

Panu Pirneskoski

Virtuaaligrafiikka urheilutuotannossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Mediatekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

25.4.2013

Tekijä Otsikko	Panu Pineskoski Virtuaaligrafiikka urheilutuotannossa
Sivumäärä Aika	35 sivua 25.4.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	mediatekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	digitaalinen media
Ohjaajat	operatiivisen toiminnan johtaja Marko Valkonen yliopettaja Harri Airaksinen
<p>Insinööriyöni tarkoitus oli tutustua virtuaaligrafiikkatekniikkaan television urheilulähetyskäytössä ja testata asiakasyrityksen virtuaaligrafiikkaohjelmistoa. Insinööriyö tehtiin kansainvälisen, televisiografiikkaan erikoistuneen yrityksen Suomen osastolle. Yritys halusi tutustua paremmin kehittämäänsä virtuaaligrafiikkaohjelmistoon, joka on jo ollut käytössä muiden maiden tuotannoissa, mutta Suomessa tekniikka oli vielä tuntematonta.</p> <p>Yrityksen toimitiloihin rakennettiin testausympäristö, johon kuului kamera ja grafiikkakone. Kamerasihtaalini päälle luotiin yrityksen ohjelmistolla virtuaaligrafiikkaa, ja kameraa liikuttamalla testattiin erilaisia kameraseurantatekniikoita. Ohjelman kameraseurantatekniikat pohjautuvat kuvatunnistukseen ja seurantapisteisiin, joita ohjelma etsii automaattisesti. Virtuaaligrafiikkaa testattiin myös jääkiekko-otteluista nauhoitettujen videopätkien kanssa, jolloin voitiin tutkia, kameraseurannan lisäksi, virtuaaligrafiikan käyttäytymistä pelaajien liikkeessa niiden päällä.</p> <p>Toinen testiympäristö rakennettiin tuotantotalon studiotiloihin. Studioympäristössä tavallisten virtuaaligrafiikan, kuten kuvien ja videoiden, lisäksi testattiin lähetysohjelmasignaalin käyttämistä virtuaaligrafiikkana. Kameran ja kahden grafiikkakoneen muodostamassa testiympäristössä toisella grafiikkakoneella luotiin täyttösignaali, joka tuotiin toiseen koneeseen ja ajettiin ulos virtuaaligrafiikkana.</p> <p>Testeistä voitiin päätellä, että yrityksen tuotteella saadaan tuotettua laadukasta virtuaaligrafiikkaa, mutta etenkin kameroiden seurantatekniikoissa on vielä puutteita. Virtuaaligrafiikka ei pysy välttämättä paikoillaan, jos ohjelma ei tunnista riittävästi seurantapisteitä. Kameraan asennettavien anturien avulla kameraseuranta olisi varmempaa, mutta anturitekniikka on erittäin kallista.</p> <p>Insinööriyö auttaa yritystä tulevaisuudessa virtuaaligrafiikkaa sisältävien asiakastilausten hinnoittelussa ja suunnittelussa. Työtä voidaan käyttää myös uusien työntekijöiden kouluttamisessa.</p>	
Avainsanat	virtuaali, televisio, grafiikka, kameraseuranta

Authors Title	Panu Pirneskoski Virtual graphics in Sports Broadcasting
Number of Pages Date	35 pages 25 april 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Media Technology
Specialisation option	Digital Media
Instructors	Marko Valkonen, Chief Operating Officer Harri Airaksinen, Principal Lecturer
<p>The main purpose of this Bachelor's Thesis was to gain knowledge about the usage of virtual graphics in sports broadcast production and also to test the virtual graphic production solution from the client company. This thesis was made for a Finnish unit of a company known internationally for their solutions in Television broadcast solutions. The Finnish unit wanted firsthand experience of the company's own virtual graphic solution that had been used internationally but was relatively unknown in Finland.</p> <p>A test environment consisting of a camera and a graphics computer was built inside the company's office space. The company's own virtual graphics were created and placed on the video feed from the camera. It was then possible to test out different camera tracking types by moving the camera around. The virtual graphic solution uses picture recognition and automatically selects tracking points to track the camera. Virtual graphics were also tested using prerecorded video footage from an ice hockey match and with that it was possible to test the behavior of virtual graphics during game play which included player and camera movement.</p> <p>Another test environment was created inside the premises of a production house. In this studio environment a normal television graphics signal was brought to virtual graphics program and used as virtual graphics. In this test two graphics computers and a camera signal were connected so that a fill signal was created with one computer and the signal was then brought to another computer with the virtual graphic solution and broadcasted as virtual graphics.</p> <p>With these tests it was possible to make the conclusion that the virtual graphics solution of this particular company could be used to create impressive graphics but the image based camera tracking is not bullet proof. Image based camera tracking depends greatly on the program's ability to find tracking points from the camera image. Low number of tracking points may cause the graphics to shake or to wander around the picture.</p> <p>This bachelor's thesis will help the client company to train new employees and also to plan and to put price on future orders including virtual graphics solutions.</p>	
Keywords	virtual, graphics, broadcast, television, camera tracking

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Televisiografiikka urheilulähetyksissä	2
2.1	Televisiografiikan historia	3
2.2	Urheilulähetyksen tuotanto	6
2.3	Televisiolähetyksen grafiikka	10
2.4	Televisiografiikkaohjelmia	10
2.5	Avainnustekniikka	13
3	Virtuaaligrafiikka	15
3.1	Virtuaaligrafiikan teoria	15
3.2	Virtuaaligrafiikan historia	17
3.3	Virtuaaligrafiikan tekniikka	18
3.4	Virtuaaligrafiikkaohjelmia	19
3.5	Virtuaaligrafiikka urheilutuotannossa	26
4	Virtuaaligrafiikan testaus	29
5	Yhteenveto	30
	Lähteet	32

1 Johdanto

Sain insinööriyön aiheen, virtuaaligrafiikka urheilutuotannossa, tilauksena vuonna 1969 Ruotsissa perustetulta Hego Group Oy:ltä, joka toimii maailmanlaajuisesti erilaisten urheilusovellusten kehittäjänä ja grafiikkapalvelujen tarjoajana. Insinööriyö tulee Suomen Hego Groupin osastolle, joka on kasvanut tasaisesti perustamisvuodestaan 1995 lähtien ja on yksi suurimmista toimijoista alallaan.

Televisiografiikan ala kasvaa jatkuvasti Suomessa, kun erilaisia käyttökohteita tulee lisää. Vaikka resurssit Suomessa ovat rajalliset, erilaisia graafisia ratkaisuja kehitetään jatkuvasti lähetysten monipuolistamiseksi. Tavallisen televisiografiikan ja kosketusnäytötekniikan rinnalle on kehitetty virtuaalitekniikkaa monipuolistamaan televisiolähetystä. Varsinkin Ruotsissa ja Tshekeissä paljon käytetty virtuaalitekniikka on Suomessa vielä melko tuntematonta, mutta sen käyttömahdollisuudet ovat laajat. Tutkin insinööriyössä virtuaaligrafiikan käyttömahdollisuuksia osana televisiolähetystä. Keskityn lähinnä virtuaalitekniikan sovellukseen urheilulähetyksissä.

Televisiolähetykset hyödyntävät nykypäivänä kaikkia graafisen tuotannon alueita. Lähetyksissä voi nähdä tekstejä, kuvia, taulukoita, animaatioita ja 3D-graafiikkaa. Grafiikka on myös hyvin kiinteä osa urheilulähetystä, sillä sen tarjoama visuaalinen ja informatiivinen sisältö on hyvin merkittävä osa katsojan saamasta katselukokemuksesta. Insinööriraportin ensimmäinen osa käsittelee tarkemmin televisiografiikan tuotantoa.

Insinööriyön suunnitteluvaiheessa tarkoituksena oli rakentaa virtuaaligrafiikkaan perustuva grafiikkaprojekti, joka sisältäisi grafiikkaelementtien koostamisen ja testauksen. Hego ei kuitenkaan ollut vielä kevääseen 2013 mennessä saanut virallista virtuaaligrafiikan tilausta, joten insinööriyö keskittyy virtuaaligrafiikkatekniikan teknisten vaatimusten ja mahdollisuuksien kartoittamiseen, jotta asiakastilausten mitoittaminen ja hinnoittelu helpottuisi tulevaisuudessa.

Aluksi tarkoitus oli testata virtuaaligrafiikkaa hyödyntäen antureiden avulla suoritettavaa kameraseurantaa, mutta uuden tekniikan myötä alkuperäinen suunnitelma muuttui testiympäristön rakentamiseen. Testiympäristö mahdollistaisi Hegan kehittämän virtuaali-

tekniikkasovelluksen testauksen ja auttaisi kartoittamaan erilaisten virtuaaligrafiikkaprojektien vaatimaa laitteistoa.

2 Televisiografiikka urheilulähetyksissä

Nykypäivänä olisi vaikea kuvitella jalkapallo-ottelua ilman ruudun yläkulmassa juoksevaa kelloa tai yleisurheilukisoja ilman tulostaulukoita ja osanottajalistoja. Erilaiset graafiset kuvat ja tekstit ovat nykyään arkipäivää urheilutuotannossa, koska ne saavat katsojan kiinnittymään tapahtumiin tarkemmin ja selostajan ohella syventävät tapahtumasta saatua elämystä. Graafiset elementit, kuten teksti, kuvat ja liikkuvat animaatiot, vaikuttavat myös siihen, kuinka hyvin katsojat ymmärtävät pelitapahtumia.

Julia R. Fox, Annie Lang, Yongkuk Chung, Seungwhan Lee, Nancy Schwartz ja Deborah Potter [1] tutkivat kahden eri-ikäisen ihmisryhmän avulla grafiikan vaikutusta uutisten ymmärtämiseen ja muistamiseen. Tutkimuksen mukaan animoitu grafiikka auttoi sekä nuorempia että vanhempia ihmisiä ymmärtämään vaikeita tieteellisiä uutisia paremmin, koska grafiikka helpotti aivojen kapasiteetin jakoa ja vanhan tiedon noutamista muistista. Tekstigrafiikka auttoi nuoria tallentamaan ja vanhoja muistamaan uutiset paremmin, mutta tekstigrafiikan aikana katsojien mielenkiinto ei pysynyt samalla tasolla animoidun grafiikan kanssa. Vaikeasti ymmärrettävien uutisten aikana grafiikka auttoi nuoria käsittelemään, tallentamaan ja muistamaan uutisten tapahtumia paremmin. Vanhempia ihmisiä grafiikka auttoi uutisten tallennuksessa ja muistamisessa. [1.]

Mainitun tutkimuksen pohjalta voidaan olettaa, että grafiikka helpottaa huomattavasti myös urheilusuoritusten muistamista ja käsittelyä. Jos selostuksen apuna urheilutapahtumissa käytetään grafiikkaa, on tapahtumista saatua informaatiota helpompi muistaa ja käsitellä, jos verrataan pelkän selostajan avulla saatuun tietoon. Esimerkiksi jalkapallo-otteluiden alussa nähtävät pelaajalistat ja kokoonpanot helpottavat huomattavasti pelaajien nimien muistamista kesken ottelun. Erilaiset piste-ennätykset ja tilastot pysyvät myös huomattavasti paremmin muistissa, kun ne esitetään graafisesti ruudulla ja mahdollisesti päivitetään pelin edetessä.

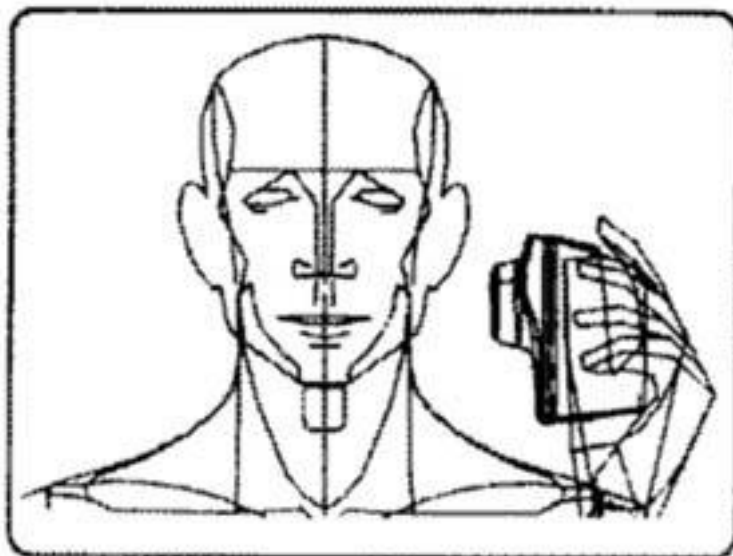
2.1 Televisiografiikan historia

Televisiografiikan historia alkaa filmenteollisuuden puolelta, jolloin grafiikkaa tehtiin käsin tai suoraan filmille. Ennen tietokoneiden tuloa grafiikan teko oli hyvin aikaa vievää ja kallista. Elokuvagrafiikan uranuurtajana pidetään Saul Bassia, joka suunnitteli 1950-luvulla elokuvien avaustekstejä 21 elokuvaan, kuten esimerkiksi Vertigoon (kuva 1) ja Psychoon [2].



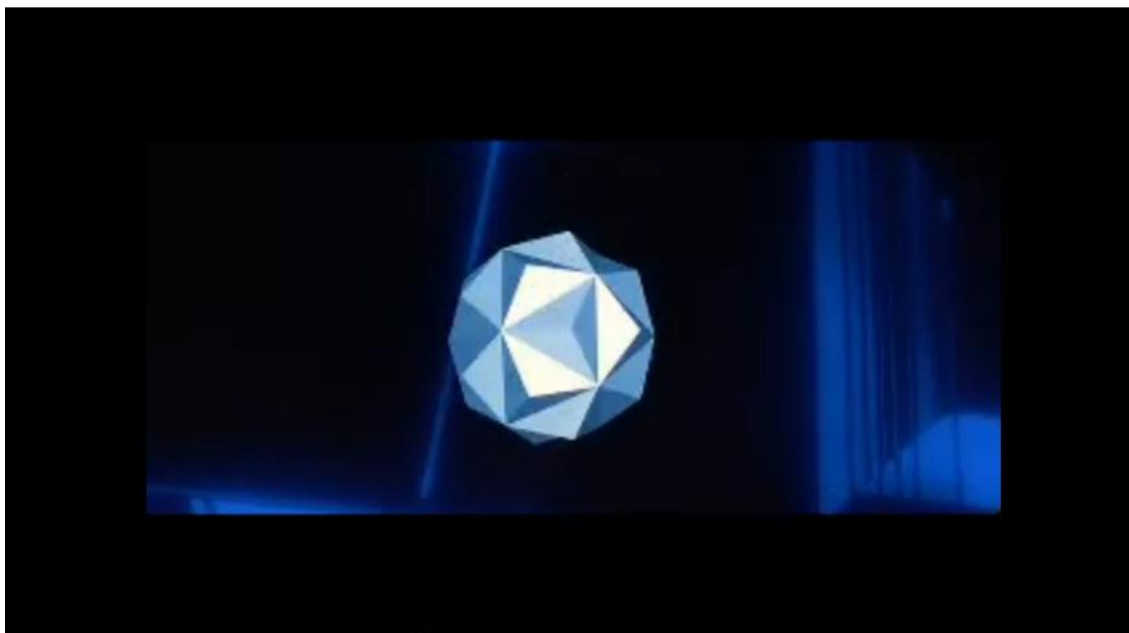
Kuva 1. Saul Bassin luoma Vertigon avausteksti [3].

William Fetter kehitti termin tietokonegrafiikka työskennellessään Boeing-yhtiölle vuonna 1960. Vuonna 1970 Fetter muutti työskentelemään Los Angelesiin, jossa hän loi yhden ensimmäisistä oikeissa mittasuhteissa olleista graafisista televisiomainoksista [4]. Kuvassa 2 näkyy Fetterin Norelco-yhtiölle luoman mainoksen hahmo oikeissa mittasuhteissa.



Kuva 2. William Fetterin luoma mainos Norelco-yhtiölle [4].

Vuonna 1978 perustettiin yksi ensimmäisistä tietokonegrafiikkaan erikoistuneista yrityksistä, kun Digital Effects aloitti toimintansa New Yorkissa [2]. Digital Effect työskenteli elokuvateollisuudessa ja toimitti grafiikkaa maanlaajuisiin televisiomainos- ja promootiolähetysiin. Yksi tunnetuimmista elokuvista on Tron, johon Digital Effects kehitti sekä alkutekstit että kuvassa 3 esiintyvän Bit-hahmon [5].



Kuva 3. Bit-hahmo elokuvasta Tron (1982) [5].

1980-luvulta lähtien tietokonekehitys ja graafiset käyttöliittymät mahdollistivat tehokamman ja tarkemman työskentelyn. Etenkin Adoben kehittämät ohjelmistot ja Applen tietokoneet nousivat pinnalle ja muodostivat tärkeän osan graafisen suunnittelun kehityksessä nykypäivään asti. 1990-luvulla 3D-grafiikka toi uusia mahdollisuuksia kehittäjille, ja ensimmäiset kokonaan tietokoneella luodut animaatiot ilmestyivät teattereihin. [2.]

Ennen tietokonegrafiikkaa televisiotuotannossa oli käytetty graafisena apuna vain yksittäisiä kuvia, videokuvaa tai fyysisiä kuvia lavasteissa. Kun ohjelmisto- ja laitekehitys mahdollisti grafiikan tuotannon yksittäisen tietokoneen avulla, myös televisiotuotannossa siirryttiin käyttämään grafiikkaa laajemmin. Derek Walker mainitsee tutkielmassaan *Evolution of Broadcast graphics* [2], että vuonna 1988 jo 78 % kaikista uutisista Yhdysvaltojen kolmella suurimmalla kanavalla käytti apunaan jonkinlaista grafiikkaa esitellessään uutisen tai jonkin osan uutisesta. Kuvassa 4 uutisaiheen sisältöä, eli ruuan hinnannousua, on tuotu esiin myös graafisesti, jotta katsoja käsittää asian paremmin.



Kuva 4. ABC-yhtiön vuoden 1988 uutislähetys [7].

1970-luvulla televisioyhtiö ABC:n tuottaja Roone Arledge muutti television urheilutuotannon lisäämällä ohjelmiin taustatarinoita, värikkäitä hahmoja ja grafiikkaa. Arledgen asettamaa uutta standardia seurasivat pian muut televisioyhtiöt ja näiden rinnalle nousseet, vain urheiluun keskittyneet kanavat, kuten ESPN. [2.]

2.2 Urheilulähetyksen tuotanto

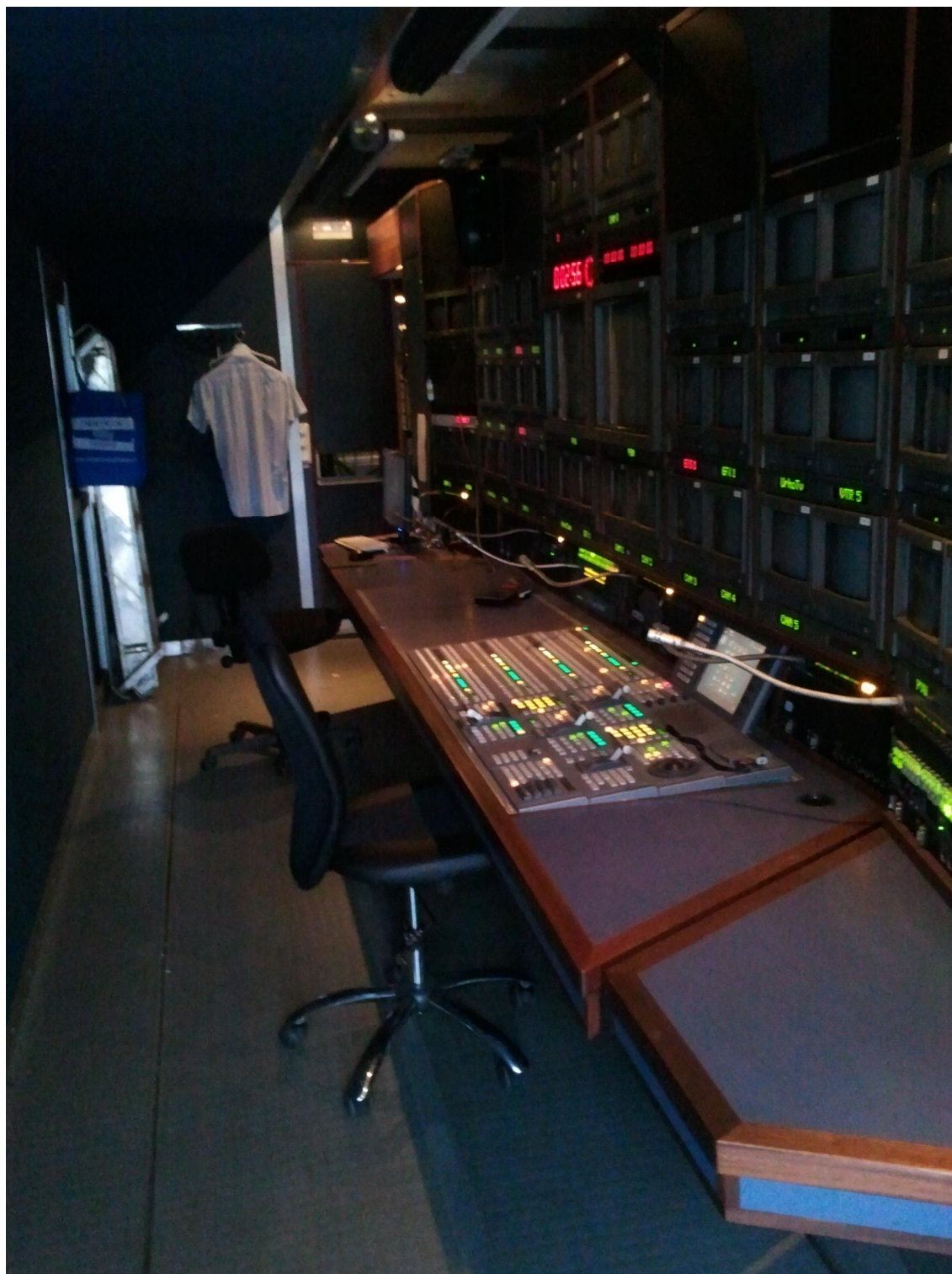
Kotimaiset urheilulähetyksen tehdään pääasiallisesti ulkotuotantoina, mikä tarkoittaa kaiken kaluston ja tekniikan siirtämistä lähetyspaikkakunnalle. Tuotantojen ytimenä toimii ulkotuotantoauto, jonka sisältä löytyvät kaikki lähetyksen koostamiseen tarvittavat laitteet ja tekniikat. Ulkotuotantoautot vaihtelevat pakettiautoista suuriin kuvan 5 kaltaiisiin rekkoihin, mutta niiden sisältämä tekniikka on periaatteessa yhtäläistä. Kuvassa 5 näkyvä tuotantoauto on siis isokokoinen rekka, jonka avautuvassa kontissa sijaitsevat tuotantotilat.



Kuva 5. Televisiotuotannossa käytetty ulkotuotantoauto.

Tuotantotiloista löytyvät kameroiden kontrolliyksiköt, hidastimet, nauhurit, kuva- ja äänimikseri ja yleensä myös grafiikkalaitteisto. Kuvassa 6 näkyvät kuvan 5 tuotantoauton tuotantotilat. Kuvan 5 autossa on vielä erillinen tila äänitarkkailijalle ja äänimikserille. Tämän lisäksi kuvassa 6 näkyvien monitorien takana sijaitsevat tilat hidastimelle ja kuvatarkkailulle. Kuvassa 6 keskellä ovat kuvamikseri ja monitorit, joista miksaaja tai ohjaaja voi tarkkailla eri videolähteiden kuvia ja grafiikkaa ennen ulosleikkausta. Graafikon toimipiste ja tietokoneen näyttö näkyvät kuvan 6 pöydän päädystä, itse grafiikkakone on upotettu auton sisään. [8.]

Isoissa tuotannoissa, kuten amerikkalaisessa Super Bowlissa, useita ulkotuotantoautoja voidaan myös liittää yhteen, jolloin tuotannon eri osa-alueita voidaan jakaa tietyille autoille ja näiden osien hallinta helpottuu. Esimerkiksi yhdessä autossa koostetaan hidastuksia, toisessa tehdään studio-osuudet ja kolmannessa seurataan kentän tapahtumia.



Kuva 6. Kuvan 5 ulkotuotantoauton tuotantotilat.

Ulkotuotantoautoon liitetään kaikki kamerat, jolloin kamerat saavat sekä virran että komennon ulkotuotantoautossa sijaitsevista CCU:ista (Camera Control Unit) eli kameraohjausyksiköistä. Kameroiden lähettämä kuvasignaali saapuu autoon kamerasignaalin ohjaus-

yksiköiden kautta. Kameran ohjausyksiköt muuntavat kamerasygnaalin SDI-sygnaaliksi, jotta sitä voidaan käsitellä muilla laitteilla. Lisäksi kameran ohjausyksiköt antavat kame-roille pulssigeneraattorin luoman tahdin. Tahti jaetaan kaikille laitteille, jotta ne olisivat samassa tahdissa. Eri tahdissa kulkevat sygnaalit voisivat aiheuttaa kuvaan vääristy-miä, tai ne voisivat ilmaantua kuvaan väässä kohdassa. Kameran ohjausyksikön jäl-keen kuvasygnaalit lähetetään eteenpäin matriisien kautta eri laitteille, jolloin sygnaaleja voidaan muokata tai yhdistää. Kamerasygnaalit ohjataan esimerkiksi kuvatarkkaamoon, jossa tarkkaillaan ja korjataan kameroiden väriarvoja ja valkotasapainoa. Tämän lisäksi videosygnaalit ohjataan hidastimelle, jolla videokuvaa voidaan hidastaa tai nauhoittaa talteen. Kaikki kamerasygnaalit ohjataan myös kuvamikserrille, jolla kuvamiksaaja yhdis-tää eri sygnaaleja, myös grafiikkasygnaalin, ja ajaa ulos lähetykseen ohjaajan haluaman kuvan. Uloslähetyksessä kuvasygnaali pakataan ja lähetetään erillisen satelliittiauton kautta lähetykseskukseen ja sieltä eteenpäin katsojien vastaanottimiin. [8.]

Grafiikkalaitteisto sijaitsee siis usein ulkotuotantoautossa, mutta välillä, esimerkiksi auton tilanpuutteen takia, grafiikka voidaan ajaa erillisestä grafiikka-autosta, joka on yhteydessä ulkotuotantoautoon. Tällöin grafiikka-auto yhdistetään tuotantoautoon, jotta avainnus- ja täyttösygnaalit saadaan ajettua lähetykseen. Näistä sygnaaleista lisää lu-vussa 2.5. Lisäksi autosta saadaan tuotua tahdistussygnaali grafiikalle.

Grafiikkaa ajetaan tietokoneelta, joka on yhteydessä auton pulssigeneraattoriin tahdin saamiseksi ja kuvamikserrin, jolla grafiikkasygnaali ajetaan ulos. Jos grafiikkaa ei vält-tämättä tarvita paikan päällä ottelupaikkakunnalla, grafiikka voidaan myös tehdä koko-naan toiselta paikkakunnalta. Tällöin tuotantoautosta tuleva kuvasygnaali lähetetään ensin toisella paikkakunnalla sijaitsevaan grafiikkakoneeseen, jolla kuvasygnaaliin yh-distetään grafiikkasygnaali, ja näistä syntyvä valmis lähetyssygnaali lähetetään eteen-päin lähetykseskukseen.

Joissain tapauksissa, kuten ulkomaisissa urheilulähetyksissä, on käytettävänä kansainvälinen kuva- ja äänisygnaali, jolloin Suomessa lähetykseen lisätään omat grafiikka-, kuva- ja äänisygnaalit. Esimerkiksi MTV:n Formula 1 -lähetyksissä videokuva ja kisapaikan äänet tulevat tuotantostudioon, jossa niiden päälle yhdistetään mikserillä suomalainen selostus ja suomenkielinen grafiikka, jota voivat olla esimerkiksi selostaji-en nimet tai veikkauskertoimet. Grafiikan lisäksi kansainvälisen kuvasygnaalin päälle

voidaan lisätä erilaisia nauhoitettuja osuuksia tai livehaastatteluja, jolloin kanavan omaa sisältöä voidaan liittää lähetykseen.

2.3 Televisiolähetyksen grafiikka

Osa tämän luvun tekstistä on jätetty pois julkisesta versiosta.

Televisiolähetyksissä näkyvä grafiikka tuotetaan tietokoneella, joka on valjastettu erityisesti lähetyksgrafiikan tuotantoon ja ulosajoon. Grafiikkakoneen komponentit on valittu huolellisesti, jotta ne tukevat toisiaan täydellisesti. Lisäksi niin rungon kuin komponenttienkin on kestävä räsitus, jota kohdistuu koneeseen ulkotuotantoauton liikkua ja mahdollisesti hyvin pitkien ja laitteistoa rasittavien tuotantojen aikana. [9, s.15.]

2.4 Televisiografiikkaohjelmia

Osa tämän luvun tekstistä on jätetty pois julkisesta versiosta.

Televisiografiikkaa tuotetaan lähetyksiin erillisillä CG- eli Character Generator -ohjelmilla. CG-ohjelmat tukevat yleensä tavallisia kuvankäsittely- ja 3D-ohjelmia, kuten Adoben Photoshopia tai Autodeskin 3DS Maxia, jolloin grafiikkaelementtejä voidaan tuoda CG-ohjelmaan. CG-ohjelmalla grafiikkaan lisätään tekstejä tai efektejä, joita tullaan käyttämään televisiolähetyksessä. CG-ohjelmilla pystyy myös toistamaan eli ajamaan grafiikkaa lähetykseen, joko suoraan itse ohjelmasta tai tähän tarkoitukseen suunnitellusta lisäohjelmasta. Tässä luvussa esittelen muutaman grafiikkaohjelman eri yrityksiltä.

Insinööriötä tehdessäni Hego yhdistyi yhdysvaltalaisen Chyron-grafiikkaohjelmistoyrityksen kanssa. Chyron tuottaa grafiikkaratkaisuja esimerkiksi uutisiin, urheiluun ja studioihin ja on voittanut useita Emmy-palkintoja tuotannostaan. [11.] Chyronin ohjelmistotarjonta sisältää esimerkiksi pilviteknologiaan pohjautuvan grafiikan jakeluohjelma Axis World Graphicsin [<http://www.chyron.com/solutions/news/cloud-based-graphics-production/axis-world-graphics>], XClyps-palvelinkoneen [<http://www.chyron.com/products/playout/xclyps>] videoiden tallentamiseen ja ulosajoon sekä

grafiikan tuotantoon tarkoitettua Hyper X3 -järjestelmän [<http://www.chyron.com/products/playout/hyperx>].

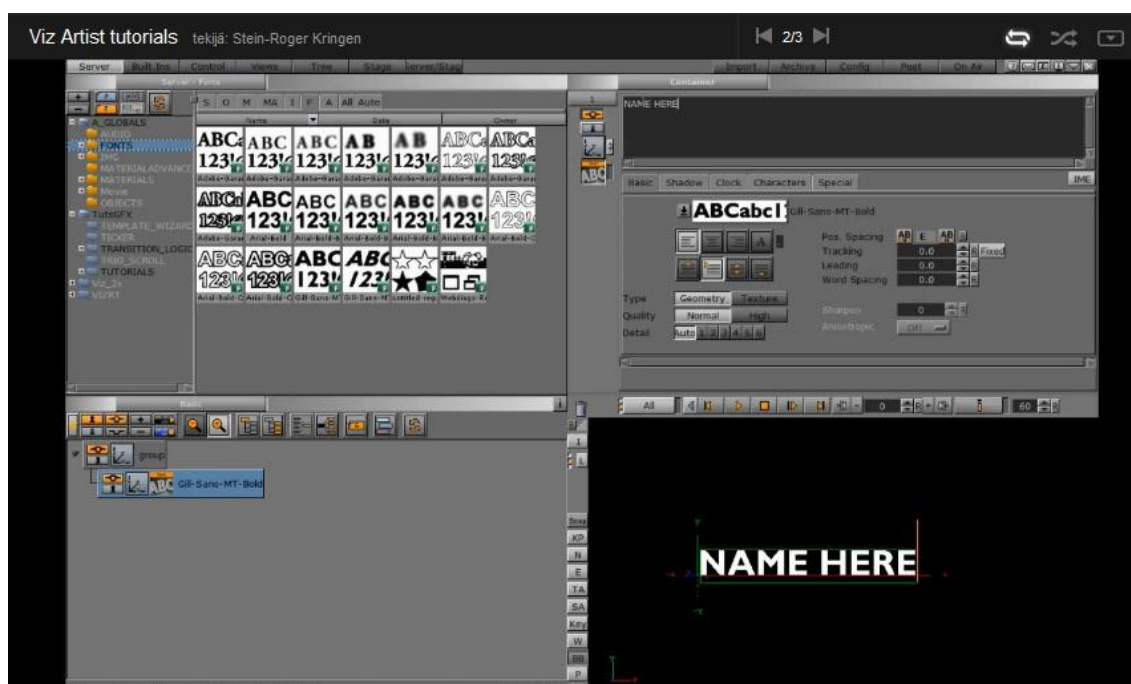
Chyron Hyper X3 on yhtiön oma moniytimellä ja kaksoisprosessorilla varustettu grafiikkajärjestelmä, jolla voidaan luoda ja päivittää lähetysohjelmaa. Järjestelmä sisältää Chyronin Lyric Pro 8.5 -ohjelman [<http://www.chyron.com/products/graphics-creation/lyric-pro>] grafiikan luontia ja ulosajoa varten. Järjestelmällä voidaan luoda 3D- ja 2D-grafiikkaa, kuten tekstejä ja logoja. Grafiikkaa muokataan graafisella käyttöliittymällä, ja valmis grafiikka voidaan ajaa ulos laajennusohjelman avulla klikkaamalla toivottua grafiikkaa listasta. Lyric Pro tukee suoraan Autodeskin 3D-ohjelmistoa ja Adoben Creative Suitea. Esimerkiksi Photoshopilla luotujen kuvien metadatan voidaan käyttää grafiikkaelementtien täytössä. Chyronin järjestelmällä 2D-grafiikasta voidaan luoda stereoskooppista 3D-grafiikkaa. Grafiikkaelementeistä voidaan myös tehdä yhteentoimivia kosketusnäyttöjen kanssa, jolloin grafiikkaa voidaan ohjata kosketusnäytöllä. [12.]

Norjalainen Vizrt ja sveitsiläinen LiberoVision loivat yhdistyessään urheilugrafiikkaan erikoistuneen yhtiön Viz Liberon [13], jonka ohjelmisto sisältää muun muassa urheilusuoritusten analysointiin tarkoitettua Viz Liberon [http://www.vizrt.com/products/viz_libero/], Viz Virtual Studio [http://www.vizrt.com/products/viz_virtual_studio/] virtuaalstudioita varten sekä Viz Trion [http://www.vizrt.com/products/viz_trio/] reaaliaikaisista grafiikantuo-
tantaan varten.

Viz Engine [http://www.vizrt.com/products/viz_engine/] tukee OpenGL-ohjelmointirajapintaa, joten se toimii erilaisten laitteistojen ja käyttöjärjestelmien kanssa. Viz Engine ja varsinaiseen grafiikan luontiin tarkoitettu Viz Artist [http://www.vizrt.com/products/viz_artist/] toimivat samalla tietokoneella ja kommunikoi-
vat keskenään. Viz Engine toimii tavallisen näytönohjaimen kanssa, mutta yhdistämällä laitteistoon videomikserin, saa käyttöönsä enemmän ulos- ja sisääntulosignaaleja. Synkronoimalla kaksi Viz Engineä voidaan 2D-grafiikasta tehdä stereoskooppista 3D:tä. [14.]

Viz Artistilla voidaan luoda 3D-grafiikan lisäksi 2D-grafiikkaa ja lisätä visuaalisia efektejä grafiikkaan. Viz Artistilla luotu grafiikka voidaan tuoda Viz Trioon, jossa sitä voidaan edelleen muokata. Viz Triossa grafiikka muokataan ulosajoa varten, eli grafiikkaele-

mentteihin lisätään esimerkiksi erisnimet ja grafiikan ulosajoa varten voidaan luoda ajolistoja. Kuva 8 on kuvakaappaus Viz Artistin käyttöliittymästä. Kuten kuvasta näkee, Artistin käyttöliittymä muistuttaa hieman videoeditointi- ja 3D-mallinnusohjelmia. Grafiikkaelementtejä, kuten tekstuureja, voidaan linkittää toisiinsa raahaamalla niitä päälekkäin. Näihin grafiikkapaloihin voidaan edelleen linkittää raahaamalla erilaisia attribuutteja, kuten fontteja ja värejä. [15.] Viz Artistin käyttö toimii siis hieman samaan tyyliin kuin esimerkiksi Autodeskin 3DS Maxin tekstuurityökalut.



Kuva 7. Viz Artist -käyttöliittymä [16].

Pixelpowerin Clarity-grafiikkaohjelma [http://www.pixelpower.com/international/products_clarity.html] tarjoaa kaikki tavalliset grafiikantuotantoon tarvittavat elementit, kuten tekstikentät, logot, juoksevan kellografiikan sekä video- ja äänisignaalien sisääntulon. 2D-grafiikan lisäksi Clarityllä on mahdollista luoda 3D-elementtejä tai tuoda 3D-malleja tuotantoon. Lisäksi dataa, kuten uutisia tai urheilutuloksia, voidaan tuoda ohjelmaan ulkoisista lähteistä tai päivittää haluttaessa käsin. [17.] Tämän lisäksi myös Clarityllä voidaan luoda stereoskooppista 3D:tä yhdellä tai kahdella kanavalla [17].

Clarityn grafiikanluontiin tarkoitettu graafinen käyttöliittymä toimii erillisinä ikkunoina, joita käyttäjä voi muokata haluamikseen. Harvemmin käytettyjä ikkunoita voidaan jättää taustalle ja aktivoida hiiren avulla. Käyttäjät voivat myös tallentaa omat käyttöliittymän-

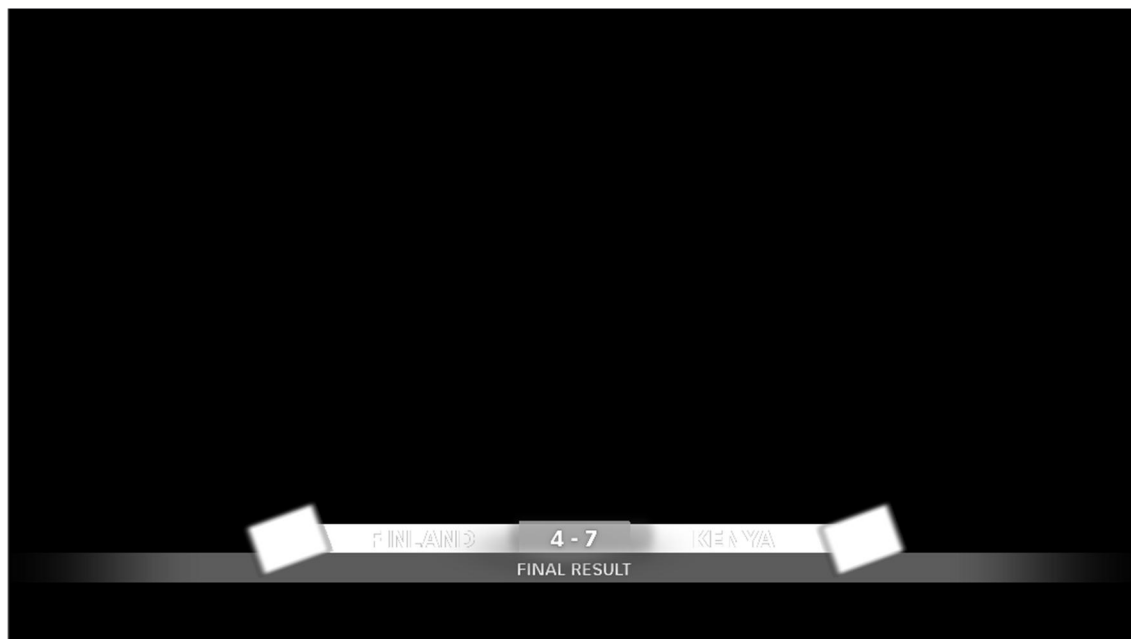
sä ja tuoda ne uudelleen käytettäväksi. Esimerkiksi urheilukäytössä Clarity tarjoaa mahdollisuuden muokata grafiikan toistoon tarkoitetun käyttöliittymän halutuksi Control Toolboxin kautta tai käyttöliittymän voi valita valmiiksi rakennetuista vaihtoehdoista. Valmiiksi rakennetuissa käyttöliittymissä on mahdollista toistaa animaatioita näppäimistön pikanäppäimillä tai kokonaan tähän tarkoitukseen suunnitellulla näppäimistöllä. [18, s. 4.]

Edellä esitellyt grafiikan ulosajo- ja valmistusohjelmat toimivat hyvin pitkälle samalla periaatteella. Erot yritysten tarjoamien ohjelmistojen välillä ovat lähinnä palveluiden laajuudessa. Kaikissa tapauksissa yritykset tarjoavat erillistä tietokonetta grafiikan piirtämiseen ja ulosajoon ja tämän lisäksi ne saattavat tarjota erilaisia palvelinratkaisuja tiedostojen jakoon tuotannon sisällä. Grafiikan ulosajoon käytetään graafista käyttöliittymää, mutta käyttöliittymän sisältö ja muokkausmahdollisuudet vaihtelevat eri ohjelmistojen välillä. Grafiikkaelementit luodaan poikkeuksetta erillisellä ohjelmalla, josta valmis grafiikkapohja siirretään ulosajo-ohjelmaan.

2.5 Avainnustekniikka

Toisin kuin internet- tai painografiikassa, televisiografiikassa ei riitä, että graafikko luo esimerkiksi .PNG-kuvan, joka liitetään sellaisenaan halutulle alustalle. Televisiografiikassa halutusta kuvasta on luotava kaksi erillistä signaalia: avainnus ja täyttö. [9, s.2–3.]

Kun graafikko on saanut tarvittavan grafiikan valmiiksi, kuvan läpinäkyvyyskanavasta muodostetaan mustavalkokuva eli avainnussignaali. Kuten kuvasta 9 on nähtävissä, avainnussignaali koostuu valkoisesta eli näkyvästä osasta ja mustasta eli näkymättömästä osasta. Mustalla luodaan kuvaan läpinäkyvyyttä, joka pehmentää grafiikkaa. Tällä mustavalkokuvalla videosignaaliin leikataan reikä, joka täytetään täyttösignaalilla. Avainnussignaali toimii siis ikään kuin sapluunana, joka täytetään halutulla materiaalilla. [9, s.3.]



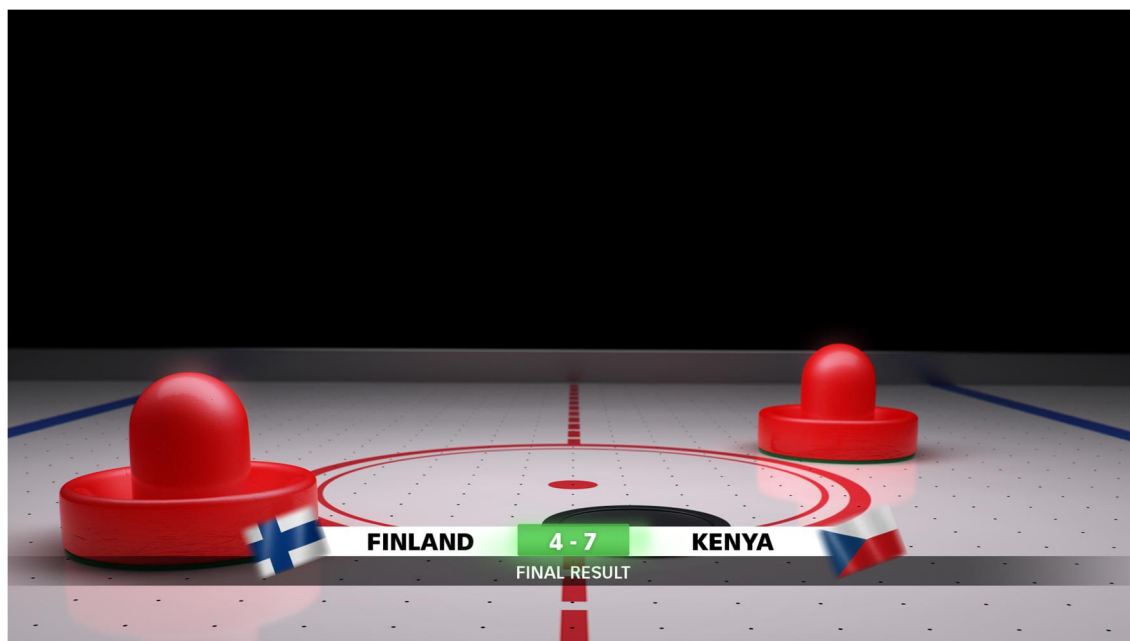
Kuva 8. Avainnussignaali.

Kuva 10 sisältää täyttösignaalin eli lähetyksessä käytettävän grafiikan. Ilman avainnussignaalia kuva on pelkistetyn näköinen, koska siitä puuttuu läpinäkyvyys. Kun kuva on .PNG-muotoa, RGB-värit kulkevat täyttösignaalia pitkin. [9, s. 3.] Kuvassa 10 täyttösignaali on siis vielä ilman avainnussignaalia ja taustaa.



Kuva 9. Täyttösignaali.

Kun avainnus- ja täyttösignaali ovat valmiit, tarvitaan laite, joka osaa yhdistää nämä signaalit. Tähän tarkoitukseen käytetään videomikseriä, jolla voidaan yhdistää esimerkiksi kamera-, grafiikka- ja nauhursignaaleja, jolloin miksaaja leikkaa haluttuun video-lähteeseen. Videomikserillä siis valitaan haluttu signaali, joka ajetaan lähetykseen. Videomikserillä myös yhdistetään signaaleja, jolloin grafiikan täyttösignaali voidaan ajaa halutun videosignaalin päälle. Videomikserin key bus -painikkeella valitaan haluttu täyttömateriaali, esimerkiksi grafiikka, ja kun grafiikkaoperaattori ajaa ulos grafiikan, se leikkautuu kuvan päälle, kuten kuvassa 11 näkyy [19, s. 252].



Kuva 10. Avainnus- ja täyttösignaali yhdessä.

Kuvassa 11 täyttösignaali on ajettu avainnusignaalin päälle, jolloin täyttösignaaliin eli tässä tapauksessa tilanegrafiikkaan on saatu läpinäkyvyyttä ja pehmeyttä.

3 Virtuaaligrafiikka

3.1 Virtuaaligrafiikan teoria

Virtuaaligrafiikka on käsitteenä hyvin laaja: se sisältää virtuaalimaailman, kuten vaikka Second Lifen tai lisätyn todellisuuden tekniikat. Virtuaalimaailma on tila, jossa käyt-

täjä toimii kokonaan tietokoneella luodussa ympäristössä, jossa tavanomaisen maailman lainalaisuudet eivät päde. Lisätty todellisuus on tekniikka, jossa reaali maailman päälle lisätään tietokoneavusteisesti grafiikkaa, jonka käyttäjä näkee todellisena osana reaali maailmaa.

Tutkielmassaan "Application of virtual technology in the field of sports" [20] Simin Li ja Jinhai Sun Qufun yliopistosta jakavat virtuaalitekniikan neljään perusluokkaan:

Ensimmäinen kategoria käsittää työpöytävirtuaalitekniikan eli tietokoneen ja työympäristön luoman virtuaali maailman. Tässä virtuaali maailmassa käyttäjä kokee kaiken tapahtuman tietokoneen ruudulta ja vaikuttaa asioihin esimerkiksi hiiren ja näppäimistön välityksellä. Työpöytätekniikan etuna ovat sen halvat kustannukset, mutta toisaalta itse virtuaalikoemuks jää hyvin pintapuoliseksi, kun käyttäjä on kuitenkin sidottuna reaali maailmaan. [20.] Tähän virtuaaligrafiikan sovellusalueeseen kuuluvat esimerkiksi erilaiset simulaattoripelit.

Toinen kategoria, jossa virtuaali maailman kokemisen apuna käytetään esimerkiksi kyypäriä, hanskoja ja liikkeentunnistusta, luo jo hyvin paljon vahvemman kuvan virtuaali maailmasta. Huonona puolena tällaisessa kaikkia aisteja stimuloivassa tekniikassa on sen kallis hinta. [20.] Tätä tekniikkaa on kehitetty jo 1960-luvun alkupuolelta, jolloin Morton Heilig haki patenttia ensimmäiselle päähän istutettavalle näytölle [21]. Nykyään tämä teknologia on käytössä esimerkiksi urheilupeleissä, joissa pelin tapahtumia ohjataan liiketunnistimien avulla.

Kolmas tekniikka on niin kutsuttu lisätty todellisuus, jossa yhdistetään sekä virtuaali maailma että reaali maailma. Tämän teknologian avulla käyttäjä näkee reaaliaikaisesti virtuaalista sisältöä reaali maailmassa ja pystyy olemaan vuorovaikutuksessa tämän sisällön kanssa. [20.] Esimerkiksi urheilustudiossa voidaan esittää virtuaalisia 3D-malleja, joita studioisäntä esittelee katsojalle. Insinööriyöni sijoittuu lähimmäksi tätä perusluokkaa.

Neljäs kategoria on jaettu virtuaalitodellisuus, jossa useat käyttäjät ovat vuorovaikutuksessa keskenään jakaen tietoa, palveluita tai vaikkapa suorittavan jonkin pelin tehtäviä. Esimerkkinä tällaisesta virtuaali maailmasta on hyvin suosittu tietokonepeli World Of Warcraft, jossa miljoonat pelaajat vaikuttavat sisältöön keskenään toimiessaan. [20.]

Mielestäni virtuaalitodellisuuden jako näihin neljään kategoriaan on ihan hyvä ajatus, mutta insinööriyöni kannalta hieman pienempikin jako riittää. Tällöin yksi perusluokka sisältäisi virtuaalimaailman, jossa käyttäjä itse muokkaa kokemaansa virtuaalisältöä esimerkiksi virtuaalikyppäriä päässään. Tämän lisäksi toiseen kategoriaan kuuluisivat virtuaalitekniikat, joissa ei pyritä aivan yhtä täydelliseen virtuaalikokemukseen, vaan virtuaalista grafiikkaa on lisätty reaaliin maailmaan. Tähän toiseen kategoriaan sijoittuisivat tekniikat, joissa esimerkiksi urheilutapahtumaan sijoitettu grafiikka näkyy käyttäjälle todellisena osana reaaliin maailmaa. Kolmas kategoria sisältäisi kaiken tietokoneen välityksellä tapahtuvan virtuaalitekniikan, eli pelit ja virtuaalimaailmat.

3.2 Virtuaaligrafiikan historia

Virtuaalitekniikan historia alkaa jo 1930-luvun alkupuolelta, jolloin videokuvan liittämistä toiseen videosignaaliin alettiin tutkia. Vuonna 1932 kehitettiin tekniikka, jossa kamerakuvan kirkkausvaihteluiden avulla kuvaan leikattiin reikä, joka täytettiin toisen kameran kuvalla. Mustavalkokuvauksen aikana leikattavana taustana käytettiin punaista tai mustaa materiaalia. Näyttelijät käyttivät vihreitä asusteita, jotta he erottuisivat paremmin taustasta ilman, että valaistusta olisi lisättävä liian voimakkaaksi. Värikuvauksen myötä tekniikkaa kehitettiin siten, että leikattava tausta, joka korvattaisiin toisella kuvalla, erotettiin muusta kuvasta värisävyn vaihtelun avulla. [22.] Tällöin kehitettiin siis ensimmäiset lähtökohdat nykypäivän virtuaalistudioille, joissa studiolarasteita korvataan virtuaalitekniikalla käyttäen Chroma key- eli väriavainnustekniikkaa.

Väriavainnustekniikassa jokin väri, yleensä sininen tai vihreä, korvataan esimerkiksi videosignaalin avulla. Väriavainnustekniikkaa on käytetty jo vuosia esimerkiksi uutisten sääosiossa, jossa meteorologin takana näkyvä sääkartta lisätään tietokoneella vihreän tai sinisen kankaan päälle. Väriavainnustekniikka toimii hyvin paikallaan olevan kameran ja kohteen, kuten sääankkurin kanssa, mutta kun kameralla seurataan liikkuvaa kohdetta, väriavainnusilluusio särkyy, koska tausta ei muutu liikkeen mukana vaan pysyy paikoillaan [23].

Kehittyneemmät tietokoneet ja näytönohjaimet mahdollistivat vasta 1990-luvulla reaaliin aikaisen grafiikan ulosajon kameran liikkuessa. Kun kameraa liikutetaan, grafiikkaa on mahdollista päivittää yhtä nopeasti tv-kuvan mukana, jolloin myös virtuaalisesti luodut

kohteet päivittyvät kamerakulman muuttuessa. Tällöin kehitettiin myös käsite virtuaalitudiosta, jolla viitattiin tähän uuteen tekniikkaan erottamaan se väriavainnustekniikasta. [24.]

Urheilutuotannossa virtuaaligrafiikka on kehittynyt yhdessä muun televisiografiikan kanssa. Edellä mainittujen virtuaalitudioiden lisäksi grafiikkaa voidaan nyt tuottaa urheilutapahtumiin ja vaikka suoraan pelikentille ilman, että katsoja sitä välttämättä helposti huomaa. Tietokoneiden kehitys on mahdollistanut entistä realistisemmän grafiikan luomista ja ulosajamista, jolloin myös virtuaaligrafiikasta saadaan realistisempaa.

3.3 Virtuaaligrafiikan tekniikka

Paikallaan olevan virtuaaligrafiikan lisääminen tv-kuvaan onnistuu helposti väriavainnustekniikalla, mutta kun grafiikkaa lisätään liikkuvaan kuvaan, pitää keinoitekoisesti luodun kohteen pysyä samalla paikalla kuvassa kameran liikkeessa. Kameran liikkeitä on seurattava kuvasignaalin päivitysnopeudella jatkuvasti, jotta reaali maailman ja virtuaali maailman kohteet pysyvät samoilla sijoillaan ja katsojaa varten luotu illuusio säilyy. Televisiotuotantojen nopean aikataulun ja reaaliaikaisuuden takia kameraseurannan on tapahduttava automaattisesti. [24.]

Virtuaalitudioiden alkuaikoina ainoa mahdollisuus mitata kameran liikettä oli asentaa kameraan sensorit, jotka välittivät dataa kameran liikkeistä, sijainnista, tiltistä, pannista ja kuvasyvyydestä. Nämä tekniikan kuitenkin hankaloittivat kuvaajien työtä eivätkä toimineet kaikkien kameramallien kanssa. [24.] Ongelmia aiheuttaa myös että usein, etenkin urheilutuotannon puolella, graafikolla on käytettävänä vain tapahtumapaikkakunnalta tuleva videokuva eikä mahdollisuutta päästä asentamaan antureita kameroihin.

Nykyään on tarjolla useita tekniikoita, joissa kameraan ei tarvitse asentaa erikseen sensoreita, vaan usein liikettä seurataan optisesti. Nämä optiset tekniikat Graham Thomas ja Oliver Grau [24] jakavat kahteen ryhmään; ulkoa sisälle- ja sisältä ulos - tekniikoiksi. Ulkoa sisälle -tekniikassa kuvattavaa aluetta kuvataan kameroilla, joihin asennetaan esimerkiksi infrapunatunnistimet. Tämän jälkeen ala täytetään passiivisilla eli heijastavilla tai aktiivisilla eli lähettävillä merkeillä. Näiden merkkien avulla seurataan

kuvausalueetta, jotta kohde osataan piirtää oikealle paikalleen kuva-alassa. Tämä tekniikka on parhaimmillaan pienissä tiloissa, mutta suurissa tiloissa kustannukset nousevat todella korkeiksi, koska tarvitaan useita kameroita täyttämään koko kuvattava ala. Sisältä ulos -tekniikassa kameran kuvassa esiintyvien merkkien tai esineiden sijainti tiedetään, jolloin kameran liikettä voidaan laskea suhteessa näihin merkkeihin. Seuratavaan kameraan voidaan myös asentaa toinen kamera tunnistamaan kohteita ja siten laskemaan varsinaisen kameran liikettä. [24.] Tällä sisältä ulos -tekniikalla esimerkiksi urheilutuotannossa kameran liikettä lasketaan kentällä olevista merkeistä, eli vaikkapa maali- tai sivurajaviivoista, jolloin virtuaalisia kohteita on helppo sijoittaa kentälle ja niiden liikettä voidaan päivittää suhteessa näihin rajoihin. Esimerkiksi CMORE:n Valioliiga- ja Champions League -lähetyksissä on käytössä englantilainen Piero-grafiikkaohjelma [<http://www.bbc.co.uk/blogs/researchanddevelopment/2011/04/the-queens-award-winning-piero-sports-graphics-system.shtml>], jonka avulla pelitilanteisiin lisätään havainnollistavia graafisia kuvia. Ohjelma sijoittaa ja päivittää kuvan liikkeessä grafiikan pelikentän viivojen avulla. Ongelmia luovat kentän kohdat, joissa ei ole viivoja näkyvissä. Tällöin ohjelma ei pysty seuraamaan alustaa eikä näin osaa asettaa grafiikkaa oikeille paikoille, jolloin graafiset kohteet eivät päivyty oikein.

3.4 Virtuaaligrafiikkaohjelmia

Virtuaaligrafiikka on tullut muutamassa vuodessa hyvin kiinteäksi osaksi televisiografiikkaa, etenkin urheilulähetyksissä, niinpä luvussa 2.4 esittelemilläni televisiografiikkaan erikoistuneilla yrityksillä on usein tuotteissaan myös virtuaaligrafiikkaohjelmia. Esittelen tässä luvussa muutamia virtuaaligrafiikkasovelluksia, jotka urheilutuotannossa keskittyvät hyvin paljon taktiikka- ja pelitilanneanalyysiin sekä virtuaalistudioihin. Taulukossa 1 ovat esiteltynä kaikki sovellukset, joihin tutustuin työssäni. Taulukosta selviävät myös ohjelmien verkkosivut.

Taulukko 1. Luvussa 3.4 käsiteltävät virtuaaligrafiikkaohjelmat.

Yritys	Virtuaaligrafiikkaohjelmat	Ohjelman verkkosivut
Viz Libero	Viz Liber, Viz Virtual Studio	http://www.vizrt.com/products/
Orad	MVP, 3DReplay	http://www.orad.tv/mvp http://www.orad.tv/3dreplay
Red Bee Media	Piero	http://www.redbeemedia.com/piero/piero
Rt Software	tOG-VR, tOG-Sports	http://rtsw.co.uk/products/

Viz Libero on urheilulähetyksiin tarkoitettu virtuaaligrafiikkaohjelma, jolla voidaan luoda 3D-uusintoja pelitapahtumista ja käyttää kosketustekniikkaa pelitilanteiden analysointiin. Vizrt mainostaa sivuillaan, että Viz Libero ei tarvitse erillistä tekniikkaa tai laitteita stadionilla, vaan virtuaaliset kamerat luodaan televisiokuvan avulla. Käyttäjät voivat muokata ja piirtää taktisia tilannekuvia myös esimerkiksi iPadin avulla suorassa lähetyksessä. Viz Liberolla voidaan myös luoda realistisen näköisiä 3D-uusintoja, jolloin pelitilanteita voidaan katsoa erilaisista kuvakulmista käyttäen virtuaalikameroita. 3D-uusinnassa pelitilanteesta tehdään 3D-malli, jolloin voidaan käyttää virtuaalikameroita eri kuvakulmien katsomiseksi ja pelaajia voidaan liikutella kuvassa. Viz Liberolla voidaan laskea pelaajien juoksunopeuksia ja etäisyyksiä esimerkiksi maalista, ja nämä lukemat voidaan esittää graafisesti pelitilanteen päällä. Lisäksi ohjelmalla pystyy luomaan virtuaalimainoksia pelikenttään. Viz Libero tukee 14:ää urheilulajia jalkapallosta australialaiseen jalkapalloon [25].

sisältää myös työkalut kuvakulman muuttamiseksi esimerkiksi yksittäisen pelaajan näkökulmaan tai hyperzoomiin, joka mahdollistaa tavallisia kameroita paremman tarkennuksen. Myös Oradin MVP-ohjelmaa voidaan käyttää Viz Liberon tavoin Ipadin avulla, ja grafiikkaa voidaan piirtää liikkuvaan kuvaan erikokoisten kosketusnäyttöjen avulla. Orad käyttää grafiikan seurantaan kuvatunnistukseen pohjautuvaa tekniikkaa, jolloin se ei tarvitse kentän viivoja toimiakseen, vain kaksi pistettä kentältä riittää. [28.]

Orad tarjoaa Viz Liberon tapaan 3Dreplay-ohjelman [<http://www.orad.tv/products/3dreplay>], jolla tietystä pelitilanteesta voidaan luoda 3D-malli. Grafiikkaoperaattori kaappaa halutun pelitilannekuvan, ja siitä luodaan 3D-malli käyttäen hyväksi etukäteen luotuja stadion- ja pelaajamalleja. 3D-uusintaan voidaan sitten luoda erilaisia kamerakulmia ja piirtää paitsioviivoja tai siihen voidaan lisätä esimerkiksi pallon nopeuksia. [29.] Kuva 13 on kuvakaappaus oikeasta pelitilannekuvasta jalkapallo-ottelussa, jossa toinen joukkueista on juuri antanut vapaapotkun.



Kuva 12. Oikea pelitilannekuva [29].

Kuva 14 on puolestaan 3Dreplayllä kuvan 13 pelitilanteesta tehty 3D-mallinnus. 3D-mallinnuksessa kuvaan on voitu merkitä avainpelaajat, paitsioviiva ja pelaajien liikesuunnan ilmoittavat nuolet. 3D-mallilla päästään myös pyörittelemään tilannetta erilaisista kuvakulmista, jolloin esimerkiksi pelaajien sijoittumista ja liikettä voidaan tarkastella paremmin.



Kuva 13. Orad 3D Replayllä luotu 3D-malli [29].

Piero on BBC Sportin käyttöön kehitetty ja Red Bee Median [<http://www.redbee-media.com/piero/piero>] markkinoima sovellus, joka mahdollistaa kilpakuppaneidensa tapaan pelitilanneanalyysit virtuaalstadionin ja lukuisten graafisten apuvälineiden avulla. Suomessa Pieroa käytetään esimerkiksi MTV 3 Max Sportin Valioliigalähetyksissä. MTV 3:n Piero-käyttäjän mukaan [30] ohjelmaa kannattaa käyttää esimerkiksi EVS-yhtiön [<http://www.evs.com/emea/product/multicamism>] hidastimien kanssa, koska Piero vaatii erillisen laitteen, jolla videosignaaleja tuodaan ohjelmaan. Hidastimella videokuvaa voidaan esimerkiksi kelata, nauhoittaa, leikata ja hidastaa, jolloin se on hyvä työväline myös Pierolla luotavien videokoosteiden editoimiseen.

Piero otettiin käyttöön BBC:ssä ensimmäisen kerran vuonna 1994, jolloin ohjelma käytti kameran sijainnin tunnistukseen kameraan asennettavien anturien välittämää dataa. Kuitenkin jo vuonna 2005 otettiin käyttöön myös tekniikka, jossa kameran sijainti lasketaan pelikentän viivoista. [31.] Käyttäjä valitsee ohjelman käyttöliittymässä näkyvästä kentän pienoismallista kenttäviivan ja tämän jälkeen merkitsee hiirellä vastaavan viivan käsiteltävästä videokuvasta. Kuvatunnistusta käyttävä tekniikka tarvitsee kentältä vähintään kolme näkyvää viivaa pystyäkseen laskemaan kameran sijainnin. Kenttäviivojen lisäksi käyttäjän on maalattava kentän nurmi, jotta ohjelma erottaa pelaajat kentästä. Ohjelmalla voidaan myös seurata pelaajia, esimerkiksi piirrettäessä näiden liikerato-

ja, mutta päällekkäin seisovat pelaajat voivat sekoittaa ohjelman, jos se tunnistaa molemmat pelaajat yksittäisenä hahmona [30].

Pieron kamerantunnistus, grafiikan tuotanto ja ulosajo toimivat kaikki yhdellä tietokoneella. Piero-operaattori valitsee kuvakulman ja grafiikkaelementit, jotka sopivat tilanteeseen, ja tallentaa valmiin videon tuotantokäyttöön. Samasta videolähteestä voidaan valita myös eri kamerakulmia, jos jokin kentän tapahtuma on näytetty useasta kamerakulmasta. Käyttäjä määrittää ohjelman aikajanelle avainkuvat, joista ohjelma leikkaa seuraavaan kamerakuvaan. Seurantaan käytettävät kenttäviivat on merkittävä uudelleen jokaiseen kamerakulmaan. [31.]

Pierolla voidaan toteuttaa myös kuvakulmia, joita ei tavallisilla kameroilla voitaisi näyttää. Tätä tekniikkaa varten pelaajat irrotetaan pelikentästä Chroma key -tekniikan avulla. Kun pelaajat on irrotettu kentästä, ohjelma laskee pelaajien sijainnin 3D-maailmassa käyttäen hyväksi pelaajien tiedossa olevaa pituutta. Tämän jälkeen pelaajat asetetaan virtuaaliselle alustalle ohjelman laskeman sijainnin mukaan. Lopuksi pelaajan ympärille asetetaan virtuaalistadion ja kyseinen pelitilanne renderöidään uudesta, virtuaalisesti luodusta kuvakulmasta. [31.]

Pierolla voidaan myös laskea nopeuksia esimerkiksi pallolle tai pelaajille ja etäisyyksiä vaikkapa vapaapotkutilanteissa. Erolin [30] mukaan etäisyyksien ja nopeuksien mittaus vaatii kuitenkin erittäin tarkkaa kenttäviivojen kalibrointia. Jos kenttäviivojen tunnistus ei ole aivan kohdallaan, nopeus- ja etäisyysarvot saattavat näyttää aivan vääriä lukemia ja lukemat saattavat vaihdella saman pelitilanteen sisällä.

BBC:n 3D-tuotannosta vastannut osasto perusti vuonna 2004 RT Software -yhtiön, joka on siirtynyt tuottamaan grafiikkasovelluksia myös urheilupuolelle [32]. RT Softwaren perustajien ensimmäinen tietokonepohjainen grafiikka tuli ruutuun vuonna 2002 BBC:n uutisissa, jossa pyörivän maapallon ympärillä liikkui uutisotsakkeita. Virtuaaligrafiikan puolella RT Software tarjoaa tuotteita virtuaalistudio-, livetuo- ja pelitilanneanalyysitarpeisiin.

tOG-VR [<http://rtsw.co.uk/wp-content/uploads/2012/05/tOG-3D-VR-tech-spec-brochure-v0-2NEW-May-12.pdf>] on virtuaalitudiotuotantoon tarkoitettu ohjelmisto, joka mahdollistaa kameraseurannan ilman erillisiä kameraan asennettavia antureita, mutta niiden

käyttö on myös mahdollista. tOG-VR mahdollistaa omien sivujensa mukaan jopa neljän SDI-sisääntulon yhteen tietokoneeseen, jolloin kytkettynä voisi olla esimerkiksi kolme kameraa ja yksi virtuaalikanava. Ohjelmalla on mahdollista tehdä chroma- ja matta-avainnuksia ja linssikalibrointia sekä luoda varjoja ja heijastuksia virtuaaliympäristöön. [33.]

Pelitalleanalyysiin RT Softwarella on tarjolla kolme ohjelmaa: tOG-Sport Live, tOG-Sport Lite ja tOG-Sport Pro [<http://rtsw.co.uk/products/tog-sports/>]. Live- ja Lite-versiot sisältävät samat toiminnot, mutta Live-versio on tarkoitettu nimensä mukaisesti suoriin pelitilanteisiin. Live-versio käyttää kameraseurantaan kamerapäiden välittämää tietoa. Näillä ohjelmilla käyttäjä voi luoda pelikentän päälle esimerkiksi logoja, virtuaalisia näyttöjä ja etäisyysviivoja. Pelaajat asetetaan Chroma-keyn avulla grafiikan päälle. [34.]

tOG-Sport Pro laajentaa kahta edellä mainittua ohjelmistoa käyttäen hyväksi kenttäviivaseurantaan perustuvaa kameraseurantaa. Tämän lisäksi Sport Pro tukee myös kamera-anturitekniikkaa. Ohjelma tukee jopa viiden kameran seurantaan, mutta tällöin jokainen kamera on kalibroitava erikseen. Sport Pro lisää myös huomattavasti pelitalleanalyysiin käytettäviä graafisia elementtejä verrattuna Live- ja Lite-versioihin. [35.]

Kenttäviiva- ja kamerapäaseurannan lisäksi tOG-Sports-ohjelmistot mahdollistavat kuvien ja grafiikan ajamisen paikallaan olevaan kamerakuvaan oikeaan perspektiiviin, jolloin mitään seurantaan ei tarvita. Näiden lisäksi 2D-grafiikkaa on mahdollista asettaa seuraamaan tiettyä objektia, jolloin ohjelma seuraa kohdetta niin kauan, kuin se on kameran kuvassa. Seurannan tiedot tallennetaan, jolloin grafiikka voidaan ajaa myös uusinnassa. Esimerkiksi nimikyltti voidaan näin asettaa kilpa-ajajan päälle seuraamaan tätä kisan ajaksi. Ohjelmassa voidaan käyttää myös kuvaseurantaan pohjautuvaa virtuaaligrafiikkaa. Kuvaseurannassa ohjelma luo kuvitteellisen kameran, jonka kuvakulmasta se poimii sopivia kohteita seurantaan. [36.]

Tästä lyhyestä televisiografiikan parissa työskentelevien yritysten ohjelmistotarjonnan esittelystä huomaa, että virtuaalitekniikka on urheilutuotannossa jo iso osa grafiikkapalveluita. Kaikki neljä esittelemääni yritystä tarjoavat melkein samat virtuaaligrafiikkatoiminnot, mutta myös palvelujen laajuus vaihtelee yritysten välillä. Virtuaalitudiot ja pelitalleanalyysiin tarkoitettu grafiikka ovat kiinteä osa grafiikkapalveluita. Tämän li-

säksi yrityksillä on vaihtelevasti tarjolla tiedostonjako- ja palvelinohjelmistoja sekä omat grafiikan ulosajoon tarkoitetut ohjelmistot. Kameraseurannan puolella yrityksissä ei ole suuria eroja, vaan samat tekniikat hieman eri variaatioilla toistuvat ohjelmistojen välillä.

3.5 Virtuaaligrafiikka urheilutuotannossa

Virtuaaligrafiikka alkaa olla jo standardi nykyaikaisessa urheilutuotannossa, koska sen avulla katsoja saadaan entistä lähemmäs tapahtumia ja tilanteiden kulku on helppo selittää asiantuntijan näkökulmasta myös tavalliselle katsojalle. Virtuaaliset elementit piristävät myös ohjelman ulkonäköä, jos katsojalle voidaan näyttää esimerkiksi 3D-mallien avulla asioita, joita voisi muuten olla vaikea toteuttaa, kuten esimerkiksi kuvassa 15 näkyvä Sky Sportsin studiossaan esittelemä pyöriteltävä Formula-auto. Autoa voidaan 3D-mallinnuksen avulla pyöritellä, ja sen eri osia voidaan näyttää katsojalle. Näin voidaan havainnollistaa auton toimintaa ja tekniikkaa.



Kuva 14. Formula-auton 3D-malli Sky Sports -studioissa [37].

Kun amerikkalaisessa jalkapallossa tehdään huikea juoksu tai heitto, voidaan juoksijan juoksurata tai pallon lentorata piirtää virtuaalisesti kuvaruudulle. Lisäksi puolustajien ja hyökkääjien liikesuuntia voidaan korostaa nuolilla, jolloin jopa lajia hieman huonommin tunteva pääsee paremmin sisälle sen hienouksiin. Suorituksen uusinoissa voidaan

näyttää esimerkiksi juoksijan vauhti ja kuljettu matka virtuaalisesti. Myös jäljellä olevat hyökkäysyritykset ja kuljettavat jaardit piirretään virtuaalisesti kentän pintaan, jolloin niitä ei edes helposti erota fyysisesti kentän pinnassa olevista merkeistä. Jos esimerkiksi verrataan seuraavia Youtuben videotallenteista otettuja kuvakaappauksia kuvissa 16 ja 17, on ero kuudessatoista vuodessa tapahtuneen grafiikkalisäyksen ero huomattava. Kuvassa 16 eli vuoden 1997 Superbowlin televisiolähetyksessä näytettäisiin käytettävän ainoastaan tavallista lähetysgrafiikkaa, jossa näkyvät hyökkäysyritykset ja kuljettavat jaardit, mutta vuoden 2013 eli kuvan 17 lähetyksessä on käytössä lähetysgrafiikan lisäksi virtuaaligrafiikkaa.



Kuva 15. Superbowl XXXII 1997 [38].

Kuvassa 17 edellä jo mainitut jäljellä olevat hyökkäysyritykset ja jaardit on merkitty sinisellä grafiikalla kentän pintaan, jolloin tämän grafiikan yhteydessä on nähtävissä myös juokseva aika, joka ilmoittaa, kuinka paljon pelinrakentajalla on aikaa heittää pallo. Aivan kuvan 17 oikeassa reunassa näkyy oranssilla viiva, joka hyökkääjien on ylitettävä. Lisäksi kentän pinnassa näkyvä Superbowl XLVII -logo on luotu virtuaaligrafiikalla, jolloin lähetystä voidaan mainostaa riippumatta siitä, missä kohdassa kenttää kuva on. Kuvan ylälaudassa oleva tulosgrafiikka on puolestaan tavallista lähetysgrafiikkaa. Kuvista huomaa, kuinka huomaamattomasti virtuaaligrafiikka lisää kuvaruudulla näkyvää informaatiota ja niin sanottua silmäkarkkia katsojille ilman, että grafiikka hyppäisi silmillemme tai peittäisi mitään tärkeää näkymästä.



Kuva 16. Superbowl XLVII 2013 [39].

Yleisurheilukisoissa juoksulajien maailmanennätysvauhti voidaan piirtää kenttään viivana, joka kulkee reaaliajassa juoksijoiden mukana. Tällöin katsoja saa paremman käsityksen siitä, kuinka kovaa maailmanennätysvauhdissa juostaan. Myös heitto- ja hyppylajeissa eri ennätysnäytetään kentän pinnalla.

Virtuaaligrafiikalla voidaan ratkaista myös ongelmia, joita jotkin lajit tuottavat. Insinööri-työtä varten haastattelemani virtuaaligrafiikan parissa Hegolla työskennellyt entinen työntekijä [40] kertoi esimerkiksi Helsingissä järjestetystä kilpailusta, jossa riippuliitimillä hypättiin veteen ja hyppyjen pituudet piti saada laskettua. Veteen on hankala piirtää viivoja, joiden mukaan hypyn pituudet laskettaisiin, joten tämä ratkaistiin virtuaalisesti. Hyppyaluetta kuvattiin kameralla, jonka avulla tietokoneen näytölle luotiin virtuaaliset pituusviivat, joiden avulla hyppyjen pituudet saatiin laskettua.

Suosittu suuntaus televisioalalla on studioiden luonti käyttäen virtuaalisia lavasteita. Professori Samuel Edsall Länsi-Illinoisin yliopistosta kertoo tekstissään *The Future of Television Graphics*, että virtuaalitudiot voivat säästää rahaa studiolle, koska eri ohjelmiin ei tarvitse rakentaa kalliita fyysisiä lavasteita. Adsell kertoo esimerkiksi NBC:n *Dateline*-ohjelmasta, jonka lavasteiden rakennus maksoi melkein 500 000 dollaria ja lavasteet pysyvät tyhjinä 80 % ajasta. Virtuaalitekniikalla lavasteita voisi vaihtaa tuotantojen välillä muutamassa sekunnissa vain lataamalla tietokoneelta toisen ohjelman tiedostot. Adsell kertoo kuitenkin virtuaalilaitteiden olevan kalliita, ja jotta lavasteet saatai-

siin realistisen näköiseksi, tietokoneelta vaaditaan paljon tehoa. [23.] Artikkelin on kuitenkin vuodelta 2008, jolloin virtuaalitekniikka oli paljolti kalliiden kameralaitteiden, kuten anturien, varassa. Laite- ja ohjelmistokehityksen myötä nykyisillä tietokoneilla voidaan luoda jo huomattavasti kustannustehokkaampaa virtuaaligrafiikkaa studioympäristöihin.

Virtuaaligrafiikkaa käytetään jo nyt paljon mainonnan apuna myös urheilulähetyksissä, koska mainoksia on helpompi sulauttaa taustaan virtuaalisesti, jolloin ne eivät hyppää katsojan silmille yhtä räikeästi kuin tavallinen grafiikka. Virtuaaligrafiikan avulla mainoksista voidaan saada myös hyvin näyttäviä lisäämällä studioon tai pelikentälle esimerkiksi 3D-mallinnuksella tehtyjä liikkuvia mainoksia.

Eri maiden lainsäädännöt voivat kuitenkin asettaa rajoituksia virtuaaligrafiikan käytölle mainonnassa. Esimerkiksi Suomen laki määrää, että ”televisiomainokset ja teleostolähetykset on erotettava audiovisuaalisista ohjelmista ääni- tai kuvatunnuksella taikka kuvatilän jakamisella” [41]. Tällöin myös virtuaaligrafiikalla toteutettu mainos pitäisi selvästi eristää tavallisesta ohjelmasta kuvatunnuksella.

Erilaisten sponsoritunnusten sijoittaminen ohjelmaan on kuitenkin sallittua, jos se ei vaikuta ohjelman sisältöön, ei kehoita ostamaan tuotteita tai korosta tuotetta liikaa [41]. Tällöin sponsoritunnusten asettaminen virtuaalisesti esimerkiksi jääkiekkokaukalon seinäin olisi mahdollista, jos ne eivät vie huomiota itse lähetykseltä. Mutta kaukaloon sijoitetussa grafiikassa tulee vastaan ongelma tilan omistuksesta, eli kuka todellisuudessa omistaa tilan, johon virtuaaligrafiikka asemoidaan.

Suomessa virtuaaligrafiikan käyttöä rajaavat hyvin paljon kustannuskysymykset. Koska Suomessa tuotannot ovat pieniä, ei virtuaaligrafiikan lisääminen ole yleensä mahdollista. Isoimmilla mainoskanavilla virtuaaligrafiikkaa on käytössä suurissa tuotannoissa, kuten kansainvälisissä jalkapallo-otteluissa. Tulevaisuudessa uudet ja halvemmat tekniikat voisivat lisätä myös virtuaaligrafiikan osuutta suomalaisessa urheilutuotannossa.

4 Virtuaaligrafiikan testaus

Tämä kappale on jätetty pois julkisesta versiosta kokonaisuudessaan.

5 Yhteenveto

Osa tämän kappaleen tekstistä on jätetty pois julkisesta versiosta.

Televisiografiikan historia alkaa 1950-luvulta, jolloin filmitöiden puolella tehtiin käsin alkutekstigrafiikkaa elokuvaan. 1960-luvulta lähtien grafiikkaa alettiin tuottaa myös tietokoneella, ja 1980-luvulla elokuvaan ilmestyivät ensimmäiset kokonaan tietokoneella luodut hahmot. 1980-luvulta lähtien tietokoneiden ja grafiikkaohjelmistojen kehitys on mahdollistanut entistä monipuolisemman grafiikan. 1970-luvulta lähtien grafiikka alkoi yleistyä myös televisiolähetyksissä, pääasiassa uutisissa ja urheilussa. Nykyään grafiikka on kiinteä osa televisiolähetystä ja varsinkin urheilulähetystä. Televisiografiikan avulla katsojan on helpompi muistaa lähetyksissä jaettavaa tietoa ja käyttää tätä tietoa seurattaessaan lähetysten tapahtumia. Grafiikan avulla katsojalle voidaan myös havainnollistaa esimerkiksi hyppy- ja heittolajien ennätyksiä selkeämmin kuin pelkän selostuksen avulla.

Kotimaiset urheilulähetykset tehdään pääasiassa ulkotuotantoautoilla, jolloin koko tuotantokalusto ajetaan lähetyspaikkakunnalle. Tuotantoauto toimii lähetysten keskuksena ja antaa virran kameroille ja välittää niiden signaalin eri tuotantolaitteiden läpi lähetyskeskukseen ja sieltä edelleen kotikatsomoihin. Koko lähetys koostetaan tuotantoautossa. Kameroiden kuvaa hidastetaan hidastuksiin, videosignaaliin lisätään grafiikka, ja lopuksi miksaaja yhdistää lähetykseen ohjaajan määräämät videokuvat ja äänet.

Grafiikka tuotetaan lähetyspaikkakunnalla ulkotuotantoautossa, erillisessä grafiikka-autossa tai kokonaan toisella paikkakunnalla. Grafiikka lisätään videosignaaliin avainnustoinnin avulla, grafiikan tuotantoa varten kehitetyillä Character Generator -ohjelmilla. Insinööriyössä esitellyt televisiografiikan parissa työskentelevät yritykset ovat kehittäneet omat ratkaisunsa grafiikan tuotantoon, mutta pääasiassa kaikkien ohjelmistot toimivat samalla periaatteella. Grafiikka tuotetaan tietyllä ohjelmalla, minkä jälkeen se lähetetään soittolistaohjelmaan, jolla grafiikka ajetaan lähetykseen. Yrityksillä on myös omat vain grafiikan tuotantoon suunnitellut tietokoneensa, joilla grafiikka tuotetaan.

Virtuaaligrafiikan historia alkaa jo 1930-luvun ensimmäisistä väriavainnuskokeiluista. Tämän jälkeen virtuaaligrafiikkaa käytettiin yleensä väriavainnustekniikan avulla, esi-

merkiksi uutisten sääosiossa. Kameroihin asennettavat anturit ja tietokoneteknologia ovat mahdollistaneet monipuolisemman virtuaaligrafiikan tuotannon, jolloin kokonaisia studioita voidaan luoda virtuaalisesti. Jotta videokuvaan voidaan lisätä virtuaaligrafiikkaa ja jotta grafiikka päivittyisi kameran liikkuesssa, on kameran liikkeitä seurattava. Tässä insinööriyössä läpikäytyt virtuaaligrafiikkapalveluita tarjoavat yritykset ovat kehittäneet ohjelmistonsa erilaisia seurantatekniikoita. Kaikki yritykset käyttävät joko kamera-antureita tai jonkinlaista kuvatunnistusta kameroiden seurantaan. Kuvatunnistuksessa kameraa voidaan seurata esimerkiksi pelikentän viivojen avulla.

Ulkomailla virtuaaligrafiikka on kasvanut jo kiinteäksi osaksi televisiografiikkaa, mutta Suomessa virtuaalitekniikka on vielä jokseenkin tuntematonta. Tilaajayritykselle virtuaaligrafiikka tarkoittaa mahdollisuutta luoda eroa kilpailijoihin ja laajentaa ennestään tarjontaa ja osaamista televisiografiikan puolella. Insinööriyöni oli mahdollisuus tarkastella Suomessa vielä jokseenkin tuntematonta televisiografiikan tuotantoa ja etenkin virtuaaligrafiikan tuomia mahdollisuuksia katsomiskokemuksen parantamisessa. Tilaajayrityksen kannalta insinööriyö onkin hyvä mahdollisuus tutustua hiukan tuntemattomampaan tekniikkaan ja etenkin heidän omaan virtuaaligrafiikkasovellukseen.

Koska virtuaaligrafiikan käyttö on Suomessa vielä hyvin vähäistä, oli aihe itselleni melko tuntematon, mutta insinööriyön avulla sain tuoretta tietoa grafiikka-alan kehityksestä. Virtuaaligrafiikan tekninen puoli oli aivan uutta asiaa, joten oli mielenkiintoista saada tietoa esimerkiksi erilaisista kameraseurantatekniikoista. Minulle oli myös tärkeää päästä itse testaamaan virtuaaligrafiikkaa ja siihen liittyviä laitteita. Erilaisiin laitekytkentöihin ja signaalien kulkuun tutustuminen olivat hyvä tapa ymmärtää televisiotuotantoa paremmin kokonaisuudessaan.

Lähteet

1 Julia F., Yongkuk C., Seungwhan L., Nancy S., Leah H., Zheng W., Annie L., Deborah P. 2004. Picture This: Effects of Graphics on the Processing of Television News. Verkkodokumentti. <<http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=d75188e6-000f-42ce-bae9-2ecd21e4aa98%40sessionmgr115&vid=9&hid=117>>. Luettu 2.4.2013.

2 Walker, Derek. 2001. The Evolution of Broadcast Graphics. Verkkodokumentti. <<http://evolutionofbroadcastgraphics.files.wordpress.com/2011/06/evolution-of-broadcast-graphics.pdf>>. Luettu 2.4.2013.

3 de Oliveira, Drégus. 2006. Vertigo start titles. Verkkodokumentti. <<http://www.youtube.com/watch?v=pz46qS38OgM>>- Luettu 10.4.2013.

4 Carlson, Wayne. 2003. A Critical History of Computer Graphics and Animation. Verkkodokumentti. <<http://design.osu.edu/carlson/history/lesson2.html>>. Luettu 23.3.2013.

5 Carlson, Wayne. 2003. A Critical History of Computer Graphics and Animation. Verkkodokumentti. <<http://design.osu.edu/carlson/history/lesson6.html>>. Luettu 23.3.2013.

6 Tron 1982: The Bit Cube talks to Jeff Bridges. 2010. Verkkodokumentti. Youtube. <<http://www.youtube.com/watch?v=IVytNbdryR0>>. Luettu 10.4.2013.

7 Parker, Bob. 2010. ABC Evening News June 24, 1988 Part 1. Verkkodokumentti. <<http://www.youtube.com/watch?v=neR9jp3J6mo>>. Luettu 10.4.2013.

8 Multanen, Jukka. 2012. Käyttömestari, Filmworks Oy. Tampere. Keskustelu 22.1.2012.

9 Lybeck, Juha. 2012. Televisiografiikan testausympäristö. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

10 GS2. Verkkodokumentti. Hego Group. <<http://www.hegogroup.com/broadcast-graphics-gs2.aspx>>. Luettu 9.4.2013.

11 Chyron to Acquire Hego Group. Verkkodokumentti. Chyron. <<http://www.chyron.com/newspressevents/press-releases/329-chyron-to-acquire-hego-group>>. Luettu 9.4.2013.

12 Lyric Pro Information Sheet. Verkkodokumentti. Lyric Pro. <http://www.chyron.com/support/downloads/doc_download/1600-lyric-pro-85-product-information-sheet>. Luettu 9.4.2013.

13 About us. Verkkodokumentti. Viz Libero. <<http://www.vizrt.com/company/about/>>. Luettu 9.4.2013.

14 Viz Engine. Verkkodokumentti. Viz Libero. <http://www.vizrt.com/products/viz_engine/>. Luettu 13.3.2013.

15 Viz Artist. Verkkodokumentti. Viz Libero. <http://www.vizrt.com/products/viz_artist/>. Luettu 13.3.2013

16. CRAWL & SCROLL IN TRIO 3. 2012. Verkkodokumentti. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=jk8ZGr_5wmU&list=PLGI3DdVqmm0w4YthiYYk7YkOuGsnxI7Aa>. Luettu 9.4.2013.

17 Clarity 3000. Verkkodokumentti. Pixelpower. <http://www.pixelpower.com/international/products_clarity3000.html>. Luettu 13.3.2013.

18 Clarity. Verkkodokumentti. Pixelpower. <<http://www.pixelpower.com/content/downloads/files/Brochures/PixelPowerClarity.pdf>>. Luettu 9.4.

19 Zettl, Herbert. 2006. Television production handbook. USA: Thompson Higher Education.

20 Simin Li, Jinhai Sun. 2009. Application of Virtual Reality Technology in the Field of Sport. Verkkodokumentti. <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4959077>>. Luettu 13.2.2013.

21 Carlson, Wayne.2003. A Critical History of Computer Graphics and Animation. Verkkodokumentti. <<http://design.osu.edu/carlson/history/lesson17.html>>. Luettu 23.3.2013

22 Kennedy R.C., Gaskins F.j. 1958. Electronic Composites in Modern Television. Verkkodokumentti. <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4065298>>. Luettu 28.3.2013.

23 Edsall, Samuel. 2008. The Future of Television Graphics. Verkkodokumentti. <<http://www.siggraph.org/publications/newsletter/volume-42-number-2/the-future-of-television-graphics/?searchterm=sports>>. Luettu 24.3.2013.

24 Graham, Thomas. 2009. Virtual Graphics for Broadcast Production. Verkkodokumentti. <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5165526>>. Luettu 20.1.2013.

- 25 Viz Libero. Verkkodokumentti. Viz Libero.
<http://www.vizrt.com/products/viz_libero/>. Luettu 10.4.2013.
- 26 Dincer, Hakan. 2011. Verkkodokumentti. Viz Virtual Studio Demo .
<<http://www.youtube.com/watch?v=IMe9ANeg8c8>>. Luettu 9.4.2013.
- 27 Viz Virtual Studio. Verkkodokumentti. Viz Libero.
<http://www.vizrt.com/products/viz_virtual_studio/>. Luettu 9.4.2013.
- 28 Orad MVP. Verkkodokumentti. Orad.
<http://www.orad.tv/Data/Uploads/MVP_2.pdf>. Luettu 24.3.2013.
- 29 Orad 3DReplay. Verkkodokumentti. Orad.<<http://www.orad.tv/products/3dreplay>>.
Luettu 9.4.2013.
- 30 Schakir, Erol. 2013. Käyttömestari, MTV Oy. Helsinki. Keskustelu 30.3.2013.
- 31 Piero. Verkkodokumentti. BBC. <<http://www.bbc.co.uk/rd/projects/virtual/piero/>>.
Luettu 28.3.2013.
- 32 Corporate Overview. 2012. Verkkodokumentti. RT Software. <<http://rtsw.co.uk/wp-content/uploads/2012/10/RT-Software-Corporate-brochure-D.1.pdf>>. Luettu 2.4.2013.
- 33 Technical Specifications: tOG-VR. 2012. Verkkodokumentti. RT Software.
<<http://rtsw.co.uk/wp-content/uploads/2012/05/tOG-3D-VR-tech-spec-brochure-v0-2NEW-May-12.pdf>> Luettu 2.4.2013.
- 34 tOG-Sports. Verkkodokumentti. RT Software. <<http://rtsw.co.uk/products/tog-sports/>>. Luettu 10.4.2013.
- 35 tOG-Sport Pro. Verkkodokumentti. RT Software. <<http://rtsw.co.uk/products/tog-sports/tog-sportspro/>>. Luettu 2.4.2013.
- 36 New Analysis Capabilities New Advertising Opportunities. 2012. Verkkodokumentti. RT Software. 2012. <<http://rtsw.co.uk/wp-content/uploads/2012/10/camera-tracking-optionsS.pdf>>. Luettu 10.4.2013.
- 37 Virtual Eye 2012 F1 Car on Sky Sports. 2013. Verkkodokumentti. Youtube.
<<http://www.youtube.com/watch?v=GwMhraULqSo>>. Luettu 9.4.2013.
- 38 Lucero, Jeromy. 2012. Verkkodokumentti. 1997 Superbowl 32 Den 31 GB 24 Original TV Broadcast better quality. <http://www.youtube.com/watch?v=7wNnl28dB_o>.
Luettu 4.4.2013.

39 Baltimore Ravens vs San Francisco 49ers Superbowl XLVII 2013 Highlights. 2013. Verkkodokumentti. Youtube. <<http://www.youtube.com/watch?v=rbYwbD0iLHk>>. Luettu 4.4.2013

40 Nakari, Mikko. 2012. Videomestari, Musiikkitalo. Helsinki. Keskustelu 3.10.2012.

41 Laki televisio- ja radiomainnosta. 306/30.4.2010.

42 AKI Virtual Placement Installation Guide. 2013. Verkkodokumentti. Hego Czech. <Ei julkisesti saatavilla>. Luettu 23.3.2013.

42 AKI Virtual Placement 6.1 User Guide. 2012. Verkkodokumentti. Hego Czech. <Ei julkisesti saatavilla>. Luettu 23.3.2013.

