisia, filmille ja hd-videolle kuvattavia, omituisia ja vähemmän omituisia. Olen muutenkin kuvaajana melko keskittynyt valaisuun, joten lopputyöni on hyvää vastapainoa valaisupainotteiselle koulu-uralleni.

2.2.3 Laitteiden rakentelusta

Olen jo pienestä pitäen pitänyt kaikenlaisten laitteiden suunnittelemisesta ja rakentamisesta, vaikka en olekaan ollut siinä koskaan kovin hyvä. Minua kiehtoo eri laitteiden toiminta ja niiden toimintaperiaatteiden kopiointi ja parantelu. Olenkin rakennellut erilaisia laitteita ja tehnyt muutoksia kaupallisiin laitteisiin vuosien saatossa melko paljon. Peukaloni on edelleen melko keskellä kämmentä, mutta tarkkuutta vaativissa töissä olen saanut usein apua isältäni. Erilaisia kaiuttimia, kuulokkeita, koteloita, valaisimia, sähkölaitteita, mekaanisia laitteita, hyllyjä, dollyja, kissan raapimispuuta ja kamerateknisiä oheislaitteita on tullut suunniteltua ja rakenneltua. Suurin osa niistä on kuitenkin kesken, suunnitteilla tai jäähyllä. Kamerateknisistä laitteista minulle ei ollut kuitenkaan juurikaan kokemusta ennen lopputyötäni, etenkin työni vaatimasta alta millimetriluokan tarkkuustyöskentelystä. Kaluston karkea tarkkuus varmasti myös heijastuu jonkin verran lopputuloksissa.

2.3 Kirjallisuus ja eri teoreettiset lähteet

Stereoskooppinen elokuva ei ole mikään uusi keksintö, joten siitä löytyi runsaasti erilaisia lähteitä. Pääasiallinen lähteeni oli Internet, mistä löytyi todella paljon asiaa muun muassa kuvauskaluston rakentamisesta, sekä eri tavoista esittää kolmiulotteista elokuvaa.

Mielestäni on kummallista, ettei Suomessa ole juurikaan kuvattu stereoskooppista elokuvaa. Lähteitä ja tietotaitoa kuitenkin riittää maailmalla. Olen myös ollut yhteydessä sähköpostitse Mihkel Mäemetsiin Bio Rex Digital Solutionsista heidän kolmiulotteisista esitysratkaisuistaan sekä Finnkinon järjestelmäasiantuntijaan Ari Saariseen heidän ratkaisuistaan.

Pääasiallinen lähteeni kalustolle ja tarvikkeille oli Berezin Stereo Photography Californiasta. Tilasin sieltä muun muassa kameroiden synkronisointiin tarkoitettua laitteen sekä kaikki 3d-lasini. Yksi suurimmista haasteista projektissa oli yksinkertaisesti kaluston ostopaikkojen löytäminen. Esimerkiksi hyvälaatuista, puoliläpäisevää peiliä etsin monia kuukausia kunnes löysin sellaisen Englannista.

3 Kolmiulotteisuuden illuusio ja syvyysvihjeet

Kappale perustuu Wikipedian artikkeliin ”Depth Perception”¹, Marko Teittisen artikkeliin ”Depth Cues in the Human Visual System”² sekä ”Vision and Art” sivuston osioon ”Depth Cues”³.

3.1 Ihmisen silmissä ja aivoissa

Ihmisen syvyysnäkö perustuu erilaisiin psykologisiin ja fysiologisiin syvyysvihjeisiin. Psykologisten syvyysvihjeiden perusteella aivot päättävät eri esineiden sijainnin syvyydessä. Fysiologiset syvyysvihjeet perustuvat muun muassa silmän lihasten kireyteen, silmien kääntymiseen sisäänpäin ja binokulaariseen kaksoisnäköön.

3.1.1 Monokulaariset syvyysvihjeet

Monokulaariset syvyysvihjeet eivät vaadi toimiakseen kuin yhden silmän, joten esimerkiksi myös yksisilmäinen merimies hahmottaa syvyyttä näiden syvyysvihjeiden avulla. Useimmat monokulaariset syvyysvihjeet ovat psykologisia, eivätkä yksinään kovin vahvoja. Yhdessä ne muodostavat kuitenkin melko hyvän syvyysnäön.

3.1.1.1 Accommodation

Accommodation tarkoittaa ihmissilmän lihasten muutoksia, samalla muuttaen silmän polttoväliä ja tarkentaen katseen aina kulloiseenkin kohteeseen. Accommodation on melko heikko syvyysvihje ja tehokas vain lyhyillä, alle kahden metrin matkoilla. Fysiologinen syvyysvihje.

3.1.1.2 Pintagradientit

Pintagradienttien eli esineen pintakuvioiden toistumistiheys kertoo esineen etäisyydestä: samassa mittakaavassa olevat gradientit ovat kaukana tiheämmässä, lähempänä harvemmassa. Psykologinen syvyysvihje.

¹ ”Depth Perception” http://en.wikipedia.org/wiki/Depth_perception

² ”Depth Cues in the Human Visual System”
<http://www.hitl.washington.edu/scivw/EVE/III.A.1.c.DepthCues.html>

³ ”Depth Cues” <http://psych.hanover.edu/KRANTZ/art/cues.html>

3.1.1.3 Värin ja valon vaihtelut

Värinäkö ja valon lankeamisesta aiheutuvat väri vaihtelut auttavat esineiden tunnistamisessa ja syvyyden hahmottamisessa. Psykologinen syvyysvihje.

3.1.1.4 Kohteen suhteellinen koko

Lähellä olevat esineet peittävät laajemman alan näkökentästä ja siten näyttävät suuremmilta kuin kauempana olevat kohteet. Psykologinen syvyysvihje.

3.1.1.5 Päällekkäisyydet

Lähempänä oleva kohde peittää kauempana olevia kohteita. Psykologinen syvyysvihje.

3.1.1.6 Lineaarinen perspektiivi

Katsottaessa esimerkiksi suoraa tietä edestäpäin, nähdään linjojen yhdistyvän keskellä horisonttia toisiinsa. Tätä syvyysvihjettä kutsutaan lineaariseksi perspektiiviksi ja sillä on suuri merkitys eri taiteen aloilla, kuten esimerkiksi maalaustaiteessa. Psykologinen syvyysvihje.

3.1.1.7 Atmosfäärinen perspektiivi

Kauempana olevat kohteet sinertävät usein enemmän tai näkyvät haaleampina kuin lähempänä olevat. Kohteet samenevat etäisyydessä ja niiden kontrasti heikentyy. Psykologinen syvyysvihje.

3.1.1.8 Monokulaarinen liikeparallaksi.

Sulkemalla toisen silmän voimme havaita syvyyttä liikuttamalla päätämme. Ihmisäivot osaavat lukea syvyysvihjeitä kahdesta peräkkäisestä samankaltaisesta kuvasta hieman samalla tavalla kuin kahdesta samanaikaisesta vasemman ja oikean silmän kuvasta. Fysiologinen syvyysvihje.

3.1.2 Binokulaariset syvyysvihjeet

Binokulaarisissa syvyysvihjeissä hyödynnetään molempia silmiä esineiden etäisyyden arvioimiseksi. Toisistaan erillään olevat silmät välittävät kumpikin hieman erilaisen

kuvan aivoille. Kuvat yhdistämällä pystytään arvioimaan näkökentän esineiden syvyydellistä sijoittumista

Binokulaariset syvyysvihjeet ovat fyysisiä ja melko vahvoja syvyysvihjeitä itsessään. Näin ollen esimerkiksi yksisilmäisellä ihmisellä syvyysnäkö perustuu vain monokulaarisiin syvyysvihjeisiin ja on huomattavasti normaalin ihmisen syvyysnäköä heikompi.

Binokulaaristen syvyysvihjeiden merkitystä on hyvä testata esimerkiksi katsomalla tuttua maisemaa toinen silmä kiinni, näin meneteltäessä syvyysvaikutelma on suunnilleen samanlainen kuin kaksiulotteisessa kuvassa.

3.1.2.1 Konvergenssi

Katsottaessa lähellä sijaitsevaa kohdetta, silmät kääntyvät hieman sisäänpäin kohti sitä. Konvergenssin suuruutta mitataan silmien välisellä kulmalla. Syvyysvihje toimii kunnolla vain lyhyillä etäisyyksillä, noin alle kymmenen metrin matkoilla. Silmät myös tarkentuvat samaan konvergoituneeseen kohtaan. Fysiologinen syvyysvihje.

3.1.2.2 Binokulaarinen parallaksi

Binokulaarisella parallaksilla tarkoitetaan kohteiden sivuttaissuuntaista eroa silmän kuvien välillä. Nämä kuvat yhdistyvät yhdeksi kuvaksi aivoissa siten, että kohteiden välinen ero silmien välillä määrittää niiden sijainnin syvyydessä. Lähellä olevissa kohteissa parallaksi on pienempi, kuin kaukana olevissa.

Binokulaarinen parallaksi on erittäin vahva fysiologinen syvyysvihje, jonka perusteella voidaan hahmottaa hyvin syvyyttä ilman mitään muita syvyysvihjeitä. Binokulaarinen parallaksi ei kuitenkaan toimi kuin heikosti suurilla etäisyyksillä. Fysiologinen syvyysvihje.

3.2 Syvyysvihjeet perinteisessä kaksiulotteisessa elokuvassa

Perinteisessä kaksiulotteisessa elokuvassa syvyysvaikutelman luomiseksi käytetään monokulaarisia syvyysvihjeitä. Yksi käytetyimmistä keinoista on kameran liikuttaminen, eli monokulaarisen parallaksin käyttäminen. Esimerkiksi kameran liikuttaminen puiden takaa sivuttain luo vahvan vaikutelman syvyydestä. Myös tarkennusta käytetään paljon luomaan illuusio kuvan syvyydestä. Lineaarinen

perspektiivi on myös tärkeä syvyysvihje eri taiteissa, kuten maalaustaiteessa ja elokuvataiteessa. Käytännössä kaksiulotteisessa elokuvassa on käytössä kaikki monokulaariset syvyysvihjeet ihmisen syvyysnäön tavoin, ainoastaan binokulaariset syvyysvihjeet puuttuvat.

3.3 Syvyysvihjeet stereoskooppisessa elokuvassa

Yksinkertaistettuna kolmiulotteinen elokuva tarkoittaa aivojen kahdesta kuvaparista muodostamaa yhtä syvyysvaikutelmaltaan todellisuuden kaltaista kuvaa. Määritelmän mukaan siis käytössä on kaksiulotteisen elokuvan keinojen lisäksi myös kaikki binokulaariset syvyysvihjeet. Näin ollen kolmiulotteinen elokuva onkin melko lähellä ihmisen syvyysnäköä.

Konvergenssia ei kuitenkaan voida käyttää aivan samalla tavalla, kuin se toimii ihmisellä: kolmiulotteisessa kuvassa silmät konvergoituvat ja tarkentuvat lähes aina eri kohtaan, koska kuva fyysisesti sijaitsee valkokankaan tasossa, mutta silmät konvergoituvat syvyydessä kohteen mukaan. Tästä syystä kolmiulotteisen elokuvan katsominen voi aluksi tuntua vaikealta tai omituiselta. Silmät vaativat hieman aikaa tottua konvergoitumaan ja tarkentumaan eri kohtiin syvyydessä.

4 Kolmiulotteisen kuvan tuottaminen

Tällä hetkellä kolmiulotteista kuvaa tuottavia elokuvakameroita ei saa mistään valmiina. Tulevaisuudessa niitä varmasti tulee markkinoille, mutta mikäli nyt haluaa kuvata stereoskooppista elokuvaa, se vaatii kaluston osalta melkoista soveltamista. Tämä ei ollut minulle ongelma, vaan oikeastaan vain lisäsi mielenkiintoani aihetta kohtaan. Olen aina pitänyt kaikenlaisesta rakentamisesta ja soveltamisesta, ja se mielestäni lisää myös kekseliäisyyttä valmista kalustoa käytettäessä sekä parantaa ongelmanratkaisukykyä.

4.1 Eri tapoja tuottaa kolmiulotteista kuvaa

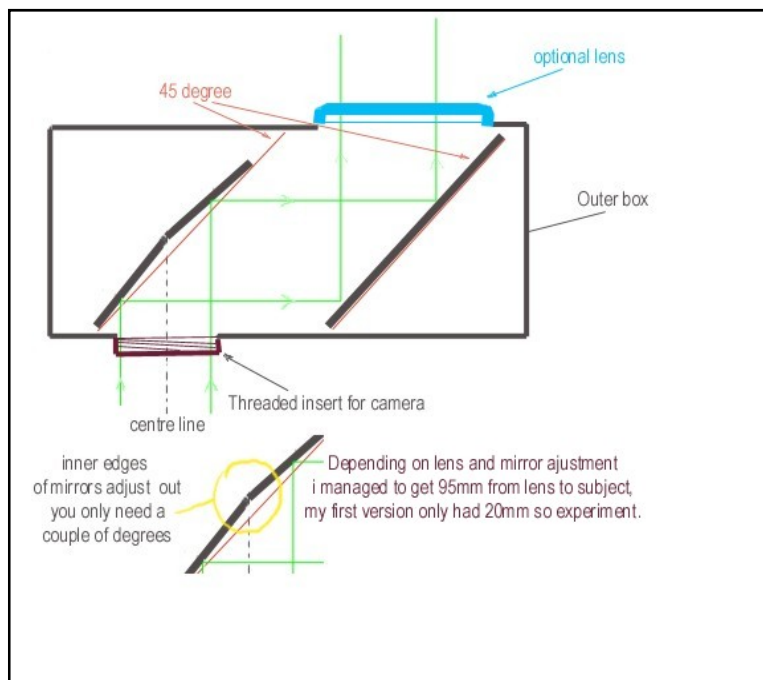
Kolmiulotteisessa kuvassa on yhdentekevää miten kaksi vierekkäistä kuvaa on saatu aikaiseksi, kunhan ne ovat identtiset sivuttaiseroa lukuun ottamatta ajallisesti, geometrisesti ja optisesti. Mikäli käytetään kahta kameraa, niiden tulisikin tuottaa mahdollisimman identtistä kuvaa keskenään. Kameroiden rigaukseen on myös syytä asennoitua tarkkuustyönä, pieniä virheitä voi kyllä korjata jälkeenpäin jälkitöissä, joskin hyvin rajallisesti. Kuvaustapa kannattaa valita kohteen mukaan, esimerkiksi jos kuvataan liikkumatonta rakennusta laajassa kuvassa, kannattaa kuvaparit tuottaa yhdellä kameralla kameraa sivuttain liu'uttamalla. Yksinkertaisuus on myös kolmiulotteisessa kuvauksessa valttia.

4.1.1 Kuvaparien tuottaminen yhdellä kameralla peilien avulla

Kolmiulotteisen kuvan kuvaparit on mahdollista tuottaa yhdellä kameralla erilaisten peilejä käyttävien rigien avulla. Yhden tällaisen rigin periaatteena on, että kameralle tuotetaan kaksi kuvaa vierekkäin kahden hieman eri suuntaan kallistetun peilin kautta. Näin saadaan aikaiseksi kolmiulotteisen kuvan vaatima sivuttaisero kuvapareille. Peilien kallistus määrää kuvaparien välisen sivuttaiseron.

Tällaisen rigin hyvä puoli on se, että voidaan helposti saavuttaa hyvin pieniä kuvaparien välisiä etäisyyksiä, joita tarvitaan lähi- ja makrokuvaukseen, sekä tarvitaan vain yksi kamera. Näin ollen synkronisaatiosta tai värierosta kameroiden välillä ei tarvitse huolehtia. Huono puoli on kuvaparien tallentuminen samalle kennolle, mikä puolittaa yhteen kuvaan käytettävän resoluution määrän. Tällainen tallennustapa voi myös aiheuttaa ongelmia ja ainakin ylimääräisiä työvaiheita leikkauksessa ja jälkitöissä. Myös rigauksen tuottamien virheiden mahdollisuus nousee aina, mitä enemmän osia ja säätöjä siihen tarvitaan. Erilaisia peilejä käyttäviä rigauksia on olemassa monenlaisia, mutta

kaikissa tulisi käyttää pintapeilejä, normaalien peilien optinen laatu ei ole riittävä käyttöön.



Kuva 1: Kolmiulotteisten kuvaparien tuottaminen peilien avulla yhdellä kameralla.⁵

4.1.2 Kuvaparien tuottaminen kameraa siirtämällä kuvien välissä

Kolmiulotteisia kuvia voidaan myös kuvata yhdellä kameralla ilman peilejä tai prismoja. Näin meneteltäessä yksinkertaisesti otetaan yksi kuva, siirretään kameraa halutun interaksiaalisien etäisyyden verran sivuttain ja otetaan toinen kuva. Ilmiselvänä haittapuolena tavassa on ajallinen ero kuvien välillä, tapa soveltuukin lähinnä liikettä sisältämättömien kohteiden kuvaamiseen. Esimerkiksi maisemakuvia kuvataan usein tällä tavalla erittäin isoilla etäisyyksillä.

Mikäli tätä tapaa käytetään, kannattaa käyttää tarkkaa ohjuria, mitä pitkin kameraa liu'uttaa. Mikäli ohjuria ei ole käytössä, jälkitöissä voidaan turvautua panoraamakuvien liittämiseen tarkoitettuihin ohjelmiin, joilla yhtenevät kuvaparit voi yleensä muodostaa hyvinkin erilaisista kuvista. Erittäin suosittu ja hyvä keino ottaa tällaisia kuvia on käyttää kamerajalustan liukuvaa pohjalevyä tarkoitukseen.

⁵ <http://www.stereo3dgallery.net/SplitMirror.shtml>



Kuva 2: Jasper Engineering Stereo 12'' Slide Bar, stereokuvien ottamiseen yhtä kameraa sivuttain liu'uttamalla kuvien välissä.⁶

4.1.3 Kolmiulotteisen kuvan tuottaminen kahdella kameralla

Kolmiulotteisten kuvaparien tuottaminen kahdella kameralla on yksinkertaista, tarvitaan vain kaksi samanlaista kameraa ja ne asetetaan kuvaamaan rinnakkain. Mitään peilejä tai prismoja ei tarvita. Kamerat voidaan myös suunnata hieman sisäänpäin, toisiinsa nähden yhtä suuressa kulmassa. Kahta kameraa käytettäessä haasteeksi syntyy kameroiden synkronisaatio sekä kuvien geometrinen, ja optinen identtisyys. Myös riittävän pienen välin saavuttaminen kameroiden välille voi olla haastavaa.

Kahta kameraa käytettäessä voidaan hyödyntää puoliläpäisevää peiliä kameroiden välin pienentämiseksi, toinen kamera suunnataan suoraan peilin läpi ja toinen suunnataan peiliin siten, että se on kameraan nähden 45 asteen suunnassa. Näin meneteltäessä saadaan kamerat kuvaamaan jopa samalta optiselta akselilta. Itse päädyin tähän ratkaisuun kokeiltuani kameroita rinnakkain eri tilanteissa ja todettuani tarpeen päästä pienempiin interaksiaalsiin etäisyyksiin.

⁶ <http://www.stereoscopy.com/jasper/slide-bars.html>

5 Kolmiulotteinen kuvauskalusto

Suurin osa ajastani opinnäytetyössäni meni kaluston miettimiseen, suunnitteluun, rakentamiseen ja testaamiseen, joten omistan sille myös oman kappaleensa. Valmista kolmiulotteista kuvauskalustoa ei oikeastaan saa mistään tällä hetkellä, joten kolmiulotteinen kuvaaminen johtaa aina kaluston kehittelyyn. Tällä hetkellä on saatavilla yksi kaupallinen puolipeilirigi, mutta sen myyntihinta on noin 18 000 euroa, joten se ei ollut minulle vaihtoehto.

5.1 Oma elokuvauskalustoni

Aloitin kaluston tutkimisen tutustumalla muiden harrastajien ratkaisuihin. Ratkaisuita löytyi melko monia, mutta kaikille yhteistä oli pyrkimys ihmisen silmien etäisyyden kokoiseen väliin vasemman ja oikean kuvan välillä. Valtaosassa ratkaisuissa myös kameroiden välinen etäisyys oli säädettävissä. Kaksi periaatetta ohjasi kamerakiinnityksieni suunnittelua, mahdollisimman pieni minimietäisyys sekä suuri säädettävyyden. Minulle oli myös tärkeää, että kamerarigauksiini sopisi suoraan myös normaalit digitaalikamerat, joilla voisin ottaa kolmiulotteisia valokuvia. Lopuksi kuitenkin havaitsin, että useampi erilainen rigaus toimii käytännössä paremmin. Eri kamerat tulee aina säätää jokaisen rigauksen kanssa uudestaan. Näin ollen minulla onkin useita erilaisia rigausratkaisuita eri käyttötarkoituksiin.

Heti alkuun päätin kuvaavani kahdella kameralla, koska yhden kamerasäätöön olisi puolittanut kuvan resoluution. Sellaiseen kompromissiin en ollut valmis. Pääajatuksenani muutenkin kalustoa valitessani oli kompromissien karsiminen, mutta kuitenkin jonkinlaisen järjen säilyttäminen touhussa.

5.1.1 Kameroiden synkronisointi

Yksi suurimmissa haasteista kolmiulotteisessa kuvaamisessa on molempien kuvien samanlaisuus. Pelkkä geometrinen yhtenäisyys ei riitä, vaan molempien kameroiden kuvien tulee olla ajallisesti synkronisaatiossa keskenään. Esimerkiksi moottoripyörää kuvattaessa pienikin synkronisaatiovirhe kameroiden välillä tuhoaisi kolmiulotteisen vaikutelman ja aiheuttaisi tarpeetonta silmien rasitusta. Kamerat pitää saada käyntiin samaan aikaan, mutta niiden tulee myös käydä melko tarkasti samalla tahdistuksella.

Tämä olisi ollut helppoa saavuttaa mikäli valitsemisani kameroissa olisi ollut mahdollisuus genlock-lukitukseen, tai olisin käyttänyt tietokoneohjattuja kameroita.

Näin ei kuitenkaan ollut ja aloin tutkimaan eri mahdollisuuksia kameroiden synkronisointiin. Parhaaksi vaihtoehdoksi nousi valmiin synkronisointilaitteen, LANC Shepherdin ostaminen. Laitteen huono puoli on sen toimivuus vain LANC-liittimen omaavissa kameroissa, mutta tämä rajoitus oli kaikissa vastaavissa laitteissa. Laitteen huonona puolena voidaan pitää myös sen korkeaa, noin 250 euron hankintahintaa.

Yksikään LANC-synkronisaatiolaitte ei varsinaisesti synkronisoi kameroita, ainoastaan näyttää niiden välisen synkronisaatioeron. Laite synkronisoi molempien kameroiden polttovälit, käynnistää ne yhtä aikaa ja aloittaa nauhoituksen samalla hetkellä. Laitteella on kuitenkin mahdollista saavuttaa riittävän tarkka synkronisaatio käynnistämällä kamerat useasti, kunnes niiden välinen synkronisaatioero on hyvin pieni. Käytännössä synkronisoinnin asteeksi riittää käytetyn suljinnopeuden kymmenesosa. Tietenkin synkronisaation tarkkuuden tarve riippuu kuvauskohteesta, formuloita kuvattaessa synkronisaation tulee olla huippuluokkaa, kun taas tiilimuuria kuvattaessa sillä ei ole käytännön merkitystä.



Kuva 3: Kahden kameran välisten synkronisaatioerojen tarkasteluun tarkoitettu LANC-Shepherd. ⁷

5.1.2 Kameroiden valinta

Tarve synkronisoida kamerat ulkoisella boksilla rajasi vaihtoehdoni LANC-liittimen omaaviin kameramalleihin. Muitakin tapoja synkronisoida kamerat varmasti olisi ollut, mutta ne olivat tietotaitojeni rajojen ulkopuolella. Alun perin päädyin kahteen Sonyn HC-1000 dv-kameraan. Niissä on tarvittavat LANC-liittimet, ne ovat melko pienikokoisia ja ne tekevät myös siedettävää kuvaa kolmikenoisina. Päätin pitää nämä

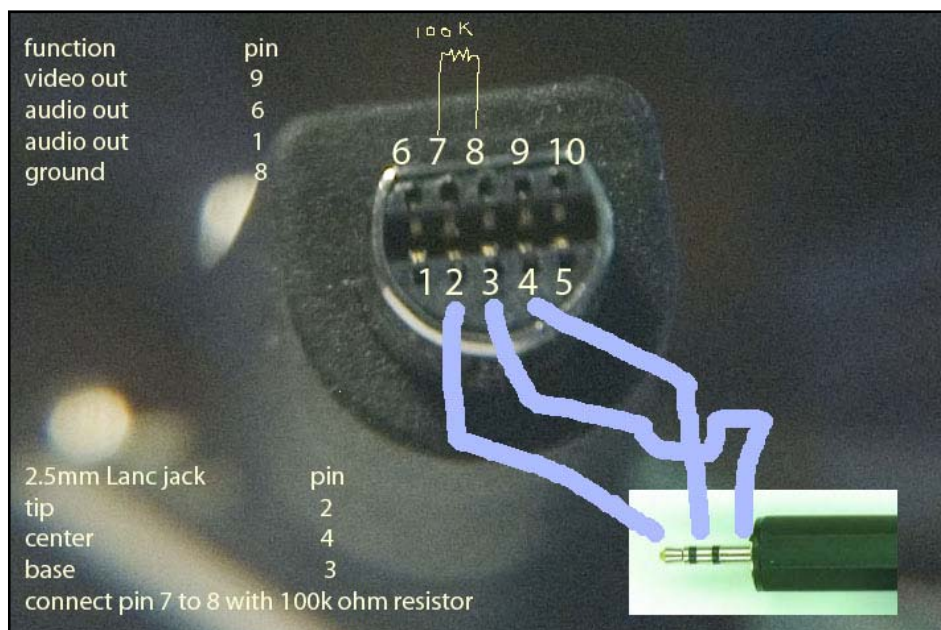
⁷ <http://www.ledamatrix.com/lancshep/index.html>

kamerat varmana vaihtoehtona, mikäli en saisi mitään muita kameroita toimimaan synkronisointilaitteeni kanssa.

Huomasin kuitenkin koulun ostaneen Sonyn uusia AVCHD-muodossa muistikortille kuvaavia kameroita viisi kappaletta. Olin lähes ekstaasissa, koska kyseiset kamerat ovat todella pieniä ja näin ollen soveltuvat hyvin stereoskooppiseen kuvaamiseen. Kameroiden huono puoli kuitenkin selvisi minulle hyvin pian, Sonyn uusissa kameroissa ei ole nimittäin LANC-liittimiä ollenkaan.

Sain kuitenkin vihiä ulkomaalaiselta keskustelupalstalta, että myös Sonyn uusissa kameroissa on LANC-protokollan toiminnot, mutta itse liitäntä löytyy 10-nastaisen AV-liittimen kautta. Muutaman kuukauden päästä tiedon leviämisestä myös samaiselle keskustelupalstalle ilmestyi kytkentäkaavio adapterista, joten tilasin kaksi 10-nastaista Sonyn AV-kaapelia Hong Kongista ja valmistin niistä adapterikaapelit LANC-liitäntää käyttämälläni synkkaboksille. Kyseisiä sovitekaapeleita saa nykyään myös valmiina, mutta ne maksavat noin 150 euroa parilta⁸.

Adapterin valmistaminen ei ole helppoa, 10-nastaisia Sonyn liittimiä ei saa mistään sellaisenaan, joten ensin sellainen tarvitsee purkaa valmiista kaapelista kuumaliiman alta. Omissa adaptereissani ei ole videoulostuloa, vaikka ne siihen kannattaisikin tehdä monitorointia varten.



Kuva 4: LANC-liitäntä Sonyn uusiin kameroihin.⁹

⁸ http://www.digi-dat.de/produkte/index_eng.html#AVR_LANC

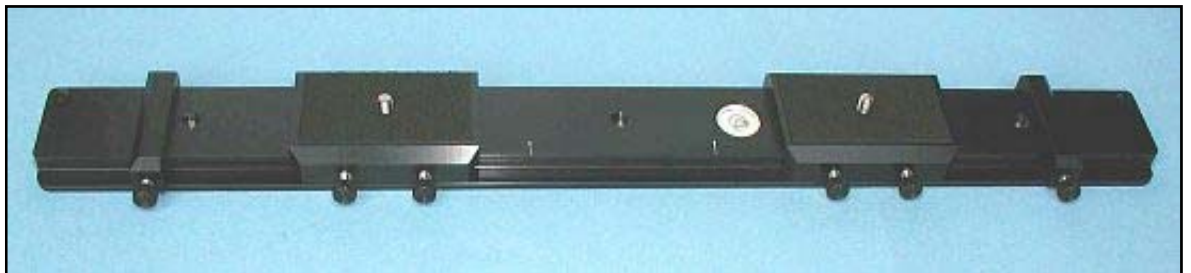
⁹ <http://www.dvinfo.net/conf/hdv2-sony-hvr-a1-hdr-hc-series/120395-hdr-hc9-v-remote-terminal-lanc-2.html>

5.1.2.1 Sony HDR-CX 11

Lopulta päädyin Sonyn HDR-CX 11 kameroihin. Kameran kuvaavat AVCHD-muotoon 1920x1080 resoluutiossa MS Pro Duo – muistikortille. Kameroiden kuvanlaatu ei ole mielestäni erityisen hyvä, mutta koin kyseiset kamerat parhaaksi kompromissiksi laadun ja soveltuvuuden kolmiulotteiseen kuvaamiseen välillä. Kameroissa on myös todella huonot manuaalisäädöt, mikä hankaloitti entisestään identtisten kuvien tuottamista molemmilla kameroilla.

5.1.3 Kameroiden rigaus vierekkäin

Halusin mahdollisimman monipuolisen kamerarigauksen, jossa kameroiden etäisyys olisi helposti säädettävissä. Päädyin alla olevan tapaiseen malliin, jossa kamerat kiinnitetään vierekkäin sivuttain vapaasti liukuviin levyihin. Etuna tällaisella rigauksella yksinkertaiseen ruuvikiinnikkeillä varustettuun rigiin on kameroiden pysyminen valitussa linjassa niiden etäisyyttä vaihdettaessa. Puolipeilirigini valmistuttua en ole käyttänyt tätä rigausta kuin verratessani puolipeilirigin kuvanlaatua tällaisella rigillä kuvattuun materiaaliin sekä satunnaisesti hyperstereota kuvatessani.



Kuva 5: Jasper Heavy Duty Twin Slide bar, kahden kameran vierekkäin rigaamiseen.¹⁰

5.1.4 Puolipeilirigini

5.1.4.1 Toimintaperiaate

Koska halusin kuvauskalustoni soveltuvan mahdollisimman monipuoliseen kuvaamiseen, päätin tehdä erikseen rigin makro- ja lähikuvaukseen. Tällaisen kuvaamisen vaatimat hyvin pienet kameroiden väliset etäisyydet eivät ole fyysisesti mahdollisia, joten pitää turvautua pintapeilien tai puoliläpäisevän peilin apuun.

Puolipeilirigin toimintaperiaate on yksinkertainen, käytetään puoliläpäisevää peiliä, joka läpäisee puolet valosta suoraan, ja heijastaa puolet valosta 45 asteen kulmassa ylöspäin.

¹⁰<http://www.stereoscopy.com/jasper/heavyduty-bar.html>

Toinen kamera kuvaa suoraan peilin läpi ja toinen kamera kuvaa 90 asteen kulmasta ylhäältä kohti peiliä heijastuksen.

Tällaisella rigillä päästään niin pieniin interokulaarisiin etäisyyksiin kuin halutaan. Rigin huono puoli on se, että valoa menetetään noin yhden aukon verran, sekä itse rigauksen valmistaminen tarkasti on todella vaikeata kotioloissa.

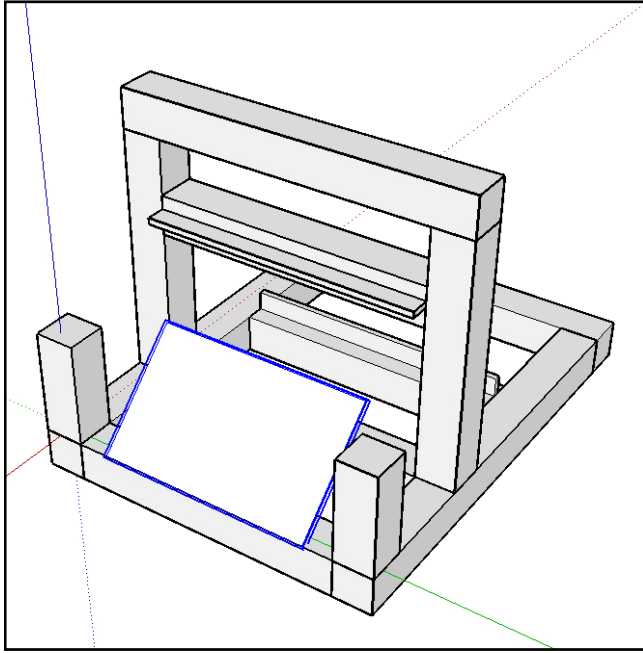
5.1.4.2 Kokoonpano, testaus ja evoluutio

Päätin käyttää yhtä puoliläpäisevää peiliä kahden pintapeilin sijaan. Kameroiden välinen etäisyysäättö toimii siten, että toista kameraa liikutetaan sivuttain puoliläpäisevään peiliin nähden ja toinen pysyy paikallaan. Puoliläpäisevän peilin tilasin Yhdysvalloista Telepromptermirrors.com -osoitteesta. Tilasin aluksi lasisen peilin, joka heijastaa valoa 40 % ja päästää läpi 60 %. Peili toimii muuten hyvin, mutta se aiheuttaa melko vahvan värivärityksen toiseen kuvaan, joten päätin tilata vielä akryylisen 50/50 puolipeilin samasta yrityksestä. Nykyään heiltä saa myös lasista 50/50 peiliä, mikä onkin tarkoitukseen ehdottomasti paras vaihtoehto.

Puolipeilirigini on jatkuvan kehitystyön alla, joten sitä ei oikeastaan voi koskaan sanoa valmiiksi. Käytössäni on tällä hetkellä toinen versio, joka ei vielääkään toimi kuten tahtoisin. Tarpeeksi hyvää tarkkuutta peilin asentamiseen 45 asteen kulmaan on lähes mahdotonta saavuttaa kotioloissa. Myös kameroiden kiinnitys täydellisen suoraan on lähes mahdotonta ilman erityisiä mittausapuja.

Koska en ole tyytyväinen puolipeilirigini toimintaan, olen tilannut jo osat sen tuotantoversioon. Tuotantoversion rakennan t-kanavaisesta alumiiniprofiilista, mikä on kevyttä, vahvaa ja sen liittäminen tarkasti on helppoa ilman koneistusta.

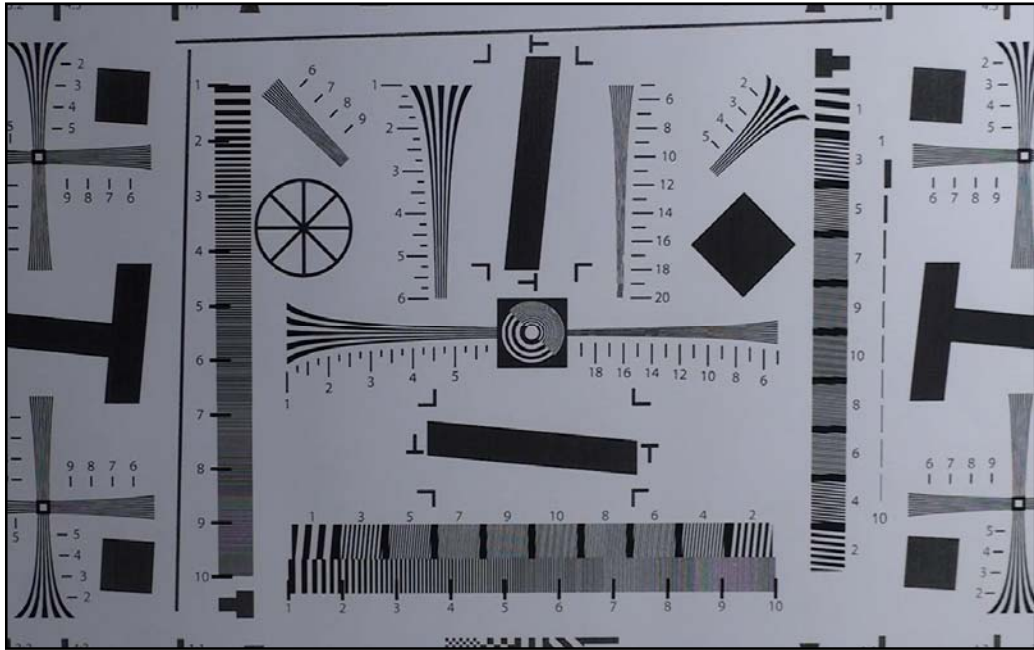
Tuotantoversiossa kaikki on täysin säädettävissä, joten siihen sopii teoriassa mitkä kamerat tahansa. Tuotantoversioon tulee myös kameroiden varustekenziin kiinnitettävät suuntauslaserit, jotka heijastavat seinälle ristin muotoiset Kuvat. Kameroiden korkeussäätö tulee todennäköisesti olemaan mikrometreillä ohjattu, todennäköisesti myös interaksiaalisen etäisyyden säätö.



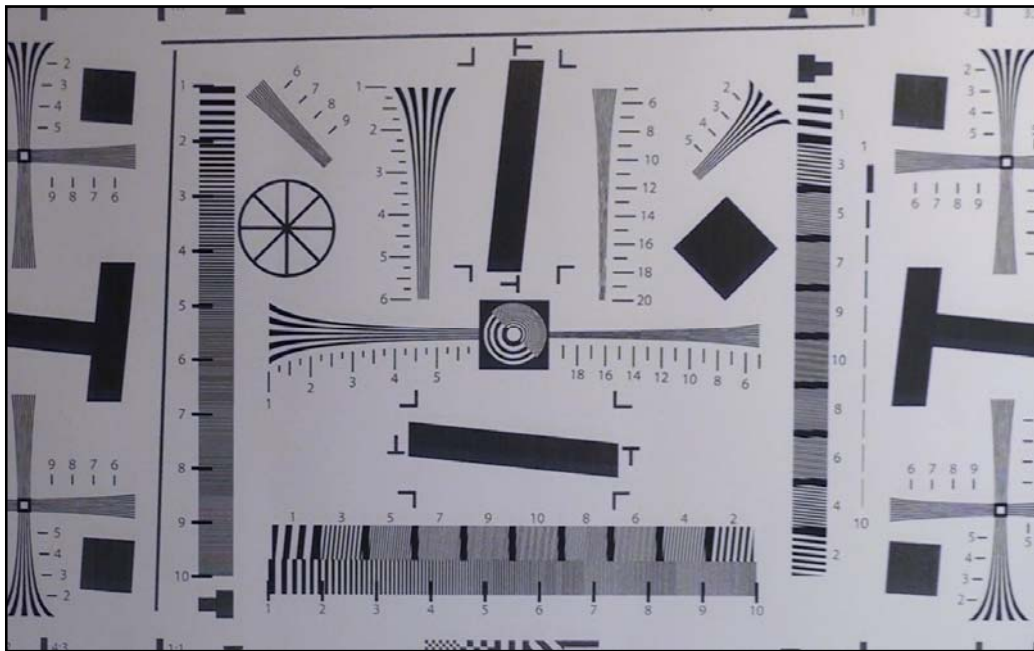
Kuva 6: Google Sketchupin keskeneräinen malli peilirigini tuotantoversiosta (Kuva: Riku Naskali)

5.1.4.3 Puolipeilien vaikutus optiseen laatuun

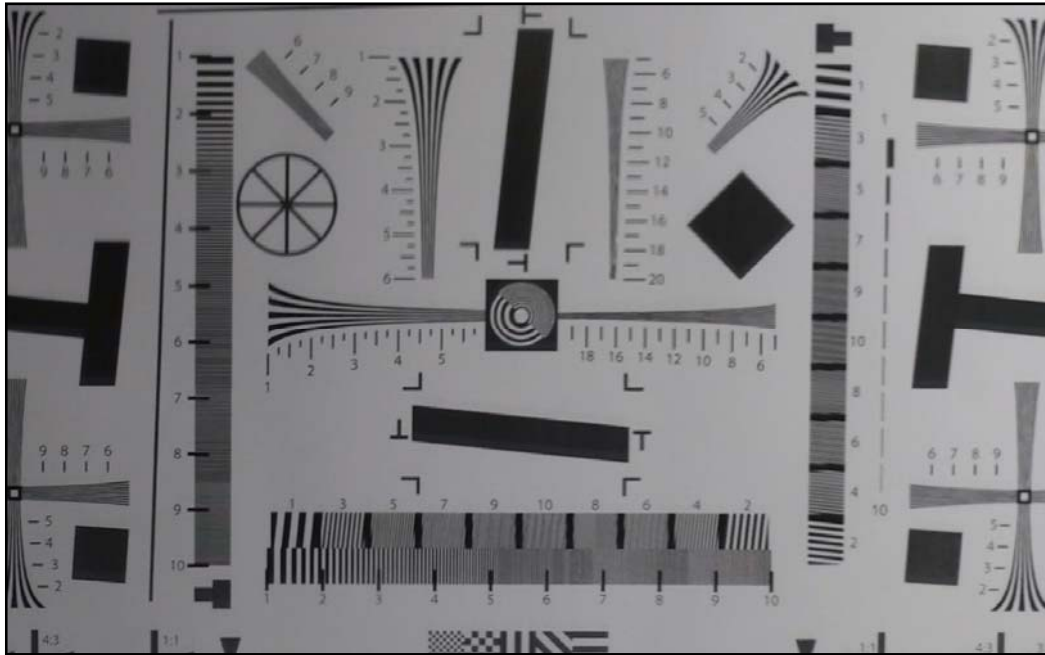
Tutkin puolipeilien vaikutusta kuvan laatuun kuvaamalla ISO-12233 testitaulun ilman puolipeiliä, akryylisen 50/50 puolipeilin kanssa, sekä lasisen 60/40 puolipeilin kanssa. Jätin kamerat automaattiselle valotukselle, koska puolipeilit heijastivat valoa eri määrän. Valotusautomaatiikka kompensoi valohäviöt melko tasan eri vaihtoehtojen välillä. Valkotasapainotin kamerat aina erikseen, koska lasinen puolipeili toi kuvaan melko voimakkaan lämpimän sävyn, mikä johtui peilin pinnoitteesta.



Kuva 7: Pelkän kameran resoluutio (Kuva: Riku Naskali)



Kuva 8: Lasisen 60/40 puolipeilin vaikutus kameran resoluutioon (Kuva: Riku Naskali)



Kuva 9: Akryylisen 50/50 puolipeilin vaikutus resoluutioon (Kuva: Riku Naskali)

Testitulokset ovat hyvin selviä, lasinen puolipeili heikentää kuvan tarkkuutta vain vähän, mutta akryylinen puolipeili heikentää sitä jo melko tuntuvasti. En kuvannut testitauluja aivan niin kuin ne pitäisi kuvata, mikäli haetaan absoluuttisen oikeita tuloksia, joten nämä tulokset ovat vain vertailukelpoisia keskenään. Vaikka akryylinen puolipeili tiputtikin kuvan tarkkuutta melkoisesti, eroa tuskin huomaisi oikeassa kuvaustilanteessa.

Silmämääräisesti tarkasteltuna testin tulokset olivat seuraavat:

Kameran vaakaresoluutio 680 viivaa, pystyresoluutio 620 viivaa

Kameran ja lasisen puolipeilin vaakaresoluutio 600 viivaa, pystyresoluutio 530 viivaa

Kameran ja akryylisen puolipeilin vaakaresoluutio 500 viivaa, pystyresoluutio 500 viivaa

5.1.5 Monitorointi

Aluksi ajattelin monitoroivani kuvaa siten, että vedän molempien kameroiden kuvat videomikserin läpi ja efektoin kuvat punaviherlaseille tarkoitettuun muotoon. Näin olisin pystynyt päättelemään syvyysvaikutelman melko tarkasti ja erottamaan nollatason paikan päällekkäisistä kuvista.

Törmäsin kuitenkin kolmiulotteiseen esitystekniikkaan nimeltään Planar kolmiulotteista pelaamista käsittelevällä keskustelupalstalla. Siellä oli myös ohjeet yksinkertaisen

planar-näytön rakentamiseen. Planar-näytön periaate on yksinkertainen, käytetään kahta lcd-monitoria 90 asteen kulmassa ja toisen monitorin kuva heijastetaan puoliläpäisevän peilin heijastavan puolen kautta toisen monitorin kuvan päälle. Tällaisella menettelyllä on myös se etu, että toisen näytön polarisaatio kääntyy 90 astetta peilin kautta kuvaa katsottaessa, joten erillistä polarisointia näytöille ei tarvita. Suurin osa lcd-näytöistä on polarisoitu 45 asteen kulmassa, joten normaalit 135/45 asteen polarisoivat lasit toimivat tällaisen järjestelmän kanssa ilman muutoksia. Rakensin itselleni tällaisen planar-näytön kotikäyttöön, jota minun oli myös tarkoitus käyttää monitoroinnissa.¹¹

Monitorointi jäi loppujen lopuksi pois sen hankaluuden vuoksi, sillä kolmiulotteisen kuvan asettamat rajoitukset huomaa kyllä ilman monitorointiakin sitä vähän kuvanneena. Myöskään nollatasoon sijainnista minun ei tarvinnut kauheasti välittää kuvaustilanteessa, koska pääasiassa asetin sen paikalleen vasta jälkitöissä. Oikeastaan ainoa päätös kuvaustilanteessa oli interaksiaalisen etäisyyden asettaminen, mikä onnistuu kyllä hyvin ilman monitorointiakin. Yksinkertaisen ja kätevän kenttämonitorin voi rakentaa Planarin toimintaperiaatteen mukaan pienistä autokäyttöön tarkoitetuista lcd-näytöistä, mikäli niiden polarisaatio on tekniikalle sopiva.

5.2 Oma stillkuvauskalustoni

Päätin myös liittää lopputyöhöni stillkuvia, koska ne mielestäni havainnollistavat kolmiulotteisuuden konseptia lähes liikkuvaa kuvaa paremmin. Ne myös sopivat paremmin rauhallisille kuvauskohteille, joissa on vain vähän liikettä. Stillkuvia katsoja voi tutkia niin kauan kuin haluaa, joten kolmiulotteisuus ei kärsi esimerkiksi liian nopeasta leikkausrytmistä. Liitin myös lopputyöhöni stillkameroilla toteutettua timelapse – videokuva.

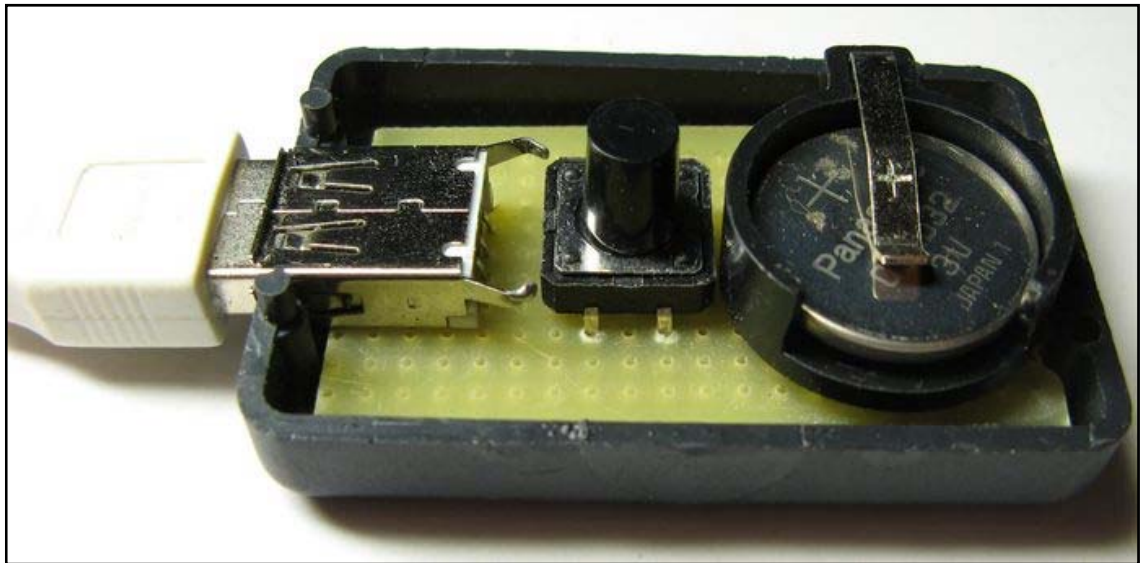
5.2.1 Stereodatamaker ja USB-laukaisin

Stereodatamaker¹² on ilmainen ohjelma Canonin digipokkareille, joka mahdollistaa kahden kameran synkronisoinnin helposti ja lähes ilmaiseksi. Ohjelma ladataan kameroiden muistikorteille ja laukaisu tapahtuu tarkoitukseen rakennetulla usb-laukaisimella. USB-laukaisin koostuu vain normaalista painonapista, paristosta ja kahdesta usb-johdosta. Stereodatamaker haastelee jatkuvasti kameroihin tulevaa jännitettä ja laukaisee molemmat kamerat heti kun havaitsee usb-laukaisimen

¹¹ <http://forums.nvidia.com/index.php?showtopic=32547>

¹² <http://stereo.jp.org/eng/sdm/index.htm>

lähettämän jännitteen kameroiden liittimissä. Ohjelmassa on myös paljon muita hyödyllisiä toimintoja muun muassa hdr-kuvaamiseen.



Kuva 10: Stereodatamakerin laukaisimen yksinkertainen rakenne ¹³

5.2.2 Canon A710iS

Valitsin stillkuvauskalustoni kameroiksi Canonin A710 IS – kamerat lähinnä niiden kuvanvakaimen ansiosta. Käytännössä Stereodatamakerin kanssa toimivat lähes kaikki Canonin digipokkarit, mutta yhteensopivuus kannattaa tarkistaa ohjelman kotisivuilta ennen päätösten tekemistä.

5.2.3 Z-bar kameroille

Valitettavasti Canonin A-sarjan kamerat ovat niin isoja, että niiden rigaaminen rinnakkain tuottaa melko isoja interaksiaalisia etäisyyksiä. Jotta päästäisiin pienempiin etäisyyksiin, toinen kameroista tulee kiinnittää ylösalaisin. Koska Canonin A-sarjan kameroiden objektiivit eivät ole keskellä kameraa, tarvitsee ylösalaisin olevaa kameraa laskea alemmaksi, jotta objektiivien keskipisteet saataisiin samalle tasolle.

Tarkoitukseen valmistettuja Z-bareja löytyy myös kaupallisena, mutta sellainen maksaa noin sata euroa. En ollut valmis maksamaan pienestä alumiinin palasta sataa euroa, joten tein sellaisen itse alumiinisesta kulmaprofiilista.

¹³ <http://ewavr.nm.ru/chdk/remote.htm>



Kuva 11: Kaksi Canonin Powershot A720IS kameraa Z-barilla vierekkäin ¹⁴

5.3 Esimerkkejä kaupallisista ratkaisuista kolmiulotteiseen kuvaamiseen

Kolmiulotteiseen kuvaukseen ei ole valmiita sarjatuotannossa olevia ratkaisuita lukuun ottamatta P&S Technicin peilirigiä, vaan kaikki saatavilla olevat järjestelmät ovat enemmän tai vähemmän itse rakennettuja. Näistä ehkä tunnetuin järjestelmä on James Cameronin käyttämä, Vincent Pacen rakentama Cameron-Pace Fusion 3D Rig. Vincent Pacella on erilaisia rigejä kymmeniä ja niillä on muun muassa kuvattu U-2:n kolmiulotteinen konserttitaltiointi. Yksityiskohtia eri rigeistä ei juuri löydy mistään, joten tämän kappaleen tietoihin ei kannata luottaa kuin raamattuun. Varmaa tietoa yhdenkään rigin rakenteesta ja toiminnasta ei saa kuin menemällä itse tutustumaan niihin.

5.3.1 Cameron-Pace Fusion 3D Rig

Vincent Pacen ja James Cameronin kehittämä 3D-rigi, joka käyttää kahta modifioitua Sony'n Cinealta F950 kameraa Kameroiden prismablokit ja optiikka sijaitsevat vierekkäin ja kameroiden loput osat sijaitsevat kauempana, näin ollen päästään riittävän pieneen interokulaariseen etäisyyteen. Järjestelmän erikoisuus on sen tarkennussäädön ja konvergenssisäädön linkitys yhteen. Rigi tavallaan siis jäljittelee ihmisenäköä, konvergenssi ja tarkennus ovat siis aina samassa pisteessä, sekä nollataso on aina kuvassa tapahtuvan toiminnan kohdalla. ¹⁵

¹⁴ Bloos, Werner. http://www.digi-dat.de/produkte/index_eng.html#zbarcanon

¹⁵ <http://www.cinematography.net/edited-pages/Cameron3DRig.htm>

5.3.2 Paradise FX 3D Rig

Paradise FX tarjoaa monenlaisia kamerajärjestelmiä eri tarkoituksiin, yhteistä heidän rigilleen on mahdollisuus säätää eri asetuksia lennosta kuvan aikana. Heiltä löytyy rigi lähes mille kameralla tahansa 65 millisistä filmikameroista aina pieniin teräväpiirtokameroihin asti.¹⁶

5.3.3 P&S Technic 3D Rig

P&S Technicin 3D rig on maailman ensimmäinen sarjatuotannossa oleva puolipeilirigi. Rigin voi myös ostaa itselleen vaatimattomaan 18 500 euron lähtöhintaan. Rigissä kaikki säädöt on toteutettu mikrometreillä, joten ne ovat erittäin tarkat, mutta niitä ei voi muuttaa kesken kuvan. Rigistä on myös tulossa motorisoitu versio. Rigistä on myös olemassa eri versioita erikokoisille kameroille ja se on modulaarinen rakenteeltaan.¹⁷

5.3.4 21st Century 3DVX

21St Centuryn 3DVX on rakennettu kahdesta Panasonicin DVX-100A kamerasta. Niille on tehty paljon modifikaatioita jotta ne on saatu tarpeeksi lähelle toisiaan. Tallennusmedia ei käytetä nauhaa, vaan signaali menee suoraan kiintolevyille 4:4:4 näytteenottotaajuudella RAW-formaatissa. Kameroiden rakenteellisia ratkaisuita on myös muutettu paljon, järjestelmä näyttääkin enemmän yhdeltä stereokameralta kuin kahdelta erilliseltä kameralta. Synkronisaatio on toteutettu valmistajan mukaan genlockilla.¹⁸

¹⁶ <http://www.paradisefx.com/pages/services/production.html>

¹⁷ <http://www.pstechnik.de/en/3d-rig.php>

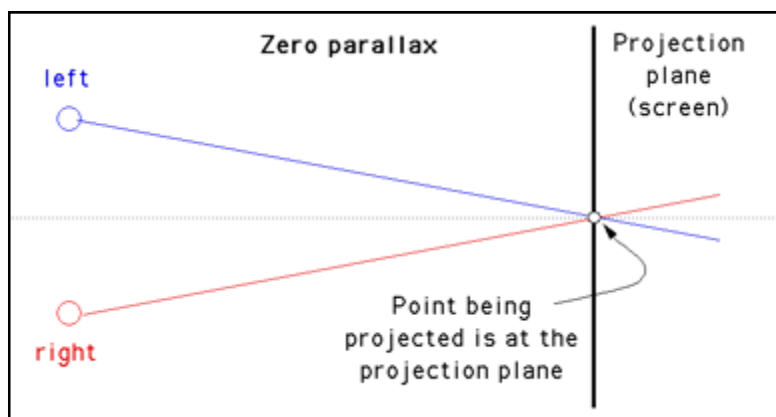
¹⁸ <http://www.21stcentury3d.com/technology.html>

6 Stereoskooppisen elokuvauksen perusasiat ja – käsitteet

6.1 Parallaksi ja stereoikkuna

Parallaksilla kolmiulotteisessa elokuvaamisessa tarkoitetaan vasemman ja oikean silmän näkemien kohteiden eroa sivuttaissuunnassa. Mikäli kohteet ovat täysin päällekkäin molemmissa kuvissa, ei niissä ole parallaksia ollenkaan, ja koemme niiden sijaitsevan näyttölaitteen tai valkokankaan kanssa samalla syvyystasolla. Tällaista kuviteltua syvyyden tasoa kuvassa kutsutaan nollatasoksi ja sen parallaksi on myös nolla. Tässä tasossa sijaitsevat kohteet eivät näytä työntyvän ulos valkokankaasta, eivätkä painuvan sen sisään. Nollatason voi myös hahmottaa siten että kuvittelee kameroiden linseistä lähtevän täysin suorat valonsäteet, joiden risteämispisteessä parallaksi on nolla. Näin ollen kahdella kameralla täysin suoraan kuvattaessa nollatasoa ei kuvassa ole missään, vaan se asetetaan jälkitöissä.

Parallaksi on siis kaiken perusta syvyyden hahmottamisessa. Helpoimmin parallaksin hahmottaa käytännössä katsomalla vaikkapa lyijykynää vuorotellen silmät kiinni ja siirtelemällä sitä syvyydessä. Kun se on lähempänä, parallaksi on melko suuri. Kun taas se on kaukana, parallaksi on lähes olematon.

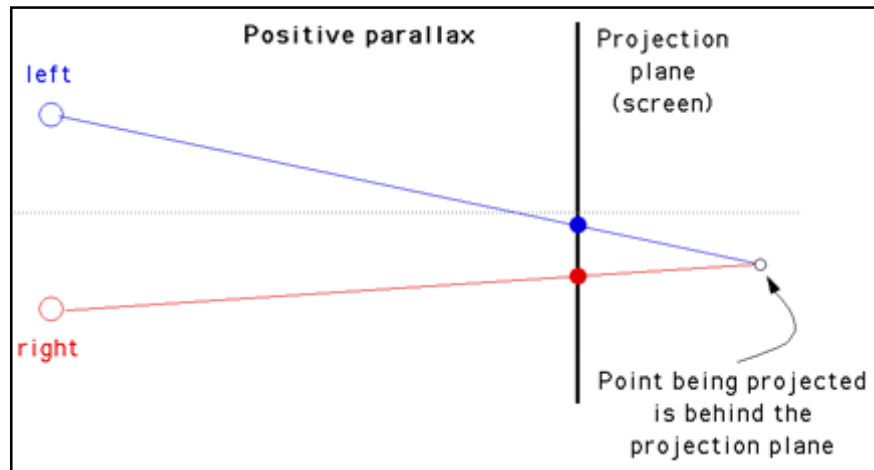


Kuva 12: Nollatasolla sijaitsevat kohteet eivät työnnöy ulos valkokankaasta, eivätkä myöskään painu sen sisään¹⁹

¹⁹ <http://ozviz.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/exhibition/vpac/theory.html>

6.1.1 Positiivinen parallaksi

Positiivista parallaksia käytetään nimityksenä kun oikeanpuoleinen kuva on vasemmanpuoleisen kuvan oikealla puolella. Siispä katsottaessa positiivisen parallaksin omaavaa kohdetta, oikea silmä näkee kohteen oikealla puolella ja vasen silmä näkee kohteen vasemmalla puolella. Kaikki positiivisen parallaksin omaavat kohteet kuvassa nähdään sijaitsevan stereoikkunan takana, eli valkokankaan sisällä syvyydessä.

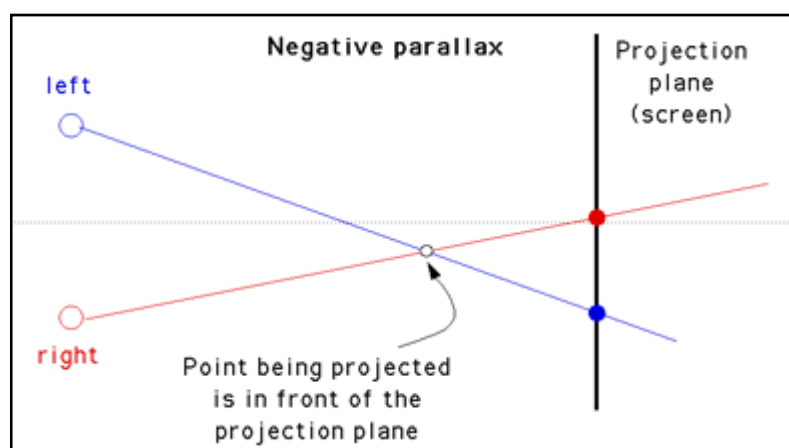


Kuva 13: Positiivisen parallaksin omaavat kohteet näyttävät sijaitsevan kankaan sisällä syvyydessä²⁰

6.1.2 Negatiivinen parallaksi

Negatiivinen parallaksi tarkoittaa kohteita, joiden oikeanpuoleinen kuva on vasemmanpuoleisen kuvan vasemmalla puolella. Siispä katsottaessa negatiivisen parallaksin omaavaa kohdetta, vasen silmä näkee oikeanpuoleisen kuvan ja oikea silmä näkee vasemmanpuoleisen kuvan. Kaikki negatiivisen parallaksin omaavat kohteet kuvassa koetaan tulevan ulos näyttölaitteen pinnasta, eli nollatasosta, kohti katsojaa. Negatiivinen parallaksi onkin yksi kolmiulotteisen elokuvan hienoimmista ominaisuuksista, esimerkiksi miekan työntäminen ulos valkokankaasta näyttää todella hurjalta. Negatiivisen parallaksin käyttöön liittyy kuitenkin muutamia sääntöjä, jotta se toimisi toivotulla tavalla. Ihmissilmä sietää liiallista negatiivista parallaksia paremmin kuin liiallista positiivista parallaksia.

²⁰ <http://ozviz.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/exhibition/vpac/theory.html>



Kuva 14: Negatiivisen parallaksin omaavat kohteet työntyvät ulos kankaasta kohti yleisöä²¹

6.1.3 Parallaksin käyttäminen

Vaikka parallaksi on käsitteenä hyvin yksinkertainen, on sen käytössä huomioitava muutamia katsojien kokemukseen vaikuttavia seikkoja. Positiivista parallaksia ei saa olla liikaa, tai katsojien silmät pakottuvat kääntymään ulospäin, mikä aiheuttaa silmien rasitusta ja katsojakokemus kärsii huomattavasti. Yleisesti ottaen positiivista parallaksia ei tulisi olla yli 2 – 3 prosenttia esitettävän kuvan leveydestä. Pääsääntö stereoskoopissa kuvaamisessa on parallaksin maksimointi, mutta silti sen pitäminen katsojille mukavissa rajoissa. Vaikka ihmissilmä sietääkin negatiivista parallaksia huomattavasti enemmän kuin positiivista, ei sen kanssa silti kannata innostua turhaan.

6.1.4 Pinnaus ja sen käytännön seuraukset

Pinnaukseksi kutsutaan sitä, kun kuvan reunat rajaavat negatiivisen parallaksin omaavaa kohdetta. Tällöin kolmiulotteinen vaikutelma heikkenee, koska miellämme valkokankaan tai näytön reunat nollassoksi ja niiden tulisi tässä tapauksessa olla negatiivisen parallaksin omaavan kohteen takana, eikä edessä. Kuvan reunat ovat kuitenkin aina sen päällä, joten tällainen tapaus olisi mahdottomuus oikeassa maailmassa. Pinnaus on oikeastaan erityistapaus window violationista, jossa kyse on negatiivisen parallaksin omaavasta kohteesta.

²¹ <http://ozviz.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/exhibition/vpac/theory.html>

Pinnauksen välttämiseksi tavaraa ei kannata tunkea huvikseen ulos ruudusta, vaan harkitusti ja silloinkaan ulos tunkeutuvan kohteen ei tulisi koskettaa ruudun reunoja. Pahimmalta pinnaus näyttää mikäli kohde osuu sivuihin, ala- ja yläreunassa se ei näytä niin pahalta. Myöskään liikkuvat kohteet eivät pinnaa pahasti, eivätkä etenkin kohteet jotka liikkuvat kohti katsojaa. Mikäli kuva on niin iso, tai sitä katsotaan niin läheltä, ettei reunoja nähdä, voidaan tavaraa tunkea huoletta ulos ruudusta.²² IMAX käyttää hyväkseen juuri tätä periaatetta. Muita formaatteja silmällä pitäen kuitenkin, mikäli tavoitteena on saada kohde mahdollisimman lähelle katsojaa, fysiikan lait määräävät että kohteen tulee olla hyvin pieni kuten esimerkiksi miekan kärki, lepakko tai pienoismalli. Pinnausta voidaan myös välttää tehokkaasti kelluvalla ikkunalla.

6.1.5 Window violation ja retinal rivalry

Window violation tarkoittaa tilannetta, jossa vasemmassa tai oikeassa kuvassa on kohteita, joita toisessa kuvassa ei ole, tai ne ovat hieman eri paikassa. Tällainen window violation aiheuttaa retinal rivalrya, eli tavallaan silmät tappelevat toisiaan vastaan, koska toinen silmä näkee hieman erilaisen kuvan kuin toinen. Tämä taas heikentää kolmiulotteisuuden vaikutelmaa ja voi aiheuttaa erilaisia huntuja ja muita asiaan kuulumattomia näköhavaintoja. Useimmiten window violationia esiintyy kuvien reunoilla, jotka ovat aina erilaiset, koska kuvat on otettu hieman eri paikasta sivuttaissuunnassa.

Käytännössä kolmiulotteisessa kuvassa on aina jonkin verran retinal rivalrya aiheuttavaa rajautumista eri paikoista, mutta pääasia on että varsinaiset kuvauskohteet eivät rajaudu eri kohdista eri kuvissa. Taustalla olevat kohteet voivat useimmiten rajautua eri kohdista aiheuttamatta suurta vahinkoa, koska katsoja keskittyy itse kuvauskohteeseen. Tällaista retinal rivalrya aiheuttavaa rajautumista voidaan korjata lisäämällä kuvaan sumea ja pehmeä reunus. Tietenkin paras keino välttää window violationia on katsoa mahdollisimman tarkasti kuvaustilanteessa, ettei toisen kameran kuvassa ole reunoilla mitään, mitä ei myöskään toisen kameran kuvassa ole. On myös olemassa toinen hyvä keino välttää retinal rivalrya, kelluva ikkuna. Myös window violationia aiheuttavien kohteiden leikkaaminen pois kuvista jälkitöissä on hyvä ratkaisu.

²² http://community.reald.com/blogs/real_d_blog/archive/2008/02/15/547.aspx

6.1.6 Kelluva ikkuna, floating window

Kelluva ikkuna on ovela keksintö, joka auttaa kontrolloimaan syvyyttä kuvassa, sekä vähentää retinal rivalrya. Kelluvan ikkunan idea on tehdä ikään kuin toinen rajaus kuvan sisään, joka voidaan sijoittaa syvyydessä haluttuun tasoon. Näin meneteltäessä

kelluva ikkuna voidaan tuoda ulos nollatasosta, jolloin syvyyttä saadaan lisää valkokankaan sisään kuvitellun tilan suuntaan. Koska ihmissilmä sietää paremmin suurta negatiivista parallaksia, kelluvan ikkunan tuominen kohti katsojia nollatasosta on suosittua ja kokonaisuudessaan suurempi syvyys saadaan hyötykäyttöön.

Käytännössä kelluva ikkuna luodaan tekemällä vasempaan kuvaan osittain läpinäkyvä musta reuna vasempaan reunaan ja puolestaan oikeaan kuvaan oikeaan reunaan. Mustien reunojen leveys määrää kelluvan ikkunan sijainnin syvyydessä ja reunoja voi myös animoida. Animointi mahdollistaa itse kelluvan ikkunan liikuttamisen kuvan aikana, mikä taas luo uusia mahdollisuuksia syvyyden kontrolloimiseen. Keinoa voidaan käyttää esimerkiksi kuvassa, jossa mies kävelee kohti katsojia siirtämällä kelluvaa ikkunaa taaksepäin, jolloin mies tulee enemmän ulos nollatasosta kuin staattisella kelluvalla ikkunalla, tai ilman kelluvaa ikkunaa. Mustia reunoja ei kolmiulotteisena näe ollenkaan, ne näkyvät ainoastaan katsoessa kuvaa kaksiulotteisena ilman laseja.²³

6.2 Interaktiivinen etäisyys

Interaktiiviseksi, tai interokulaariseksi etäisyydeksi kutsutaan vasemman- ja oikeanpuoleisten kameroiden linssien keskipisteiden välistä etäisyyttä. Interaktiivinen etäisyys vaikuttaa kuvan syvyyteen, realistisuuteen, kohteiden kokoon sekä silmien rasituksen määrään katsottaessa kuvaa.

Ihmisen silmien väli on noin 65mm, joten usein tätä väliä pidetäänkin hyvänä peruslähtökohtana asetettaessa interaktiivista etäisyyttä. Itse pidän hieman pienemmällä etäisyyksillä kuvatusta materiaalista, sillä silloin voin ottaa rajaukseen mukaan myös lähellä sijaitsevia kohteita, mikä taas puolestaan lisää syvyysvaikutelmaa. Käytännössä olen havainnut kolmen sentin olevan yleispätevä etäisyys kameroiden välillä ja tällaisella etäisyydellä ei tarvitse aina miettiä kuinka lähellä puun oksat sijaitsevat kameroita.

²³ http://www.reald-corporate.com/_resources/vertical.pdf

Etäisyyden laskemiseen on myös olemassa monia kaavoja, joista itse käytän useimmiten yksinkertaisinta nyrkkisääntönä kuvaustilanteessa. Englantilainen kolmiulotteisen videon tuotantoon erikoistunut yritys Inition on myös julkaissut ohjelman muun muassa interaksiaalisten etäisyyksien laskentaan, Inition Stereobrainin. Siitä on saatavilla ilmainen kokeiluversio heidän nettisivuiltaan. Ohjelma vaikuttaa ensimmäisten testieni perusteella varsin hyvältä. Kaavat ovat melko monimutkaisia ja itse en oikeastaan niitä käytäkään. Lasken muutamia etäisyyksiä kaavoilla, painan ne mieleeni ja arvioin niiden väliin jäävät interaksiaaliset etäisyydet. Ideana kaikissa kaavoissa on kuitenkin syvyyden maksimointi, ilman että katsojien silmät joutuisivat divergoitumaan kuvan kauimmaisista kohteista katsottaessa. Yleensä on siis turvallisinta mieluummin aliarvioida, kuin yliarvioida interaksiaalisia etäisyyksiä. Myös 1/30 sääntö antaa useimmiten riittävän tarkkoja arvoja, ellei käytetä telelinssejä.

6.2.1 Kohteiden suhteellinen koko

Stereoskooppisessa elokuvassa kohteiden suhteellisen koon määrää vain interaksiaalinen etäisyys, kohteet näyttävät luonnollisen kokoisilta 65 millimetrin interaksiaalisella etäisyydellä olettaen että esitysolosuhteet vastaavat kuvausolosuhteita optisesti. Mikäli käytetään sitä suurempaa etäisyyttä, kohteet näyttävät pienemmiltä, kun taas puolestaan pienemmällä etäisyyksillä kohteet näyttävät luonnollista kokoaan suuremmilta. En käsittele orthostereota, eli pyrkimystä aina luonnollisen kokoisiin kohteisiin sen enempää, koska mielestäni sellaiseen on turha pyrkiä. Suhteiden kokoon vaikuttaa kuitenkin hyvin monet muuttujat, muun muassa itse esitystilanteessa projektorien linssien polttoväli ja katsojan istumapaikan sijainti suhteessa kankaaseen.

6.2.2 Polttovälin vaikutus interokulaariseen etäisyyteen

Valittu polttoväli vaikuttaa myös interokulaarisen etäisyyden asettamiseen, karkeasti ottaen polttovälin tuplaaminen vaatii interokulaarisen etäisyyden puolittamisen mikäli maksimaalinen positiivinen parallaksi halutaan pitää kuvassa samana. Toisaalta taas polttovälin lisääminen latistaa kuvaa, joten kuvan syvyysvaikutelman säilyttäminen vaatisi isompaa interaksiaalista etäisyyttä. Useimmiten näin voi toimia, mikäli kuvassa ei ole ääretöntä. Itse olen vähentänyt etäisyyttä käyttäessäni isompia polttovälejä, koska minulle maksimaalista syvyyttä tärkeämpää on positiivisen parallaksin määrän pitäminen aisoissa.

6.2.3 1/30 sääntö

Ehkä käytetyin ja mainituin sääntö interaksiaalisen etäisyyden asettamiseen on 1/30 sääntö. Kaikessa yksinkertaisuudessaan säännön mukaan kameroiden etäisyydeksi asetetaan yksi kolmaskymmenesosa kuvan lähimpään kohteeseen olevasta etäisyydestä. Sääntö on hyvä muistaa ja siitä on hyvä lähteä liikkeellä testattaessa eri interaksiaalisten etäisyyksien vaikutusta syvyyteen, mutta yleispäteväksi kaavaksi siitä ei ole.

6.2.4 Berkovitzin täydellinen kaava

Berkovitzin täydellistä kaavaa interaksiaalisen etäisyyden laskemiseksi käytetään kun kauimmainen kohde ei ole äärettömässä. Kaava on kaikista kaavoista yleispätevin interaksiaalisen etäisyyden laskemiseksi tällä hetkellä. ²⁴

$$B = P(LN - L \cdot N) (1/F - (L + N)/2LN)$$

B = Interaksiaalinen etäisyys

P = Tavoiteltu isoin parallaksi millimetreissä 35mm filmiruudulla. Hyvänä lähtökohtana voidaan pitää yhtä kolmaskymmenesosaa formaatin leveydestä, eli 35mm filmin tapauksessa noin 1.2 millimetriä.

L = Etäisyys kaukaisimpaan kohteeseen linssistä

N = Etäisyys lähimpään kohteeseen linssistä

F = Linssin polttoväli 35mm kinofilmivastaavuudessa

6.2.4.1 Yksinkertaistettu Berkovitzin kaava

Yksinkertaistettua Berkovitzin kaavaa voidaan käyttää, kun kuvassa kauimmainen kohde on optisessa äärettömässä. Käytännössä siis aina kun esimerkiksi horisontti on kuvassa. ²⁵

$$B = P (N/F - 1/2)$$

6.2.4.2 Davisin muutos Berkovitzin kaavaan

Berkovitzin kaavaa noudattaen kuvattaessa todella latteita kohteita lähikuvissa ne voivat vääristyä ja syvyytsvaikutelma voi tuntua häiritsevältä. Kaava siis antaa liian isoja interaksiaalisia etäisyyksiä syvyydeltään todella latteille kuvauskohteille. Davisin muutos korjaa tämän virheen, kun etäisyys kauimmaiseen kohteeseen on vähemmän kuin kaksi kertaa etäisyys lähimpään kohteeseen. ²⁶

²⁴ <http://nzphoto.tripod.com/stereo/3dtake/fbercowitz.htm#bercovitz>

²⁵ <http://nzphoto.tripod.com/stereo/3dtake/fbercowitz.htm#infinity%20formula>

Kun L on vähemmän kuin $2N$, Berkovitzin kaavaa muutetaan seuraavasti:

$$L = 2N$$

6.2.5 Frank Di Marzion yleiskaava

Di Marzion kaava on todella yksinkertainen ja helppo muistaa kenttäkäytössä. Kaava perustuu hyperfokaaliseen etäisyyteen, johon tarkentaessa sekä lähin että kaukaisin kohde ovat tarkkoja.²⁷

$$B = H/60$$

B = Interaksiaalinen etäisyys

H = Hyperfokaalinen etäisyys

6.2.6 Di Marzion kaava makrokuvia varten

Kun etäisyys kuvan kauimpaan kohteeseen on vähemmän kuin kaksi kertaa etäisyys kuvan lähimpään kohteeseen:²⁸

$$B = N/15$$

B = Interaksiaalinen etäisyys

N = Etäisyys lähimpään kohteeseen

6.2.6.1.1 Hyperstereo

Hyperstereolla tarkoitetaan kuvia, jotka on otettu suuremmalla interaksiaalisella etäisyydellä kuin ihmissilmät sijaitsevat toisistaan. Se on käyttökelpoinen keino esimerkiksi kaukaisia vuoria kuvattaessa, jolloin normaalilla interaksiaalisella

etäisyydellä otetussa kuvassa ei olisi käytännössä yhtään syvyyttä. Hyperstereolla otetuissa kuvissa kohteet näyttävät pienemmiltä kuin oikeasti. Hyperstereo – menetelmä

voi myös aiheuttaa tietynlaista leikkelemäisyyttä kuviin, aivan kuin yksittäisillä kohteilla ei olisi ollenkaan syvyyttä, vaan ne olisi leikattu pahvista ja laitettu toistensa päälle. Tällaisesta ilmiöstä käytetään nimitystä cardboarding.

6.3 Konvergenssi ja divergenssi

Konvergenssi tarkoittaa kameroiden, tai silmien, kääntämistä sisäänpäin kuvattavaan, tai katsottavaan kohteeseen, divergenssi puolestaan tarkoittaa ulospäin kääntämistä.

²⁶ <http://nzphoto.tripod.com/stereo/3dtake/fbercowitz.htm#davis>

²⁷ <http://nzphoto.tripod.com/stereo/3dtake/fbmarzio.htm#marzio>

²⁸ <http://nzphoto.tripod.com/stereo/3dtake/fbmarzio.htm#marziomacro>

Käytännössä ihmissilmä sietää jonkin verran konvergenssia, mutta hyvin vähän divergenssiä. Tämän takia kolmiulotteista kuvaa kuvattaessa on pidettävä huoli, ettei katsojien silmien tarvitse kääntyä ulospäin juuri yhtään. Käytännössä tästä pidetään huoli käyttämällä syvyyttä hieman varoen, on aina parempi jos sitä on liian vähän kuin liikaa.

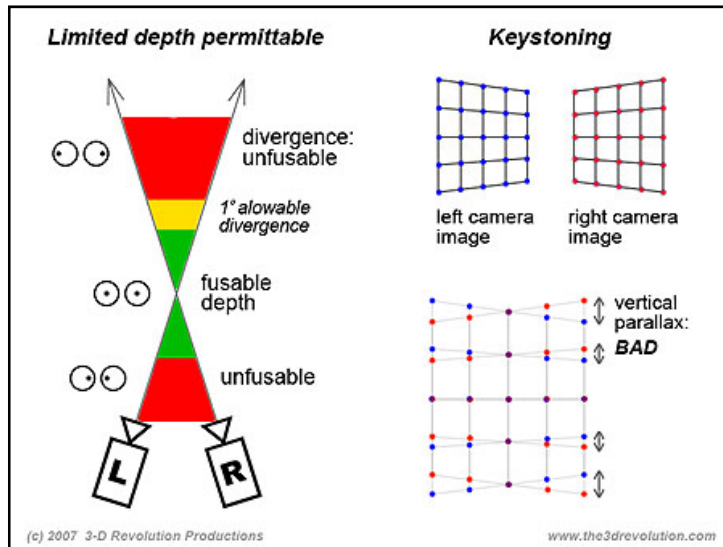
6.3.1 Kameroiden suuntaaminen suoraan eteenpäin

Kameroiden suuntaaminen suoraan eteenpäin on yksinkertaisin, ja varsin hyvä tapa kuvata kolmiulotteista kuvaa. Käytännössä ainoa haittapuoli tavassa on se, että stereoikkuna tarvitsee asettaa aina jälkitöissä ja kuvaa joudutaan rajaamaan pois sen asettamiseksi oikealle paikalleen. Toinen haitta on monitoroinnin hankaluus koska nollataso asetetaan vasta jälkitöissä. Yksi ratkaisu olisi vetää molempien kameroiden kuvat videomikserin läpi ja siirtää nollataso kohdalleen mikseristä ennen monitorointia liikuttamalla molempia kuvia sivuttain.

6.3.2 Kameroiden kääntäminen sisäänpäin

Kameroita voidaan myös konvergoida, eli kääntää hieman sisäänpäin siten että molempien kameroiden optiset keskipisteet osoittavat samaan kohteeseen. Toisin sanoen siis molempien kameroiden kulman tulee olla yhtä suuri. Tällaisella menetelmällä saavutetaan se etu, että stereoikkuna sijoittuu valmiiksi pisteeseen johon kamerat on konvergoitu. Stereoikkunaa ei tarvitse säätää jälkitöissä, joten kuvainformaatiota jää enemmän jäljelle. Kameroiden sisäänpäin kääntäminen aiheuttaa kuitenkin muita ongelmia, näistä ehkä suurimpana keystoneing-vääristymää kuviin, joka puolestaan aiheuttaa vertikaalista parallaksia. Sen korjaus on melko vaikeaa jälkikäteen, joskin mahdollista.

Ihmissilmän toiminta aiheuttaa myös omat rajoituksensa konvergenssin käyttämiselle, mikäli kamerat konvergoidaan lähelle ja kuvassa on paljon syvyyttä, tulee ongelmia. Ihmissilmä sietää divergenssiä ehkä noin asteen verran, joten kameroiden konvergoiminen ei sovellu syvyydeltään syvien kuvien kuvaamiseen. Sitä vastoin esimerkiksi makrokuvissa konvergenssi on erinomainen keino, ilman kameroiden sisäänpäin kääntämistä todella lähellä olevaa kohdetta on lähes mahdotonta saada mahtumaan molempiin kuviin. Alla oleva kuva selittää havainnollisesti konvergenssin vaikutukset.



Kuva 15: Kameroiden konvergoinnissa huomioon otettavia asioita.²⁹

²⁹ <http://the3drevolution.com/3dscreen.html>

7 Stereoskooppisen elokuvauksen taiteelliset ja draamalliset erityispiirteet

Stereoskooppisessa elokuvauksessa pätee lähes kaikki perinteisen elokuvan lainalaisuudet, mutta tiettyjä erityispiirteitäkin sillä on kuvaajan näkökulmasta.

7.1 Kuvausformaatin valinta

Kolmiulotteisessa elokuvaamisessa korostuu entisestään erittäin pätevä sääntö kuvausformaatin valintaan: valitse aina paras mahdollinen kuvausformaatti. Monet kuvaajat ovat subjektiivisesti arvioineet kolmiulotteisen kuvan kärsivän enemmän huonosta kuvanlaadusta kuin perinteisen kaksiulotteisen kuvan. Henkilökohtaisesti olen sitä mieltä, että stereoskooppiseen kuvaamiseen tarvitaan vähintään 1920x1080 resoluution teräväpiirtokameraa. Kannattaa myös valita kamera, joka tallentaa progressiivista kuvaa, sillä lomitukset saattaa heikentää synkronisaation astetta kuvaparien välillä. Lomituksen poisto jälkitöissä myös vähentää kuvan tarkkuutta, sekä lisää liike-epäterävyyden määrää.

7.2 Kameran liikuttaminen

Kamera-ajot tuovat lisää syvyyttä myös kolmiulotteiseen elokuvaan, mutta todella nopeita kameran liikkeitä tulisi kolmiulotteisessa elokuvauksessa välttää. Aivot vaativat aikaa kolmiulotteisen kuvan muodostamiseen kahdesta kuvaparista, joten esimerkiksi todella heiluva kameratyö ei sovellu juurikaan kolmiulotteiseen elokuvaan.

7.3 Syvyysterävyys

Stereoskooppisessa elokuvassa syvyysterävyyden kontrollointia ei kannata harrastaa samalla tavalla kuin perinteisessä kaksiulotteisessa elokuvassa. Usein perinteisessä kaksiulotteisessa elokuvassa pyritään hyvin pieniin syvyysterävyksiin, jonka avulla katsojan huomiota ohjataan haluttuun kohtaan. Stereoskooppisessa elokuvassa kuitenkin syvyysterävyys kannattaa lähes aina maksimoida, koska ihmissilmä näkee oikeastikin aina katsottavan kohteen tarkasti, ja stereoskooppista elokuvaa katsottaessa katsojan silmät vaeltavat enemmän ja hitaammin kuvan eri alueilla. Tarkennusta voi silti käyttää luovasti, mutta isoja epätarkkoja alueita kuvassa kannattaa välttää.

7.4 Valaisu

Kolmiulotteisuus ei periaatteessa vaadi valaisulta mitään erikoista kaksiulotteiseen elokuvaan nähden, mutta useimmiten epätäydelliset esitystekniikat pakottavat välttämään kovia kontrasteja. Kovat kontrastit, sekä täydellisen valkoiset ja mustat pinnat aiheuttavat helposti haamukuvia esitystilanteessa, joten niitä tulisi välttää. Kolmiulotteinen elokuva toimii parhaiten hyvin valaistulla kuvalla, jossa ei ole syviä mustia tai valkoisia pintoja.

7.5 Syvyyden kontrollointi

Eräs tärkeimmistä asioista kolmiulotteisessa elokuvauksessa on syvyysorientoitunut ajattelu. Syvyys joko korostuu, tai latistuu, riippuen kuvauskohteiden taustoista. Usein myös käytössä on rajoittunutta kuvauskalustoa, jolloin liiallista syvyyttä tulee välttää. Itse olen huomannut ajattelevani nykyään paljon enemmän syvyyttä kuvatessani perinteistä kuvaa kolmiulotteista materiaalia kuvanneena. Syvyyden kontrollointi on ehkä enemmän esituotannollinen prosessi, lokaatiot ja lavasteet tulee suunnitella ja valita huolella. Syvyyden kontrollointiin liittyy myös stereoikkunan asettaminen ja päätökset, siitä mitkä kohteet työntyvät ulos ruudusta ja mitkä painuvat syvyyteen. Joskus voi olla draamallisesti oikeutettua olla hieman lähempänä tapahtumia, kun taas joskus on hyvä olla hieman kauempana.

7.6 Polttovälien käyttö

Polttovälien vaikutus kuvan syvyyteen on samanlainen kuin perinteisessä elokuvauksessa, laajakulma korostaa syvyyttä kun taas tele latistaa kuvaa. Tämän takia kolmiulotteisessa elokuvauksessa laajakulmaisten objektiivien käyttö on suositeltavaa, mikäli tavoitellaan maksimaalista syvyysvaikutelmaa. Polttovälit vaikuttavat myös interaktiivisen etäisyyden valintaan, hyvänä nyrkkisääntönä voidaan pitää interaktiivisen etäisyyden puolittamista aina polttovälin tuplaantuessa.

8 Stereoskooppisen elokuvan jälkityöt

Stereoskooppisen elokuvan jälkitöihin on olemassa monia eri vaihtoehtoja. Formaatile löytyy tuki muun muassa Quantelin Pablo – työasemista³⁰, Assimilate Scratch – järjestelmistä³¹ sekä käyttämästäni ilmaisesta StereoMovie Maker³² –ohjelmasta. Keskityn kyseiseen ohjelmaan, koska se on tullut minulle tutuksi ja sen voi kuka tahansa ladata Internetistä ilmaiseksi. En myöskään ole päässyt missään kokeilemaan Quantelin Pabloa tai Assimilaten Scratchia, ne kun ovat lähinnä isojen efektitalojen järjestelmiä niin ominaisuuksiltaan kuin hinnoiltaan. Helsinkiläisessä Generator Postissa on Quantelin iQ2K Di –järjestelmä, joka sisältää työkalut stereoskooppisen elokuvan jälkitöihin.³³

8.1 Oma workflowni

Oma workflowni, eli työjärjestykseni oli melkoisen hankala johtuen monista tietokoneohjelmien ja koodekkien puutteista. Esimerkiksi alussa käyttämäni Cineform HD-koodekin 15 päivän ilmainen käyttöaika umpeutui kesken projektin, joten jouduin muuntamaan kaikki tiedostot uudelleen eri koodekkia käyttäen voidakseni jatkaa työtäni. Joka tapauksessa ilmaista kokonaisvaltaista stereoskooppisen elokuvan jälkityöstöohjelmaa ei ole kotikäyttöön olemassa, minkä sain karvaasta havaita useiden typerien työvaiheiden lisääntyessä ohjelmien rajoitusten takia. Premierellä automaattinen geometriavirheiden korjaus ei onnistu läheskään yhtä hyvin kuin SIFT-algoritmiä käyttävällä Autopanolla. Mikäli Autopanosta olisi ollut plug-in Premierelle, en olisi tarvinnut StereoMovie Makeria juuri mihinkään. Kahden kameran kuvat myös tarkoittavat käytännössä työmäärän tuplaantumista postissa, koska Premieressä ei ole virallista tukea stereoskooppiselle videolle.

8.1.1 Videoiden transkoodaaminen leikattavaan muotoon

Koska AVCHD-formaattia käyttävän kameran tiedostoja ei voi suoraan leikata tai käsitellä juuri millään, muunsin ne Cineform HDlink –ohjelmalla ohjelmien ymmärtämään muotoon. Käytin asetuksia high, tai film scan hieman riippuen materiaalista, sekä poistin lomituksen tässä vaiheessa.

³⁰ <http://quantel.cn/site/en.nsf/HTML/LSOV-79JFH4?OpenDocument>

³¹ <http://www.assimilateinc.com/steroscopic.html>

³² <http://stereo.jp/eng/stvmkr/>

³³ <http://www.stereoscopy.com/news/index.html>

8.1.2 Videoiden leikkaaminen Adobe Premiere Pro:ssa

Seuraavaksi raakaleikkasin videot Premierellä siten, että otin ohjelmaan sisään vain vasemman kameran kuvan ja leikkasin videot sen perusteella. Tämä siksi, että en tekisi turhaa työtä Stereo Movie Makerissa asemoimalla ottoja, joita en edes tulisi käyttämään lopullisessa työssäni.

8.1.3 Videoiden asemointi StereoMovie Makerissa

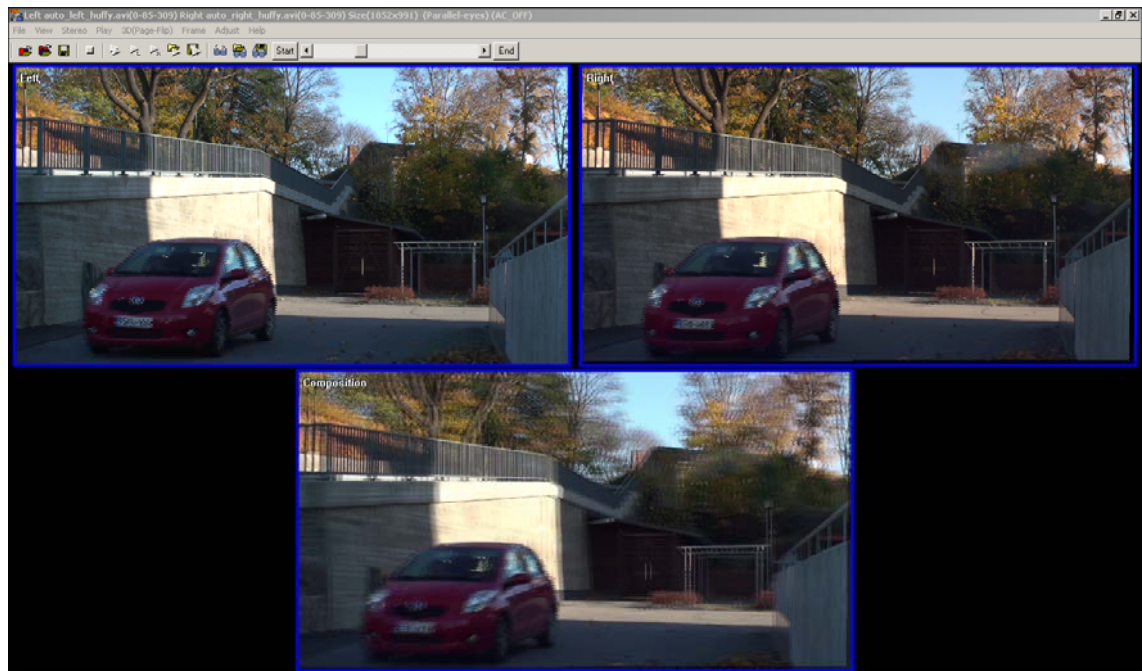
Seuraavaksi asemoin vasemman- ja oikeanpuoleisen kuvan kohdalleen Stereo Movie Makerissa, sekä korjasin mahdolliset geometriavirheet. Rajasin myös videot tässä vaiheessa lopulliseen levitysmuotoonsa, 720p –formaattiin. Pakkasin asemoidut tiedostot jälleen häviöttömällä Lagarith-koodekillä RGB-muodossa. En käyttänyt YUV2 –muotoa, koska Premiere kuitenkin olisi muuntanut videot takaisin RGB –väriavaruuteen. Lisää videoiden asemoinnista seuraavassa kappaleessa.

8.1.4 Videoiden lopullinen leikkaus

Tässä vaiheessa kaikki ongelmat vasemman- ja oikeanpuoleisen kuvan välillä oli jo selvillä, joten leikkasin videot lopulliseen muotoonsa Premieressä. Esimerkiksi ensimmäisen raakaleikkauksen jälkeen havaitsin joitakin korjaamattomia ongelmia joissakin oikean kameran kuvissa, joten en voinut käyttää kuvia ollenkaan lopullisessa versiossa. Kun olin leikannut kuvat lopulliseen versioonsa, tallensin vasemman kameran aikajanan omaksi tiedostokseen, korvasin kaikki aikajanan tiedostot oikean kameran tiedostoilla ja tallensin aikajanan uudestaan oikeanpuoleiseksi tiedostoksi.

8.2 Johdatus StereoMovie Makeriin

StereoMovie Maker on Masuji Sutton luoma erinomainen ohjelma stereoskooppisten videoiden jälkityöstöön. Periaatteessa stereoskooppinen elokuva ei vaadi jälkitöissä erityisiä työkaluja, mutta käytännössä ohjelmalla on helpompi esimerkiksi asettaa stereoikkuna kohdalleen kuin perinteisellä leikkausohjelmalla.



Kuva 16: Stereo Movie Makerin adjustment –view tila (Kuva: Riku Naskali)

Stereo Movie Makeriin saa sisään monenlaisia eri videomuotoja, valitettavasti AVCHD-kameralla kuvatut tiedostot eivät kuulu niihin videomuotoihin. Itse muunnin kamerasta lataamani tiedostot ensin avi-muotoon Cineformin HD-koodekkia käyttäen.

Koodekki on erittäin nopea ja hyvälaatuinen. Muita käyttökelpoisia koodekkeja käyttöön ovat muun muassa ilmaiset Huffuyv³⁴ ja Lagarith³⁵ –koodekit.

8.2.1 Stereoikkunan asettaminen

Koska stereoikkunan asettaminen on yksi tärkeimmistä taidoista kolmiulotteisessa kuvaamisessa, omistan sille kokonaan oman kappaleen. Stereoikkunan asettaminen liittyy ainoastaan parallaksiin, mutta siihen liittyy muutamia erityisiä haasteita. Jo aiemmin mainitsin, että kameroiden ollessa suorassa linjassa toisiinsa nähden,

³⁴ <http://neuron2.net/www.math.berkeley.edu/benrg/huffyuv.html>

³⁵ <http://lags.leetcode.net/codec.html>

stereoikkuna sijaitsee aina äärettömässä. Mainitsin myös että kameroita sisäänpäin kääntämällä voidaan tarkasti määrittää stereoikkunan sijainti, mutta tällainen menettely aiheuttaa paljon ongelmia ja se ei sovellu kuin syvyydeltään latteiden kuvien kuvaamiseen.

Stereoikkunan asettaminen suoraan suunnatuilla kameroilla on hyvin yksinkertaista, mutta aiheuttaa lievän kompromissin kuvanlaadussa. Stereoikkunaa ei nimittäin voida asettaa mitenkään itse kuvaustilanteessa, ainoa tapa asettaa se haluttuun kohtaan on liikuttaa kuvia sivuttain jälkitöissä. Haluttu stereoikkunan taso täsmätään päällekkäin molempia kuvia sivuttain siirtämällä. Näin meneteltäessä tietenkin kuvasta häviää informaatiota sivuilta, joten kuvaa joudutaan joko suurentamaan, tai muulla tavoin käsittelemään mustien reunojen välttämiseksi.

Stereoikkunan asettaminen StereoMovie Makerissa on hyvin yksinkertaista, vaihdetaan ohjelma adjustment view –tilaan painamalla F5 ja nuolinäppäimillä liikutellaan kuvia sivuttain. Alla olevasta yhdistelmäkuvasista näkee helposti stereoikkunan sijainnin ja sen voi liikutella haluamaansa tasoon videossa helposti. Stereoikkunan voi myös asettaa Easy Adjustment –tilassa, johon pääsee pikanäppäimellä k.

Itse ratkaisin asian kuvaamalla täyden teräväpiirron kuvaa, vaikka levitysmuotona on vain 1280x720 –resoluutioinen tuotos. Näin ollen minulle jäi melko paljon varaa liikutella kuvia sivuttain ilman huomattavia sivuvaikutuksia. Kuvia ei kuitenkaan tarvitse käytännössä koskaan liikuttaa kovin paljoa sivuttain, joten myös kuvan pieni suurentaminen resoluution laskemisen sijaan on käypä vaihtoehto. Mikäli kameroiden välinen etäisyys kuvattaessa on ollut liian suuri kuvauskohteen huomioon ottaen, sen havaitsee viimeistään tässä vaiheessa. Kuvia joutuu liikuttamaan sivuttain paljon, stereoikkunan asettamisen jälkeen taustoissa erot ovat liian suuria ja valmiista videosta häviää paljon informaatiota.



Kuva 20: Stereoikkunan asettaminen StereoMovie Makerissa, stereoikkuna henkilön kohdalla. (Kuva: Riku Naskali)

8.2.2 Suuntausvirheiden korjaaminen

StereoMovie Makerilla on helppo korjata pieniä kuvaustilanteessa syntyneitä suuntausvirheitä. Vaikka kameroiden rigauksessa pyrittäisiin täydellisyteen, tulee kotitekoisilla rigauksilla aina jonkin verran eroja kuvien välille. Pienetkin erot stereoparien välillä näkyvät ja estävät hyvän syvyysvaikutelman syntymisen

Geometriavirheitä voi koettaa korjata automaattisesti StereoMovie Makerilla, mutta tällöin ohjelma tarvitsee Autopano³⁶ -ohjelman kaverikseen. Autopano perustuu SIFT-algorithmeihin ja se osaa korjata suuntauseroja kuvaparien välillä erinomaisella tarkkuudella. Autopano voi ladata myös ilmaiseksi Internetistä ja se tulee asentaa samaan hakemistoon StereoMovie Makerin kanssa. Kun Autopano on asennettu, automaattisen korjauksen voi aktivoida StereoMovie Makerista painamalla Alt + K. Omien havaintojeni mukaan automaattinen korjaus toimii hyvin, mutta heiluvan tai epävakaan kuvamateriaalin kanssa sitä ei kannata käyttää.

Ohjelmasta löytyy myös todella hyvä tila virheiden käsikorjaukseen, se aktivoidaan painamalla k:ta. Mikäli kuvatessa on kamerat konvergoitu kohteeseen, siihen ei ole

³⁶ <http://autopano.kolor.com/>

olemassa automaattista korjausta. Ehkä helpoimmin Keystone-virhettä voi lähteä korjaamaan ohjelman Vertical Perspective –korjaustyökalulla.

8.3 Stereoskooppisen elokuvan pakkaaminen ja eri tiedostomuodot

Stereoskooppiselle elokuvalla ei ole olemassa juuri mitään standardeja, joten sen levittämisessä joutuu aina soveltamaan jonkin verran. Asiaa mutkistaa myös se, että stereoskooppisia esitysratkaisuita on monia erilaisia. Mielestäni järkevintä on käyttää yhtä levitysmuotoa, jota voidaan esittää monissa eri muodoissa. Itse pakkasin tiedostot kahdeksi erilliseksi videotiedostoksi Cineformin HD-koodekilla, joita voi katsoa esimerkiksi stereo movie playerilla tai stereoscopic playerilla tietokoneelta. Molemmat ohjelmat osaavat avata useissa eri muodoissa tallennettuja stereoskooppisia elokuvia, ja myös esittää niitä lähes kaikissa muodoissaan.

Stereoskooppisen elokuvan pakkaamiseen hyvä nyrkkisääntö on pakata niin vähän kuin mahdollista. Etenkin punaviherlaseilla katsottavan anaglyph-muotoisen videon pakkaaminen heikentää heti syvyysvaikutelmaa. Kolmiulotteista elokuvaa voidaan tallentaa muun muassa kahtena erillisenä tiedostona, molemmat videot vierekkäin sivuttain, molemmat videot päällekkäin, anaglyph-muodossa värillisenä ja mustavalkoisena, sekä chromadepth-muodossa.

9 Stereoskooppisen elokuvan esitystekniikoita

Suurin syy stereoskooppisen elokuvan yleistymistä vastaan on ollut vaikea esitettävyyys. Digitaalitekniikan myötä kuitenkin esitystavat ovat yksinkertaistuneet ja niitä on keksitty lisää. Kaikki esitystekniikat perustuvat samaan yksinkertaiseen periaatteeseen, vasen silmä näkee sille tarkoitetun kuvan ja oikea silmä sille tarkoitetun. Ideaalilanteessa kummankaan silmän kuvat eivät vuotaisi yhtään toiseen silmään, jolloin saavutettaisiin täysin haamuvapaa, hyvälaatuinen stereoskooppinen kuva.

9.1 Aktiiviset esitystekniikat

Aktiiviset esitystekniikat käyttävät jonkinlaisia sähköisiä laseja silmien edessä.

9.1.1 Suljinlasit

Suljinlasit ovat ehkä käytetyin tapa esittää kolmiulotteista kuvaa. Niiden toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen, lasit tahdistetaan videosignaaliin ja ne peittävät vuorotellen katsojan silmät synkassa kuvien vaihtumisen kanssa. Tällaisen tavan hyvä puoli on lähes haamuvapaa kuva, mutta suuri huono puoli on kuvan virkistystaajuuden tippuminen puoleen. Suljinlaseja käytettäessä onkin vaikeata saavuttaa välkkymätöntä kuvaa virkistystaajuusvaatimuksista johtuen. Suljinlasien kanssa ei myöskään voi käyttää LCD-näyttöjä, sillä niissä kuva ei sammu tarpeeksi nopeasti ja aiheuttaa haamukuvia.³⁷

9.1.2 HMD

HMD-tekniikassa käytetään kahta pientä LCD tai OLED -näyttöä suurentavien linssien kanssa, molemmille silmille siis omansa. Koska näytöt ovat lähes kiinni silmissä, ei erillistä suodatusta vasemman ja oikean silmän kuville tarvita. HMD-tekniikan hyvinä puolina voidaan pitää kompaktia kokoa sekä haamukuvien minimaalista läsnäoloa. Isoin huono puoli taas on heikko resoluutio.

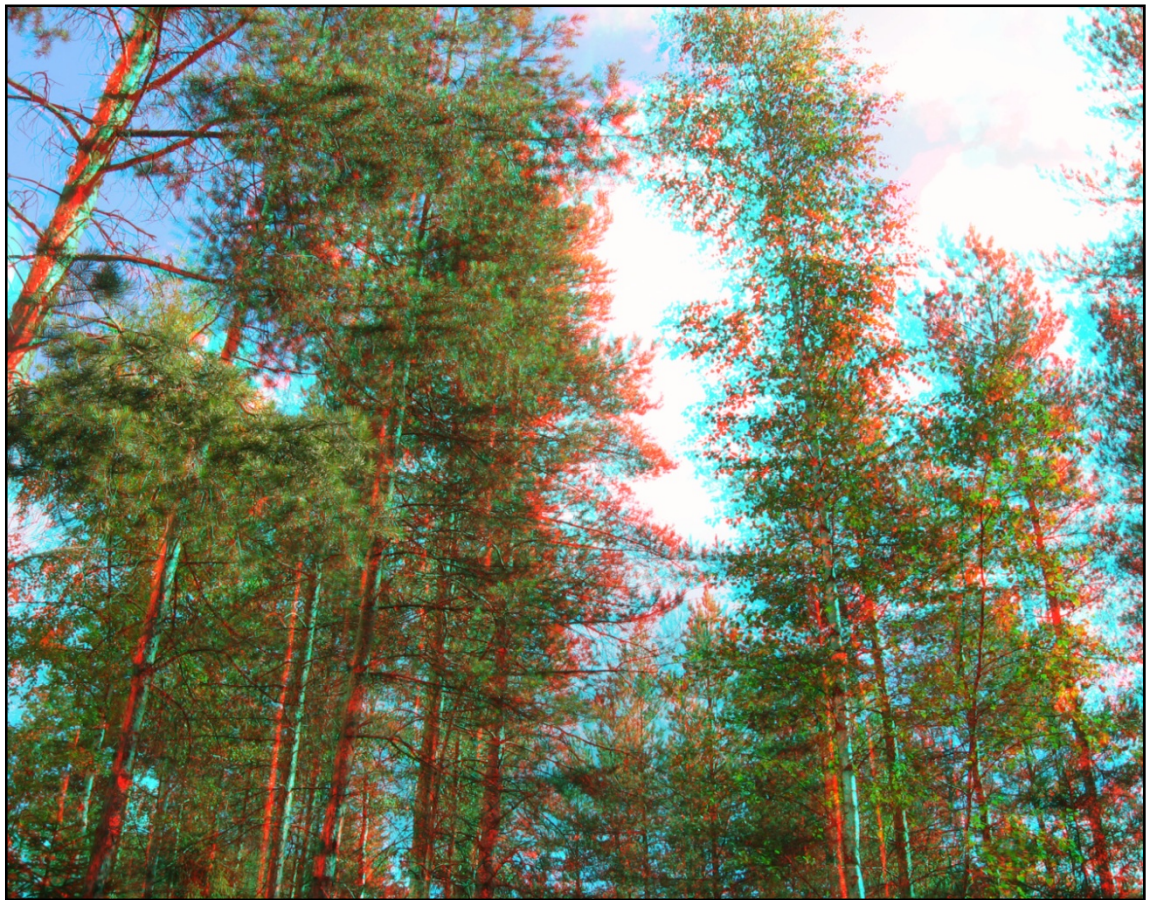
9.2 Passiiviset esitystekniikat

Passiivisissa esitystekniikoissa lasit eivät käytä sähköä, tai niissä ei ole liikkuvia osia.

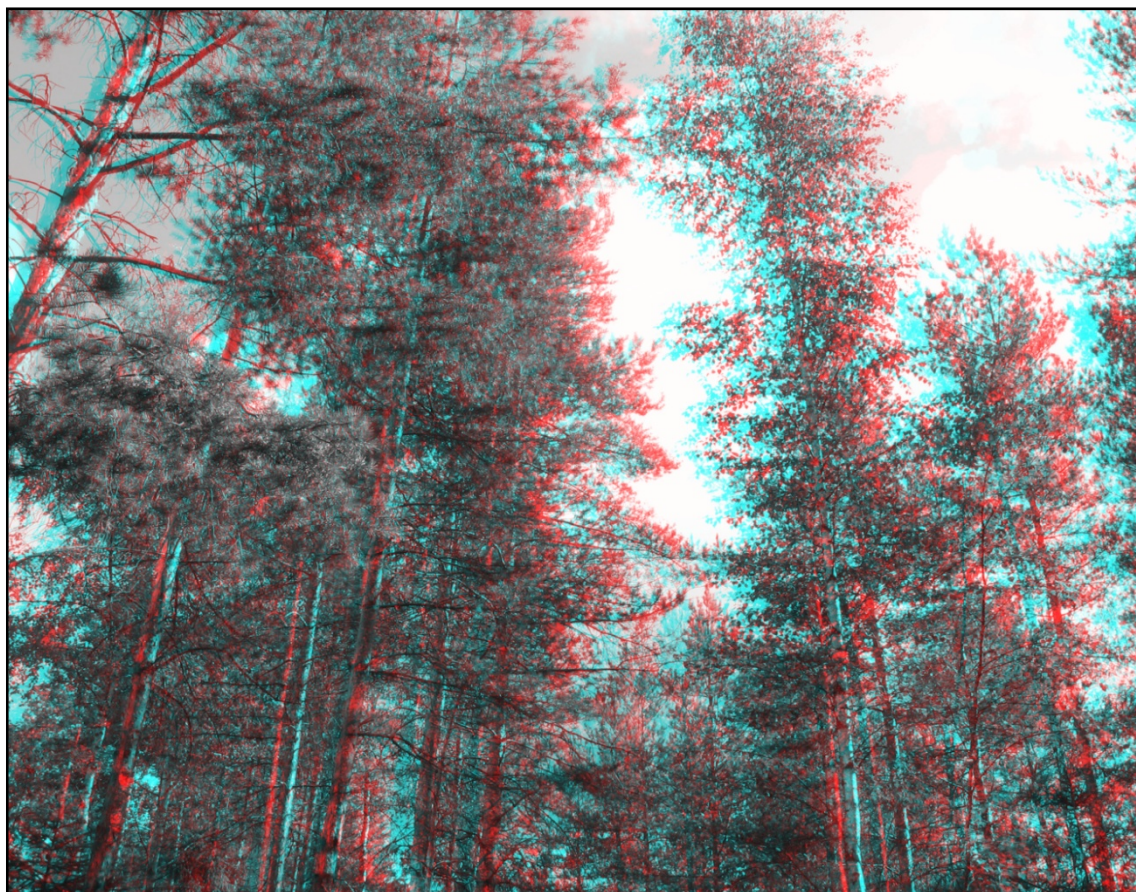
³⁷ <http://en.wikipedia.org/wiki/Stereoscopy>

9.2.1 Anaglyph, eli punaviherlasit

Anaglyph on ehkä tunnetuin, vanhin ja yksi heikkolaatuisimmista tekniikoista kolmiulotteisten kuvien esittämiseen. Tekniikassa vasemman ja oikean silmän kuvat suodatetaan värien avulla. Tekniikan hyvä puoli on sen helppokäyttöisyys ilman tarkoitukseen tehtyä näyttölaitetta, huonona puolena taas heikko laatu ja värien vääristyminen. Värisuodatus ei myöskään ole kovin tarkka, joten vasemman ja oikean silmän kuvat vuotavat paljon keskenään aiheuttaen runsaasti haamukuvia.



Kuva 21: Stereokuva värillisenä Anaglyph-muodossa (Kuva: Riku Naskali)



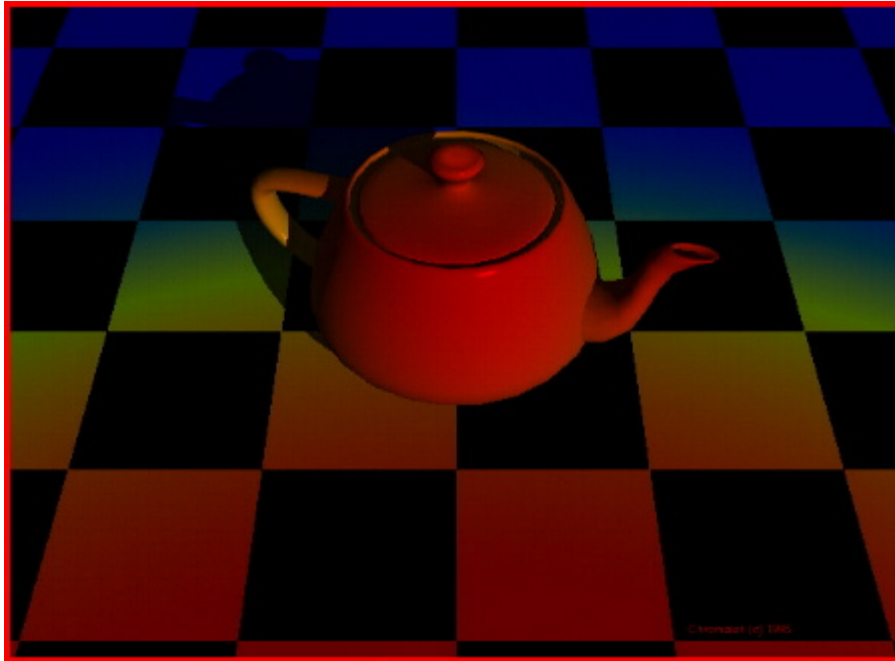
Kuva 22: Stereokuva mustavalkoisena Anaglyph-muodossa. (Kuva: Riku Naskali)

9.2.2 ColorCode 3D

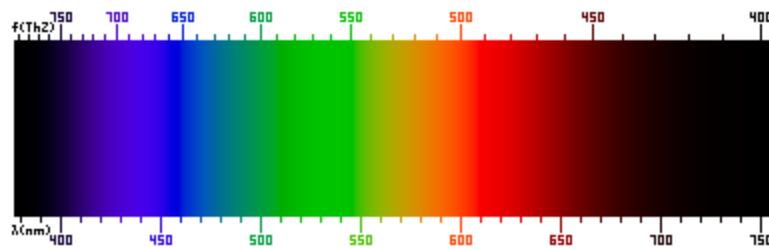
ColorCode on Anaglyphin kanssa hyvin samanlainen tekniikka, mutta käyttää punaisen ja vihreän sijasta keltaista ja sinistä. ColorCoden etu Anaglyphiin nähden on kuvien laatu kaksiulotteisina, sillä ne näyttävät lähes normaaleilta ilman laseja. Useimmiten Colorcode-tekniikalla esitettävät kuvat on kuvattu melko pienellä interaksiaalisella etäisyydellä, joten senkin takia ne näyttävät lähes normaaleilta ilman laseja.

9.2.3 Chromadepth

Chromadepth on Chromatekin patentoima tekniikka kolmiulotteisten kuvien esittämiseen, joka perustuu eriväristen kohteiden sijoittumiseen eri syvyyteen kuvissa. Chromadepth –tekniikan kuvia ei siis voi katsoa käytännössä ollenkaan ilman laseja ja niiden tekeminenkin on hankalaa. Tekniikassa punainen väri näyttää olevan lähimpänä ja puolestaan sininen kauimpana. Tässä välissä syvyys määräytyy näkyvän valon spektrin mukaisesti.



Kuva 23: Esimerkki Chromadepth –tekniikkaa käyttävästä kuvasta. ³⁷



Kuva 24: Näkyvän valon spektri, syvyys Chromadepth –tekniikassa muodostuu kaukaa lähelle sinisestä punaiseen. ³⁸

9.2.4 Pulfrich –efekti

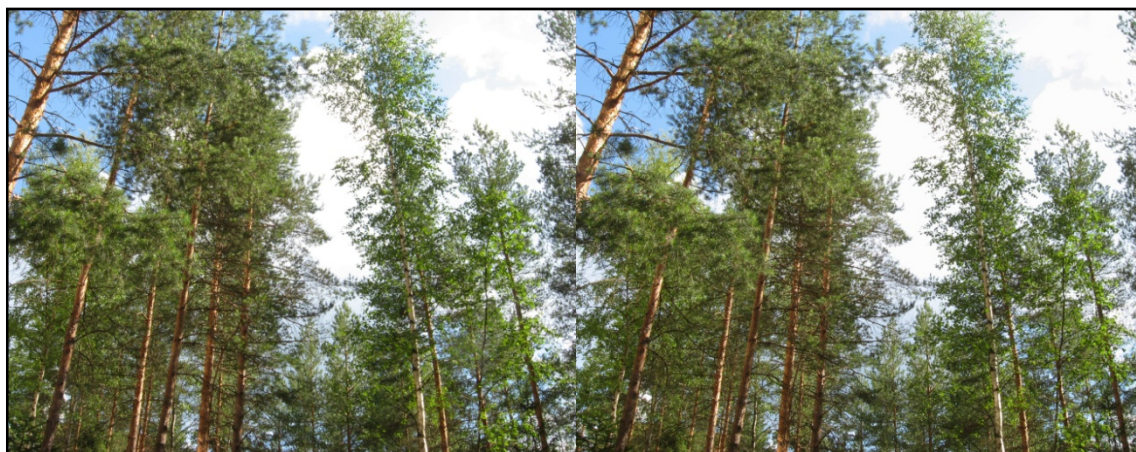
Pulfrich-efekti tarkoittaa kolmiulotteisuuden luomista jatkuvalla kameran sivuttaisliikkeellä. Kameraa liikutetaan sivuttain ja katsottaessa tällaista materiaalia käytetään erityisiä laseja, joissa toisen silmän edessä on tumma linssi ja toisen silmän edessä läpinäkyvä linssi. Ilmiö perustuu siihen, että tumman linssin läpi saapuva kuva saapuu aivoihin myöhemmin kuin läpinäkyvän linssin läpi saapuva, joten sivuttaisliikkeen aiheuttamat kuvaparit saapuvat yhtä aikaa aivoihimme ja siten niistä muodostuu stereopari. Kyseessä ei ole oikeaoppinen kolmiulotteinen tekniikka, vaikka jonkinlainen syvyysvaikutelma Pulfrich-efektillä saavutetaankin.

³⁷ <http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Srgbspectrum.png>

³⁸ <http://209.132.96.165/zbc/showthread.php?p=456032>

9.2.5 Parallel / Side by side

Parallel –tekniikassa kuvat ovat vierekkäin. Kuvia voidaan katsoa paljailla silmillä ilman minkäänlaisia laitteita, tai optisien katselulaitteiden avulla. Yleensä optisilla katselulaitteilla kuvien katsominen on helpompaa ja rasittaa silmiä huomattavasti vähemmän kuin paljailla silmillä katsoessa. Joka tapauksessa tämä esitystekniikka riippuu täysin katsojansa silmistä ja taidoista katsoa tällaisia kuvia. Koska mitään laseja tai suodatuksia ei käytetä, teoriassa saavutetaan täysin haamuvapaa ja muutenkin laadultaan täydellinen kolmiulotteinen kokemus. Parallel-kuvia katsottaessa silmien tulee katsoa suoraan eteenpäin, kun normaalisti ruutua katsottaessa silmämme konvergoituisivat ruudun tasolle. Helpoiten tämä onnistuu rentouttamalla silmät täysin ja tuijottamalla tyhjyyteen. Tekniikan suurin rajoitus on kuvien pieni koko, koska silmämme eivät siedä divergenssiä, kuvien suurin sivuttainen leveys on noin 65 millimetriä kuvaa kohden.



Kuva 25: Stereokuva parallel-muodossa (Kuva: Riku Naskali)

9.2.6 Cross eyed

Cross eyed –tekniikalla vasemman silmän kuva on oikealla puolella, kun taas oikean silmän kuva on vasemmalla puolella. Ideana tekniikassa on nimensä mukaisesti katsoa kuvia kieroona, jolloin kolmiulotteinen kuva muodostuu kahden kuvan väliin. Tekniikan etuna paralleliin verrattuna on kuvien rajoittamaton koko ja näin ollen se soveltuukin paremmin nykyaikaisen kolmiulotteisen kuvan katsomiseen.

9.2.7 Passiiviseen polarisaatioon perustuvat menetelmät

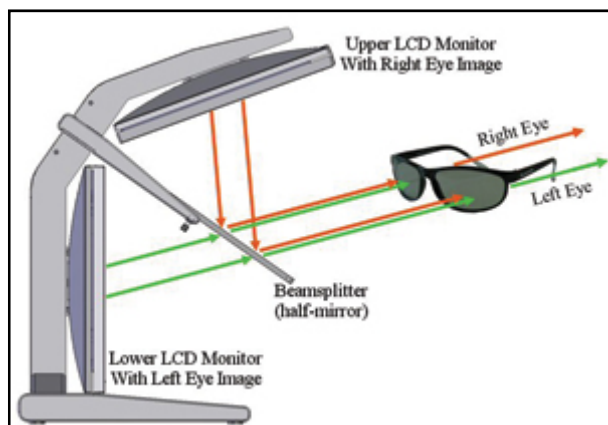
Passiiviseen polarisaatioon perustuvilla esitystekniikoilla on yhteistä tarve katsojien käyttää polarisoivia laseja, pois lukien autostereoskooppiset sovellukset, joiden kanssa laseja ei tarvita ollenkaan. Polarisoivat linssit siis suodattavat valoa ja päästävät vain tiettyyn suuntaan olevat valonsäteet lävitseen. Tätä periaatetta käyttäen on helppoa suodattaa toisen silmän kuva pois toiselta silmältä.

Polarisoivissa laseissa eri silmien linssien polarisaatio on käännetty yleensä 90 astetta. Passiivinen polarisaatio on hyvä keino esittää stereoskooppisia videoita ja laatu on varsin hyvä, esitystavasta ja lasien laadusta riippuen tosin esiintyy jonkin verran haamukuvia. Näiden haamukuvien minimointi onkin suurimpia tavoitteita passiiviseen polarisaatioon perustuvissa esitystekniikoissa. Myös polarisoivien lasien valonläpäisykyvyn parantaminen on yksi suurimmista tavoitteista, jotta voitaisiin käyttää pienemmän valotehon omaavia videotyökkejä.

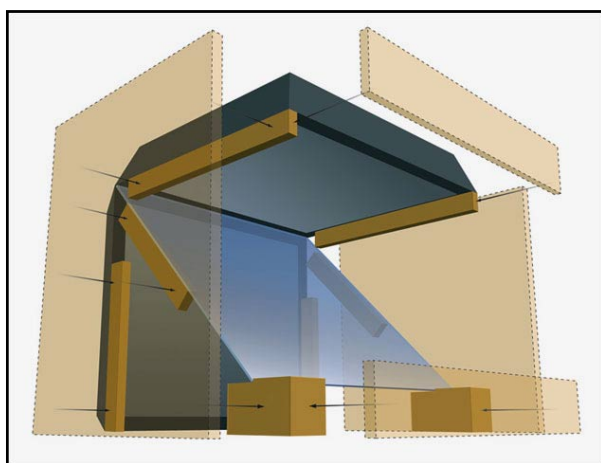
9.2.7.1 Planar

Planar on ennen kaikkea kuluttajille soveltuva esitystekniikka sen teknisen yksinkertaisuutensa sekä kohtuullisen hintansa vuoksi. Planar on nimetty kaupallisen valmistajan, Planarin mukaan ja tarkoittaa tapaa esittää kolmiulotteista kuvaa kahden identtisen näytön sekä puolipeilin avulla. Näytöt kiinnitetään toisiinsa nähden 90 asteen kulmaan ja niiden väliin asennetaan puoliläpäisevä peili 45 asteen kulmaan. Peili heijastaa toisen näytön kuvan suoraan toisen näytön kuvan päälle.

Planarin nerokkuus piilee peilien optisissa ominaisuuksissa, peili nimittäin kääntää valon polarisaation, joten mitään erillisiä polarisaatiosuotimia näyttöihin ei tarvita. Useimmiten myös kuluttajaluokan litteissä näytöissä valo on polarisoitu 45 asteen kulmassa jo valmiiksi. Toisen näytön polarisaatiokulmaksi muodostuu siis 90 asteen käynnön jälkeen 135 astetta. 45/135 asteen kulmissa polarisoituja laseja saa useilta eri valmistajilta edulliseen hintaan, joten Planar on varsin vaivaton ja hyvälaatuinen stereoskooppisen elokuvan esitystekniikka. Kaikki näytöt eivät kuitenkaan ole polarisoitu 45 asteen kulmassa, joten näyttöjen soveltuvuus on hyvä testata etukäteen yksinkertaisella testillä. Testiin tarvitaan 45/135 asteen polarisoidut lasit. 45 asteen kulmassa olevan linssin kuvan tulisi olla pimeä kun lasit ovat suorassa ja 135 asteen kulmassa olevan linssin kuvan taas pimeä kun laseja kääntää 90 astetta myötäpäivään.



Kuva 26: Planarin toimintaperiaate.³⁹



Kuva 27: Poikkileikkaus itse tehdystä Planarista.⁴⁰

Planarissa toisen näytön kuva tietenkin kääntyy peilikuvaksi, joten sen takaisin kääntämiseen tarvitaan kuvalähteestä mahdollisuus kuvan kääntämiseen. Planaria käytetään useimmiten tietokoneen kanssa, jossa on useamman näytön lähdöllä varustettu näyttöohjain. Tällaisen näyttöohjaimen ajureissa on lähes aina mahdollisuus kääntää toisen näytön kuvaa.

Planarin laatu riippuu näyttöjen laadusta, puoliläpäisevän peilin laadusta sekä polarisoivien lasien laadusta. Planarilla on mahdollista saavuttaa korkeatasoinen stereoskooppinen näyttöratkaisu melko helposti. Hyvälaatuisten puolipeilien saatavuus on eräs tekniikan haaste, itse käytin Planariini Seethroughmirrorsin akryylistä puolipeiliä, jonka laatu ei ole paras mahdollinen. Mikäli on mahdollista käyttää lasista puolipeiliä, laatu on paljon parempi.

³⁹ <http://www.planar3d.com/3d-technology/stereoscopic-101/>

⁴⁰ http://howto.wired.com/wiki/Build_a_3-D_Theater

9.2.8 Projisointi kahdella videotykillä

Stereoskooppisen elokuvan projisointi kahdella videotykillä on yksi vanhimmista ja testatuimmista esitystekniikoista. Kuten Planarissa, myös tässä tavassa kaikki perustuu valon polarisaatioon. Kahden identtisen videotykin kuva kohdistetaan päällekkäin, videotykkien kuvat polarisoidaan eri suuntiin sekä katsottaessa käytetään vastaaviin suuntiin polarisoituja laseja.

9.2.8.1.1 Polarisaation säilyttävä hopeakangas

Projisoitaessa tiettyyn suuntaan polarisoitua valoa sisältävää kuvaa, valkokankaan tulee säilyttää valon polarisaation suunta mahdollisimman hyvin. Perinteinen valkokangas ei sitä tee, joten tätä tekniikkaa käytettäessä tarvitaan erityinen hopeakangas.

Hyvälaatuinen hopeakangas maksaa melko paljon, noin 500 eurosta ylöspäin.

Edullisempiakin kankaita on saatavilla, mutta hopeakangas on tässä esitystekniikassa merkittävin laatuun vaikuttava tekijä, joten siihen kannattaa panostaa.

9.2.8.1.2 Videotykkien soveltuvuus

Tarve polarisoida videotykin valo vaatii videotykillä polarisoimatonta valoa, tai että sen eri värit on polarisoitu samaan suuntaan. Hieman yleistäen ainoastaan yksikennoiset DLP-projektorit sopivat tähän tarkoitukseen. LCD-projektoreja on teoriassa mahdollista käyttää, mutta ne tulisi testata etukäteen. Kolmikennoisia projektoreita ei käytännössä pysty käyttämään tässä tekniikassa ilman suuria muutoksia projektorin oman polarisaation ja väriryörän suhteen.

9.2.8.1.3 Polarisaatiosuotimet

Videotykkien kuvien eteen asetettavat polarisaatiosuotimet ovat normaalit lineaaripolarisaatiosuotimet, yleensä käytetään suotimia 45 asteen ja -45 asteen kulmassa. Myös pyöröpolarisaatiosuotimia voidaan käyttää, mikäli halutaan katsojien pystyvän kallistelemaan päätään vapaasti ilman kolmiulotteisuuden häviämistä.

9.3 Autostereoskooppiset näytöt

Autostereoskooppisten näyttöjen kanssa ei tarvitse laseja käyttää ollenkaan, vaan ne suodattavat eri silmien kuvat jo itsessään. Useimmiten autostereoskooppisten näyttöjen katselukulma on kuitenkin hyvin kapea, jo pieni pään sivuttainen siirto tuhoaa

suodatuksen ja kolmiulotteisuus katoaa. Autostereoskooppiset näytöt käyttävät useimmiten joko parallax barriereja, eli juovallisia näköestekalvoja, tai lenticular sheettejä, eli linssihilakalvoja.^{41 42}

Parallax Barrier on kuin tiheä reikälevy, jonka läpi vasen silmä näkee eri pikselit kuin oikea silmä.

⁴¹ <http://en.wikipedia.org/wiki/Autostereoscopic>

⁴² Järvinen, Jaakko. 2005. Autostereoskooppinen näyttö.

9.4 Suomessa elokuvateattereissa käytössä olevia esitystekniikoita

Suomessa on tällä hetkellä yhdeksän 3d-teatterisalia, jotka sijaitsevat seuraavissa elokuvateattereissa: Vantaalla Finnkinon Flamingossa, Espoossa Bio Rexissä, Kajaanissa Bio Rexissä, sekä Hämeenlinnassa Bio Rexissä.

9.4.1 Dolby

Dolbyn tekniikka pohjautuu Infinitecin keksimään väripyörään. Infinitec on autovalmistaja Daimler Benzistä irtaantunut tytäryhtiö, jolta voi lisensoida tekniikan kolmiulotteisten elokuvien esittämiseen. Toimintaperiaate on hieman samantapainen kuin anaglyph-tekniikassa, mutta järjestelmässä värit jaetaan erittäin tarkasti silmien välillä, joten minkäänlaisia haamukuvia tai vuotoja silmien välillä ei synny. Järjestelmän asentaminen ei onnistu ilman yrityksen asiantuntijaa, joka kalibroi muun muassa projektorin värit väripyörän kanssa. Infinitecin tekniikkaa voidaan käyttää joko kahden, tai yhden projektorin kanssa.^{43 44}

Tekniikan etuna passiiviseen polarisaatioon perustuviin järjestelmiin on mahdollisuus käyttää normaalia valkokangasta. Siten se soveltuu hyvin elokuvateattereihin, joissa samassa salissa tarvitsee esittää myös perinteistä kaksiulotteista elokuvaa. Suurimmat järjestelmän heikkoudet ovat lasien kallis hinta, sekä valotehon suuri hävikki. Dolbyn järjestelmä on käytössä ainakin Bio Rexissä Hämeenlinnassa.

9.4.2 XpanD 3D

XpanD on polarisaatioon perustuva tekniikka, joka on samalla myös aktiivinen. Tekniikan suurin etu on mahdollisuus käyttää normaalia kangasta, joten kallista ja kaksiulotteisen kuvan projisoinnissa huonosti toimivaa hopeakangasta ei tarvita. Näin ollen tekniikalla varustetuissa saleissa voidaan näyttää myös perinteisiä elokuvia. Lasit päästävät myös läpi enemmän valoa kuin perinteiset polarisoivat lasit, joten elokuvan kirkkaus on parempi. Käytännössä tekniikan ainoa haittapuoli on kalliit lasit.⁴⁵

XpanD on käytössä kaikissa Finnkinon kolmiulotteisissa saleissa, sekä Bio Rexissä Kajaanissa.

⁴³ Kennell, Ken. 2006. Color and Mastering for Digital Cinema.

⁴⁴ Mäemets, Mihkel. Bio Rex Digital Solutions, sähköpostitse saamani tieto.

⁴⁵ Saarinen, Ari. Finnkinon tekninen päällikkö, sähköpostitse saamani tieto.

10 Case: Kolmiulotteista kuvaa

Opinnäytetyöni mediateko-osuus ei ole kovin perinteinen, sillä kuvasin sen käytännössä yksin ja ilman kantavaa ideaa tai käsikirjoitusta. Olisin halunnut kerronnallisen lyhytelokuvan kolmiulotteisena, mikä olisi myös vastannut paremmin moniin kysymyksiin tekniikan soveltuvuudesta tuotantokäyttöön, mutta siihen minulla ei ollut mahdollisuutta tai aikaa. Olin myös mukana 3d-asiantuntijana Toni Pykäläniemen ohjaamassa musiikkivideossa, jonka kuvasi Tommi Moilanen. Sen tuotantotapa oli harkitumpi ja kuvat oli suunniteltu etukäteen, joten siitä voi päätellä paremmin miten kolmiulotteinen tekniikka toimii elokuvatuotannossa.

10.1 Kuvauskohteiden valinta

Pyrin valitsemaan monipuolisia kuvauskohteita, jotka edustaisivat lähes kaikkia mahdollisia perinteisessä elokuvatuotannossa vastaan tulevia tilanteita. Pääpaino oli kuitenkin visuaalisesti vaikuttavilla kuvauskohteilla, sekä etenkin paljon syvyyttä sisältävillä kuvauspaikoilla.

10.2 Kuvaustekniikka käytännössä

Kuvasin tilanteita sekä peilirigilläni, että kamerat vierekkäin rigattuna. Kokeilin paljon erilaisten asetusten vaikutusta syvyytsvaikutelmaan, useimmiten interaksiaalinen etäisyys kameroiden välillä oli 2 – 6 senttimetriä. Erikoislähikuvia ja makrokuvia kuvattaessa etäisyydet olivat 0 – 1 senttimetriä. Koska käyttämissäni Sonyn HDR CX-11 kameroissa ei ollut kunnollisia manuaalikontrolleja, jouduin pakottamaan ne molemmat käyttämään samoja asetuksia. Pitämällä molemmat kamerat automaattiasetuksilla pääsin myös useimmiten hyvään lopputulokseen. Valaisu oli olematonta resurssipulasta johtuen, joten kuvasin valtaosan materiaalista ulkona valoisan aikaan. Kuvasin myös stillkuvia Canonin digipokkareilla, interaksiaaliset etäisyydet kuvissa olivat noin 8 – 15 senttimetriä. Toni Pykäläniemen ohjaamassa musiikkivideossa kuvasimme laajemmat yleiskuvat ilman peilirigiäni ja myöhemmin lähikuvat peilirigini kanssa. Musiikkivideossa myös käytin Initionin Stereobrain-ohjelmaa interaksiaalisten etäisyyksien laskemiseen.

11 Kolmiulotteisen kuvauksen haasteet tällä hetkellä

11.1 Kohdistukset ja säädöt

Kuvatessani kolmiulotteista kuvaa tekniikan lastentaudit kävivät minulle hyvin selväksi. Ensinnäkin kolmiulotteisessa kuvauksessa on kaksinkertainen vaiva perinteiseen kuvaamiseen nähden, kaikkea tulee olla kaksin kappalein. Kahden kameran käyttö aiheuttaa kokemukseni mukaan aina jonkinasteisia eroja kuvaparien välille, jotka virheistä riippuen ovat korjattavissa, tai ei, jälkikäteen. Peilirigiä käytettäessä kameroiden kiinnittäminen täysin suoraan oli todella ongelmallista. Myöskään peilin kiinnitys 45 asteen kulmaan ei ollut aivan vaivatonta. Ylipäätään kaikenlainen tarkkuussäätäminen oli vaikeaa omalla kalustollani, stereoskooppiseen elokuvaukseen tarvitaan ehdottomasti hienostunutta tarkkuuskalustoa ja hyvät testitilat kameroiden suuntaamiseen. Myös valon pitäminen poissa puolipeilistä oli vaikeaa. Tietenkään tällaisia haasteita ei olisi, ainakaan tässä mittakaavassa, mikäli käytössä olisi teollisesti millimetrin tuhannesosien tarkkuudella valmistetut mikrometrein säädettävät rigaukset.

Lähes kaikista haasteista päästäisiin eroon rigaamalla kamerat vierekkäin, mutta siihen sopivia tarpeeksi pieniä kameroita ei ole olemassa montaa. Käsittääkseni onkin melko yleistä, että tuotannossa on käytössä tällainen vierekkäin rigattu järjestelmä, sekä myös peiliä käyttävä rigi.

11.2 Kolmiulotteisen elokuvan esittämisen vaikeus

Ehkä suurimmat haasteet formaatilla on kuitenkin esityspuolella, on melko turhaa kuvata kolmiulotteisena, mikäli sitä ei kukaan pysty katsomaan hyvälaatuisena. Mielestäni formaatin leviämiseen vaikuttaakin eniten valmistajien halukkuus valmistaa toimivia ja edullisia näyttöratkaisuita nimenomaan kuluttajille.

11.3 Vaiva vastaan saavutettu hyöty

Kuten kaikessa elokuvauksessa, myös stereoskooppisessa kuvaamisessa kyse on yksinkertaisesta asiasta. Onko sen tuoma lisäarvo kaiken vaivan arvoista? Kolmiulotteisuus ei ole mikään Jumalan lahja, vaan se on vain yksi tapa muiden taiteellisten päätösten joukossa lisätä katsojakokemusta elokuvassa.

11.4 Kolmiulotteisen elokuvan tuotantokelpoisuus

Kolmiulotteinen elokuva ei ole mielestäni tuotantokelpoinen ennen kuin saadaan toimivia, edullisia ja ennen kaikkea todella tarkkoja rigausratkaisuita kameroille. Vielä parempaa olisi tietysti, mikäli kolmiulotteisia kameroita tulisi pian markkinoilla. Niiden kanssa ei tarvitsisi taistella kohdistuksien ja muiden säätöjen kanssa.

Tuotantokelpoisuus isoissa tuotannoissa on lähes saavutettu, mutta indie-tuotantoihin en voi kolmiulotteista formaattia suositella vielä.

Lähteet

Wikipedia. Depth Perception. http://en.wikipedia.org/wiki/Depth_perception

ZBrushCentrall. Chromadepth. Keskustelupalsta.
<http://209.132.96.165/zbc/showthread.php?p=456032>

Wikipedia. SRGB Spectrum.
<http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Image%3ASrgbspectrum.png>

Krantz, H. John. Depth Cues. <http://psych.hanover.edu/KRANTZ/art/cues.html>

Teittinen, Marko. Depth Cues in the Human Visual System.
<http://www.hitl.washington.edu/scivw/EVE/III.A.1.c.DepthCues.html>

Hart, John. 2003. 3D Macrophotography with a Beamsplitter.
<http://www.stereo3dgallery.com/SplitMirror.shtm>

Wikipedia. Stereoscopy. <http://en.wikipedia.org/wiki/Stereoscopy>

Crockett, Rob. 2008. LANC Shepherd for Sony Digital Cameras.
<http://www.ledametrix.com/lancshep/index.html>

HDR-HC9, A/V Remote Terminal, and LANC - Page 2 - The Digital Video Information Network. Keskustelupalsta. <http://www.dvinfo.net/conf/hdv2-sony-hvr-a1-hdr-hc-series/120395-hdr-hc9-v-remote-terminal-lanc-2.html>

Two Way Mirrors, One Way Mirror. <http://seethroughmirrors.com/>

Planar Stereomirror DIY setup. - NVIDIA Forums. Keskustelupalsta.
<http://forums.nvidia.com/index.php?showtopic=32547>

Build a 3-D Theater - Wired How-To Wiki. http://howto.wired.com/wiki/Build_a_3-D_Theater

StereoData Maker. <http://stereo.jpn.org/eng/sdm/index.htm>

Wired USB remote for SDM. <http://ewavr.nm.ru/chdk/remote.htm>

Bloos, Werner. digi-dat Dienstleistungen - Anlagen – Technik. Nettikauppa.

http://www.digi-dat.de/produkte/index_eng.html#zbarcanon

Campos, Grant. 3D Sales. Nettikauppa. <http://mysite.verizon.net/res199ga/3d.html>

Cameron 3D Rig CML-Cinematography Mailing List. Postituslista.

<http://www.cinematography.net/edited-pages/Cameron3DRig.htm>

Paradise FX | Leaders in Stereoscopic 3D Entertainment.

<http://www.paradisefx.com/pages/news/red3d.html>

P+S TECHNIK | Member of 35Digital. <http://www.pstechnik.de/en/3d-rig.php>

Bourke, Paul & Bannon David. Stereoscopic Projection – Theory.

<http://ozviz.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/exhibition/vpac/theory.html>

Lipton, Lenny. REAL D Blog : Compositional differences: Real D VS. IMAX

http://community.reald.com/blogs/real_d_blog/archive/2008/02/15/547.aspx

Järvinen, Jaakko 2005. Autostereoskooppinen näyttö. Fotogrammetrian Seminaarityö.
[pdf] Helsinki: Helsingin teknillinen korkeakoulu.