



**Aalto-yliopisto**  
Teknillinen korkeakoulu

# **Kolmiulotteiset näyttötekniikat**

T-111.2211 Informaatioverkostot: Studio 4

Espoossa, 7.5.2010

**Antti Vuorela**

antti.vuorela@tkk.fi

# Tiivistelmä

Tässä esseessä käsittelen kolmiulotteisten vaikutelman esittämiseen käytettäviä tekniikoita ja niiden taustalla olevia premissejä. Kolmiulotteisen vaikutelman saaminen perustuu enimmäkseen ihmisen stereonäköön ja eri kuvan näyttämiseen kummallekin silmälle. Kolmiulotteiset näyttötekniikat jakaantuvat kahteen pääryhmään: silmien eteen asetettaviin lasihin perustuviin stereoskooppisiin tekniikoihin sekä ilman apuvälineitä toimiviin autostereoskooppisiin tekniikoihin.

## Sisällysluettelo

Johdanto.....	1
1. Kolmiulotteisen havaitsemisen premissit.....	2
1.1. Binokulaarinen näkö ja syvyyshihjeet.....	2
1.2. Liikeparallaksi.....	2
2. Näyttötyypit.....	3
2.1. Stereonäyttö.....	3
2.2. Usean näkymän näytöt.....	3
2.3. Vapaasti katseltavat.....	3
3. Stereoskooppiset tekniikat.....	4
3.1. Passiivitekniikat.....	4
3.1.1. Anaglyfinen kuva.....	4
3.1.2. Polarisatio.....	5
3.2. Aktiivitekniikat.....	6
3.2.1. Aktiiviset sulkijalasit.....	6
3.2.2. Pään kiinnitettävät näytöt.....	7
4. Autostereoskooppiset tekniikat.....	8
4.1. Lentikulaariset linssit.....	8
4.2. Parallaksi-este.....	9
4.3. Volumetriset näytöt.....	10
5. Yhteenveto.....	11

## Johdanto

Kolmiulotteinen grafiikka, kuten pelit ja virtuaaliympäristöt, ovat olleet arkipäivää jo pitkään. Niiden vaikuttavuutta kuitenkin vähentää se, että kolmiulotteinen materiaali esitetään useimmiten kaksiulotteisena projektiona esimerkiksi tietokoneen näytöllä. Tämän ongelman ratkaisemiseksi on kehitetty erilaisia kolmiulotteisia näyttötekniikoita, joiden avulla kolmiulotteista materiaalia pystytään esittämään siten, että kolmiulotteinen syvyysvaikutelma välitetään katsojalle.

Kolmiulotteisen syvyysvaikutelman tuottamisen perusta keksittiin jo 1800-luvulla. Tuolloin kehitettiin ensimmäiset kolmiulotteiset stereogrammit [1], joissa valokuvaan saatiin kolmiulotteinen vaikutelma. Tekniikka popularisoitui 1950-luvulla View-Master -laitteiden myötä [2]. Alunperin aikuisten käyttöön suunnatuista laitteista tuli myöhemmin lasten leluja.



*Kuva 1: View-Master -laite 1950-luvulta [2]*

Myös 3D-elokuvan periaatteet keksiin jo 1800-luvun lopussa, ja tekniikka vietti ensimmäistä kultakauttaan 1950-luvulla. Tämän jälkeen 3D-elokuvien suosio laski, kunnes 2000-luvun loppupuolella ne palasivat taas valtavirtaan. Elokvateattereita on Suomessakin nopeaan tahtiin varustettu 3D-elokuvien näyttämiseen kykenevillä laitteistoilla. [3]

Kolmiulotteisten näyttötekniikoiden aikaisempien epäonnistumisten syitä ovat olleet huono kuvanlaatu sekä käytön epämiellyttävyyys, kuten päänsärky-ongelmat. [3] Nykytekniikan myötä kuvanlaadussa on tapahtunut merkittävää edistystä, erityisesti mikro-optiikan ja LCD-tekniikan kehityksen ansiosta. Myös käyttömukavuus on parantunut, mutta on edelleen ongelma. [4]

Kolmiulotteisten näyttötekniikoiden kehittämiseen liittyy kiinteästi ihmisen kolmiulotteisen havaitsemisen fysiologinen perusta. Jotta käytettyjä tekniikoita voisi ymmärtää, on syytä tuntea kolmiulotteisen havaitsemisen premissit.

# 1. Kolmiulotteisen havaitsemisen premissit

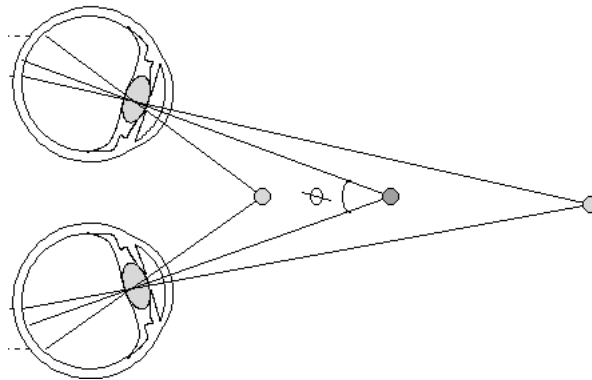
Kolmiulotteisen havaitsemisen perustana on ihmisen syvyysnäkö. Syvyysnäkö tarkoittaa näköaistin kykyä erottaa esineiden etäisyyksiä. Syvyysnäkö perustuu monokulaarisiin ja binokulaariset syvyysvihjeisiin. Monokulaariset vihjeet ovat yhden silmän avulla havaittavia esineen etäisyydestä kertovia havaintoja. Näitä ovat esimerkiksi perspektiivi ja esineiden väliset suhteelliset kokoerot. [5]

Kolmiulotteisen materiaalin kaksiulotteisissa projektoissa hyödynnetään ainoastaan monokulaarisia vihjeitä. Binokulaariset vihjeet puolestaan ovat kahden silmän yhteistoiminnasta saatavia vihjeitä. Tärkeimmät kolmiulotteisen vaikutelman aikaansaajat ovat binokulaariset vihjeet sekä liikeparallaksi. [6]

## 1.1. Binokulaarinen näkö ja syvyysvihjeet

Binokulaarinen näkö, eli silmien yhteisnäkö, on stereoskooppisen näkemisen perusta. [7]

Ihmissilmät ovat noin 50-75mm etäisyydellä toisistaan. Binokulaarinen näkö perustuu siihen, että ihminen havaitsee kummallakin silmällä hieman eri kuvan. [5]



Kuva 2: Binokulaarinen konvergenssi [7]

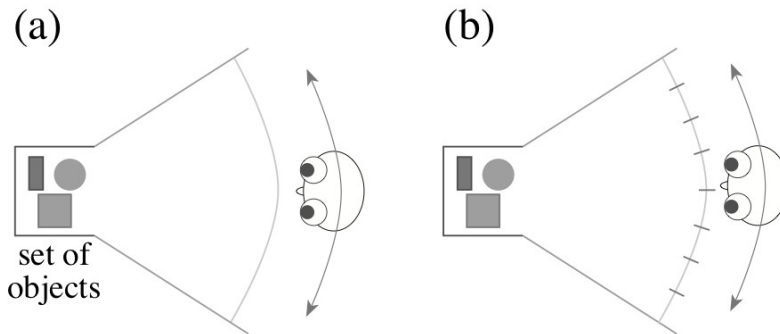
Binokulaarissa syvyysvihjeissä aivot pystyvät toisistaan eroavien kuvien perusteella laskemaan etäisyyden kohteeseen. Periaate on sama kuin kolmiomittauksessa. [5] Etäisyshavaintoon vaikuttaa silmien kääntyminen toisiaan kohden, eli binokulaarinen konvergenssi (kuva 2), jolloin näköakselit leikkaavat. Syntyy parallaksikulma ja kuvapisteen siirtyvät vastaavasti verkkokalvoilla. [7]

## 1.2. Liikeparallaksi

Katsojan tai katsottavan kolmiulotteisen kappaleen liikkuaessa suhteessa toisiinsa, kappaleesta tehty havainto muuttuu. Aivot osaavat tämän tiedon perusteella tehdä päätelmiä kappaleen etäisyydestä ja kolmiulotteisuudesta. Tätä kutsutaan liikeparallaksiksi, joka luetaan monokulaarisiin syvyysvihjeisiin. Liikeparallaksi on keino luoda kolmiulotteinen vaikutelma, mutta vastaavasti sen puuttuminen voi haitata vaikutelmaa. Tämä tulee ottaa huomioon erityisesti niissä kolmiulotteisissa näyttötekniikoissa, joissa käyttäjä pystyy liikkumaan katselun aikana. [5]

## 2. Näyttötyypit

Kolmiulotteiset näyttötekniikat jakaantuvat eri tyyppeihin sen mukaan, montako erilaista näkymää kohteesta ne näyttävät. Eri näkymillä pyritään huomioimaan liikeparallaksi. Normaalisti ihminen pystyy tarkastelemaan kohdetta vapaasti eri suunnista (kuva 3a), mutta teknisistä syistä 3d-järjestelmissä on useimmiten rajoitettu määrä näkymiä (kuva 3b). [8]



Kuva 3: Vapaa näkymä (a) ja rajoitettu määrä näkymiä (b) [8]

### 2.1. Stereonäyttö

Yleisin kolmiulotteinen näyttötyyppi on kahden näkymän näyttöt eli stereonäytöt, joissa näytetään kaksi eri kuvaa; toinen vasemmalle ja toinen oikealle silmälle. Kolmiulotteinen näkymä on sama riippumatta siitä, mistä suunnasta katsoja näyttöä katsoo. Tällöin liikeparallaksia ei huomioida. [8]

### 2.2. Usean näkymän näyttöt

Usean näkymän näyttöissä (kuva 3b) on useita stereokuvapareja, joita näytetään samanaikaisesti ja käyttäjä näkee positionsa mukaisesti jonkin niistä. Usean näkymän näyttö voi myös perustua katsojan seuraamiseen ja näytettävän stereokuvan modifioimiselle katsojan position mukaisesti. [8]



Kuva 4: Neljä eri näkymää samasta tilanteesta [6]

### 2.3. Vapaasti katseltavat

Vapaasti katseltavissa näyttöissä on rajaton määrä erilaisia näkymiä (kuva 3a). Näyttöä voi katsella mistä suunnasta tahansa, ja se näyttää aina tarkalleen kyseiseen suuntaan tarkoitetun kuvan. [8] Kokemus vastaa luonnollisen fyysisen objektin tarkastelua. Tällaiset näytöt ovat vielä harvinaisia.

### 3. Stereoskooppiset tekniikat

Stereoskooppisissa tekniikoissa käytetään kunkin katsojan silmien edessä apuvälineitä stereokuvan näyttämiseen erikseen vasemmalle ja oikealle silmälle. Yleisin apuväline on silmälasien kaltaiset lasit, joilla katsojan näkemästä stereokuvasta erotetaan kullekin silmälle näytettävä osa. Stereoskooppiset tekniikat jakaantuvat passiivisiin ja aktiivisiin tekniikoihin. [9]

#### 3.1. Passiivitekniikat

Passiivisissa tekniikoissa katsojan käyttämät lasit eivät tarvitse elektroniikkaa. Tekniikoiden etuna on lasien edulliset valmistuskustannukset. [9]

##### 3.1.1. Anaglyfinen kuva

Vanhimpia menetelmiä kolmiulotteisen kuvan näyttämiseen on anaglyfinen kuva. Anaglyfinen kuva perustuu kromaattisten vastavärien avulla tehtävään stereokanavien erotteluun. Kuva koostuu kahdesta päällekkäisestä värikerroksesta, joissa kullekin silmälle tarkoitetut osat on piirretty eri väreillä. Yleisin väriyhdistelmä on puna-syaani (kuva 5). [10]



*Kuva 5: Anaglyfinen puna-syaani kuva [10]*

Anaglyfisten kuvien katsomiseen käytetään laseja, joissa on kummallekin silmälle oma värisuodatin kuvan stereokanaviin käytettyjen värien mukaisesti. Suodatin päästää läpi vain kyseisen värin. Aivot yhdistävät silmiin tulleet kuvat kolmiulotteiseksi näkymäksi. Yleisimmissä puna-syaaneissa laseissa (kuva 6) vasen linssi on punainen ja oikea linssi syaani. [10]



*Kuva 6: Anaglyfiset puna-syaanilasit [10]*

Anaglyfisen tekniikan hyviä puolia ovat sen helppokäyttöisyys ja edullinen hinta. Anaglyfiset kuvat eivät vaadi käytettävältä näytöltä mitään erityistä, joten tekniikkaa voi käyttää olemassa olevin laittein. Anaglyfiset kuvat ovat viime aikoina kokeneet uuden tulemisen Internetin myötä. [10] Esimerkiksi Google julkaisi 1.4.2010 Street View-palveluun 3D-ominaisuuden, joka hyödyntää anaglyfistä tekniikkaa. [11] Ominaisuus tosin poistui käytöstä kokeilun jälkeen.

Anaglyfisen tekniikan ongelmia ovat värien vääristyminen ja kuvan käyttökelvottomuus ilman laseja katsottaessa. Näihin ongelmiin on pyritty löytämään ratkaisuja tekniikkaa kehittämällä. Esimerkiksi ColorCode 3D -niminen anaglyfinen tekniikka perustuu oranssinkeltaiseen ja siniseen suodattimeen. Näistä oranssinkeltainen välittää vasemmalle silmälle kaiken väri-informaation ja sininen oikealle silmälle kolmiulotteisen efektin yksisävyisenä. Tekniikan etuna on, että sama kuva on käyttökelpoinen kaksikulotteisena myös ilman laseja katsoville. [9]

### **3.1.2. Polarisatio**

Polarisaatioon perustuvassa tekniikassa stereokuvan eri kanavat näytetään samalla pinnalla polarisoituna erilaisten polarisaatiosuodattimien läpi. Katsoja käyttää laseja, joissa on vastaavasti kummallakin silmällä erilaiset polarisaatiosuodattimet päästämässä läpi vain oikean stereokanavan. [12]

Yleinen tapa polarisoidun kuvan näyttämiseen on projisoida kahdella erilaisilla polarisaatiosuodattimilla varustetulla DLP-projektorilla stereokanavat samalle pinnalle. Pinnaksi tarvitaan erityinen hopeakangas, jotta projisoidut kuvat heijastuisivat polarisoituna katsojalle asti. [12]

Polarisaatioon perustuu elokuvateattereissa laajasti käytössä oleva RealD-tekniikka (kuva 7). Järjestelmässä käytetään vain yhtä projektoria, joka lähettää 144Hz taajuudella vuorotellen kummankin stereokanavan kuvaa. Projektorin edessä on kuvavirtaan tahdistettu pyöröpolarisaatiosuodatin, joka erottelee stereokanavien kuvat. Uudemmassa versiossa korkeatarkkuuksinen projektori näyttää samaan aikaan kahta kuvaa, jotka erotellaan linssin avulla eri suodattimille. [13]



*Kuva 7: Kaksi paria RealD lasia ja erisuuntaisten polarisaatiofilttereiden välinen efekti [13]*

Polarisaatiotekniikan etuna anaglyfiseen verrattuna on värien säilyminen. Ongelmana on kuvan kirkkauden vähentyminen projektorin ja lasien suodattimien takia. Tätä voidaan ehkäistä käyttämällä kirkkaampia lampuja projektoreissa. [13] Toinen ongelma on haamukuvat, kun stereokanavat pääsevät sekoittumaan. Lisäksi lineaarisesti polarisoiduissa järjestelmissä pään kallistaminen aiheuttaa stereokanavien sekoittumisen. [9]

## **3.2. Aktiivitekniikat**

Aktiivitekniikoissa käytetään elektroniikkaa stereokuvien erottelussa katsojan lasissa.

### **3.2.1. Aktiiviset sulkijalasis**

Aktiivisiin sulkijalaseihin perustuvassa tekniikassa kuvaa näytetään kaksinkertaisella kuvataajuudella. Joka toinen ruutu on tarkoitettu vasemmalle ja joka toinen oikealle silmälle (Alternate-frame sequencing). Katsoja käyttää lasia, joissa ovat sulkimet päästävät valoa vain sille silmälle, jonka kuvaa kulloinkin näytetään. [14]

Laseissa käytetään yleisesti LCD-näyttöistä tutulla nestekide-tekniikalla toteutettuja sulkimia. Lasit tulee tahdistaa kuvasignaaliin esimerkiksi infrapuna- tai radiotekniikkaa käyttäen. Aktiivisiin sulkijalaseihin perustuva tekniikka vaatii tarpeeksi korkealla taajuudella toimivan näyttölaitteen. LCD-näytöt ovat olleet tähän liian hitaita, mutta jotkin uusimmat näytöt ovat tarpeeksi nopeita. [15]

Elokuvateattereissa on käytössä aktiivisiin sulkijalaseihin perustuva XpanD-tekniikka. Suomessa järjestelmää käyttää esimerkiksi Finnkino. Järjestelmässä lasit tahdistetaan infrapunalla. [16]



*Kuva 8: Sonyn kuluttajakäyttöön suunnatut aktiiviset sulkijalasit [17]*

Aktiivisiin sulkijalaseihin perustuva kolmiulotteinen näyttötekniikka on tulossa vahvasti myös kuluttajatuotteisiin. Muun muassa Sony on julkistanut kuluttajakäyttöön suunnatuja 3D-tuotteita, jotka perustuvat tähän tekniikkaan. Uusien 3D-kykyisten taulutelevisioiden LCD-paneelit toimivat taajuudella, joka mahdollistaa kolmiulotteisen kuvan näyttämisen. [17]

Aktiiviin sulkijalaseihin perustuvan tekniikan etuja ovat hyvä kuvanlaatu ja monissa muissa tekniikoissa esiintyvien haamukuvien puuttuminen. Ongelmia ovat puolestaan välkkyminen ja kuvan kirkkauden vähentyminen sulkijoiden takia. Lisäksi järjestelmien vaatiman tarkan tahdistuksen ja tarpeeksi nopean kuvataajuuden yhdistelmän toteuttaminen on haasteellista. [15]

### **3.2.2. Pään kiinnitettävät näytöt**

Aktiivitekniikoihin luetaan myös pään kiinnitettävät näytöt (Head-mounted display, HMD), joissa on erillinen pieni näyttö kummallekin silmälle. Tällöin erillistä sterokanavien suodatusta ei tarvita, vaan kummallekin silmälle voidaan suoraan näyttää omaa kuvaansa. Näytöt perustuvat yleensä LCD tai OLED-tekniikkaan ja sisältävät optiikkaa jolla kuvat saadaan kohdistettua silmille. HMD-näyttöihin voidaan helposti liittää pään liikkeitä seuraava sensori, jolloin voidaan näyttää usean näkymän kuvaa käyttäjän katselusuuntaan perustuen. [18]



*Kuva 9: HMD-näyttö eMagin Z800 [18]*

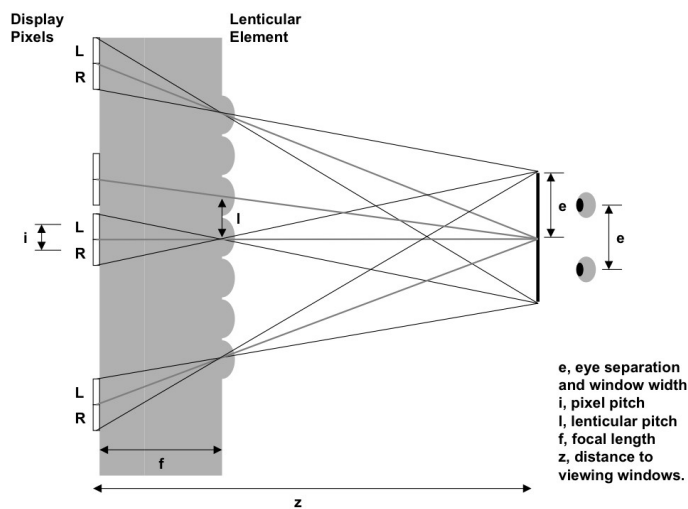
HMD-näytöt olivat muodissa 1990-luvulla ja niitä valmisti moni suuri valmistajalta kuten Sony ja Canon. Myöhemmin näytöt hävisivät markkinoilta. Joitakin malleja on kuitenkin edelleen myynnissä. HMD-näyttöjen ongelma on suhteellisen pieni resoluutio. [18]

## 4. Autostereoskooppiset tekniikat

Autostereoskooppisissa tekniikoissa kolmiulotteisen vaikutelman saaminen ei vaadi katsojan käyttämiä apuvälineitä kuten laseja. Tämä on merkittävä etu stereoskooppisiin tekniikoihin verrattuna. Autostereoskooppiset tekniikat ovat haasteellisempia toteuttaa kuin stereoskooppiset tekniikat ja toistaiseksi harvinaisempia. [19]

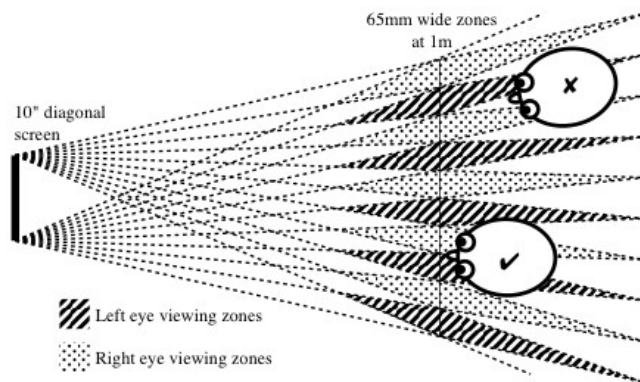
### 4.1. Lentikulaariset linssit

Lentikulaarisiin linssihin perustuvassa tekniikassa stereokuvan kanavat erotetaan näyttöpinnassa olevien mikrolinssien avulla (kuva 10). Kuvalähteenä voi olla esimerkiksi LCD-näyttö tai projektorit. Kahden näkymän LCD-näytössä pikselisarakkeet vuorottelevat stereokanavia (kuva 10). [8] [20]



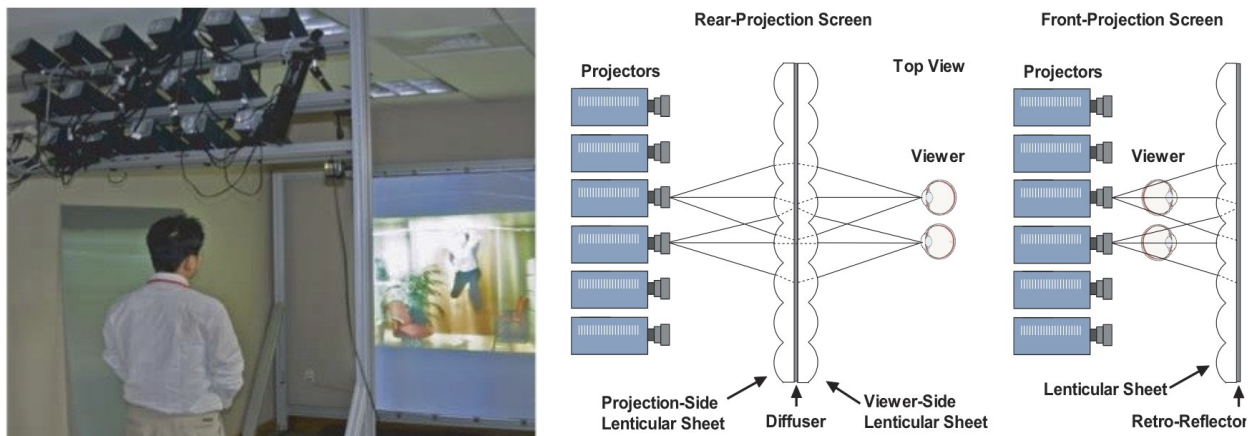
Kuva 10: Lentikulaarisen LCD-näytön toimintaperiaate [4]

Lentikulaarisessa tekniikassa näyttöpinnan eteen muodostuu vasemmalle ja oikealle silmälle tarkoitettuja katselualueita. Katsojan tulee olla oikeassa kohdassa ja oikealla etäisyydellä nähdäkseen stereokuvan oikein. Kuvassa 11 on merkitty väärin ja oikein positioitunut katsoja. [8]



Kuva 11: Lentikulaarisen stereonäytön katselualueet [8]

Lentikulaaristen linssien avulla on mahdollista näyttää myös usean näkymän kolmiulotteista kuvaa, jossa linssit heijastavat eri kuvia eri suuntiin. Esimerkiksi W. Matusik ja H. Pfister ovat tutkimuksessaan kehittäneet 16 projektoriin perustuvan 16-näkymän järjestelmän (kuva 12). Järjestelmää on mahdollista käyttää joko taustaprojisoituna diffuuserin avulla tai etuprojisoituna heijastavan kerroksen kanssa. Järjestelmään kuuluu myös näytettäväksi sopivaa videokuvaa syöttävä 16 kameran kamerajärjestelmä. [6]



Kuva 12: Projektoreihin perustuva lentikulaarinen 16 näkymän näyttöjärjestelmä [6]

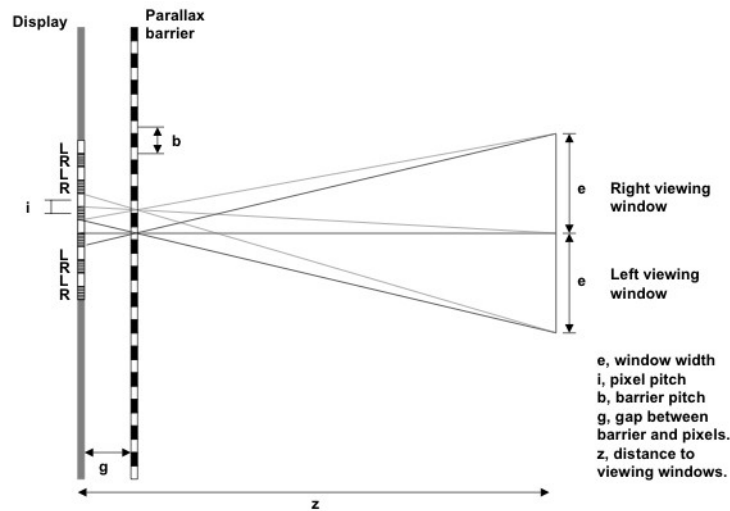
Lentikulaarisia linssejä on hyödynnetty myös sarjatuotantoon suunnatuissa järjestelmissä. Esimerkiksi Philips kehitti lentikulaarisia linssejä LCD-näytössä käyttävän WOWvx 3D-tekniikan. Tekniikkaa käyttävä 42-tuumainen näyttö oli jo myynnissä, mutta Philips lopetti mallin valmistuksen ja tekniikan kehityksen vuonna 2009. [21]

Lentikulaaristen järjestelmien ongelmana on vaatimus katsojan positiointiin katselualueelle siten, että vasemman ja oikean silmän katselualueet ovat kohdallaan. Ongelmaa on pyritty ratkaisemaan esimerkiksi käyttäjän positiota seuraamalla ja katselualueiden muuttamisella vastaavasti. Tällöin pystytään tosin yleensä näyttämään kuvaa vain yhdelle katsojalle kerrallaan. LCD-näyttöjen kanssa ongelmana on myös heikko resoluutio, kun näyttöjen pikselit joudutaan jakamaan eri näkymien kesken, varsinkin usean näkymän järjestelmissä. [8]

## 4.2. Parallaksi-este

Parallaksi-este (parallax barrier) on näytön edessä käytettävä hilamainen suodatin (kuva 13), joka on toimintaperiaatteeltaan lähellä lentikulaarisia linssejä. Parallaksi-este mahdollistaa vain stereokuvan näyttämisen. [4] [22]

Parallaksi-este saa aikaan saman tyypiset stereokanavittain jakautuneet katselualueet kuin lentikulaariset linssit. Näin ollen myös sen ongelmana on vaatimus käyttäjän oikeaan positiointiin. Parallaksi-esteen etuna on sen yksinkertaisuus ja edullisuus. Haittapuolena ovat lisäksi kirkkauden vähentyminen suodattimen takia ja diffraktio-ongelmat. [4]

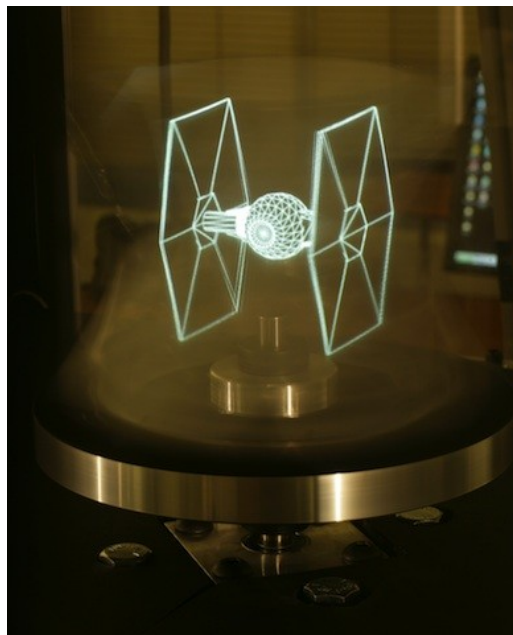


Kuva 13: Parallaksi-esteen toimintaperiaate [4]

### 4.3. Volumetriset näytöt

Volumetrinen näyttö on kolmiulotteisia pikseleitä, eli vokseleita [23], esittävä näyttö. Volumetriset näytöt ovat useimmiten vapaasti katsottavia. Eräitä tekniikoita volumetrisen näytön toteuttamiseksi ovat pulssilaseri ja pyörivät näytöt. Kolmiulotteiset hologrammit voidaan myös käsittää volumetrisiksi näyttölaitteiksi. Volumetristen näyttöjen kehitys on vielä melko varhaisessa vaiheessa, eikä eri tyyppisille tekniikoille ole muodostunut selkeää kategorisointia. [24]

Esimerkkinä volumetrisestä näytöstä Etelä-Kalifornian yliopisto on luonut prototyypin, jossa 360 asteen kolmiulotteinen projektio saadaan aikaan nopeasti pyörivän peilin ja videoprojektorin avulla. Näytössä on eri näkymä 1,25 asteen välein ja sen päivitysnopeus on yli 5000Hz. [25]



Kuva 14: Etelä-Kalifornian yliopiston volumetrinen näyttö [25]

## 5. Yhteenveto

Kolmiulotteisen havaitsemisen perusta on ihmisen syvyysnäkö. Tärkeimmät kolmiulotteisen vaikutelman aikaansaajat ovat binokulaariset vihjeet sekä liikeparallaksi. Binokulaariset vihjeet perustuvat siihen, että ihminen havaitsee kummallakin silmällään hieman eri kuvan.

Liikeparallaksissa puolestaan katsojan tai katsottavan kappaleen liikkeessa kappalesta tehty havainto muuttuu, minkä perusteella aivot pystyvät päättämään tietoa kappaleen kolmiulotteisuudesta.

Kolmiulotteiset näytöt jakaantuvat näkymien määrän mukaan stereonäyttöihin, usean näkymän näyttöihin sekä vapaasti katseltaviin. Nyt yleisessä käytössä olevilla tekniikoilla näytetään stereokuvaa, jolla ei vielä pystytä vastaamaan liikeparallaksiin.

Kolmiulotteiset näyttötekniikat jakaantuvat kahteen pääryhmään: silmien eteen asetettaviin lasihin perustuviin stereoskooppisiin tekniikoihin sekä ilman apuvälineitä toimiviin autostereoskooppisiin tekniikoihin. Stereoskooppiset tekniikat ovat toistaiseksi helpommin toteutettavissa ja yleisempiä. Uskon kuitenkin stereoskooppisten tekniikoiden olevan vain välivaihe ennen autostereoskooppisten järjestelmien kehittymistä ja yleistymistä.

3D-televisiosta ennustetaan seuraavaa suurta mullistusta viihdeteknologian alueella. [26] Aktiivisiin sulkijalaseihin perustuvia kolmiulotteisia televisiojärjestelmiä on tulossa myyntiin monilta suurilta televisiovalmistajilta. Järjestelmissä on käytössä eri valmistajien suljettuja tekniikoita ja käytettävien lasien epäyhteensopivuus saattaa muodostua ongelmaksi. Tähän on kuitenkin luvattu muutosta, ja kehitteillä on niin eri tekniikoiden kanssa yhteensopivia laseja [27] kuin standardejakin [26].

Kolmiulotteista materiaalia 3D-televisioilla katsottavaksi on myös luvassa nopeasti kasvava määrä. Ensimmäiset kolmiulotteiset TV-kanavat ovat aloittaneet tänä vuonna, ja kolmiulotteisia blu-ray-levyjäkin on tulossa myyntiin. Tietokoneiden kolmiulotteista grafiikkaa, kuten pelejä, ei sovi myöskään unohtaa. Kolmiulotteiset näytöt ovat ennemmin tai myöhemmin tulossa myös tietokonemaailmaan. Tulevaisuus on kolmiulotteinen.

## Lähteet

- 1: Wikipedia, Stereogram, <http://en.wikipedia.org/wiki/Stereogram>
- 2: Wikipedia, View-Master, <http://en.wikipedia.org/wiki/View-Master>
- 3: Wikipedia, 3-D film, [http://en.wikipedia.org/wiki/3-D\\_film](http://en.wikipedia.org/wiki/3-D_film)
- 4: N. Holliman, 3D Display Systems, 2002, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.15.2146&rep=rep1&type=pdf>
- 5: Wikipedia, Depth perception, [http://en.wikipedia.org/wiki/Depth\\_perception](http://en.wikipedia.org/wiki/Depth_perception)
- 6: W. Matusik, H. Pfister. 2004. 3D TV: A Scalable System for Real-Time Acquisition, Transmission and Autostereoscopic Display of Dynamic Scenes. SIGGRAPH. Vol. 23. s. 811-821
- 7: Henrik Haggrén, Luento 2: Stereoskopia, <http://foto.hut.fi/opetus/300/luennot/2/2.html>
- 8: N. A. Dodgson, J. R. Moore, S. R. Lang, Multi-view autostereoscopic 3D display, 1999, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.6.539>
- 9: Wikipedia, Stereoscopy, <http://en.wikipedia.org/wiki/Stereoscopy>
- 10: Wikipedia, Anaglyph image, [http://en.wikipedia.org/wiki/Anaglyph\\_image](http://en.wikipedia.org/wiki/Anaglyph_image)
- 11: Google Lat Long Blog, Google physicists discover extra dimension in Street View, <http://google-latlong.blogspot.com/2010/04/google-physicists-discover-extra.html>
- 12: Wikipedia, Polarized 3D glasses, [http://en.wikipedia.org/wiki/Polarized\\_3D\\_glasses](http://en.wikipedia.org/wiki/Polarized_3D_glasses)
- 13: Wikipedia, RealD Cinema, [http://en.wikipedia.org/wiki/Real\\_D\\_Cinema](http://en.wikipedia.org/wiki/Real_D_Cinema)
- 14: Wikipedia, Alternate-frame sequencing, [http://en.wikipedia.org/wiki/Alternate-frame\\_sequencing](http://en.wikipedia.org/wiki/Alternate-frame_sequencing)
- 15: Wikipedia, Liquid crystal shutter glasses, [http://en.wikipedia.org/wiki/LCD\\_shutter\\_glasses](http://en.wikipedia.org/wiki/LCD_shutter_glasses)
- 16: Wikipedia, XpanD 3D, [http://fi.wikipedia.org/wiki/XpanD\\_3D](http://fi.wikipedia.org/wiki/XpanD_3D)
- 17: Sony Global, 3D world, [www.sony.net/united/3D/](http://www.sony.net/united/3D/)
- 18: Wikipedia, Head-mounted display, [http://en.wikipedia.org/wiki/Head-mounted\\_display](http://en.wikipedia.org/wiki/Head-mounted_display)
- 19: Wikipedia, Autostereoscopy, <http://en.wikipedia.org/wiki/Autostereoscopy>
- 20: Wikipedia, Lenticular lens, [http://en.wikipedia.org/wiki/Lenticular\\_lens](http://en.wikipedia.org/wiki/Lenticular_lens)
- 21: Wikipedia, WOWvx, <http://en.wikipedia.org/wiki/WOWvx>
- 22: Wikipedia, Parallax barrier, [http://en.wikipedia.org/wiki/Parallax\\_barrier](http://en.wikipedia.org/wiki/Parallax_barrier)
- 23: Wikipedia, Voxel, <http://en.wikipedia.org/wiki/Voxel>

24: Wikipedia, Volumetric display, [http://en.wikipedia.org/wiki/Volumetric\\_display](http://en.wikipedia.org/wiki/Volumetric_display)

25: USC Institute for Creative Technologies , Rendering for an Interactive 360° Light Field Display,  
<http://gl.ict.usc.edu/Research/3DDisplay/>

26: Wikipedia, 3D television, [http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_television](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_television)

27: Jarmo Pitkänen, Tietokone-lehti, Xpand lupaa geneerisiä 3d-laseja,  
[http://www.tietokone.fi/uutiset/xpand\\_lupaa\\_geneerisia\\_3d\\_laseja](http://www.tietokone.fi/uutiset/xpand_lupaa_geneerisia_3d_laseja)