

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Mediatekniikan koulutusohjelma

Olli Okuloff

**Ilmaiset liikkeensovitusohjelmistot videotehosteiden ja 3D-
grafiikan luomisessa**

Insinööriyö 31.5.2010

Ohjaaja: yliopettaja Erkki Aalto

Ohjaava opettaja: yliopettaja Harri Airaksinen

Metropolia Ammattikorkeakoulu Insinööriyön tiivistelmä

Tekijä	Olli Okuloff
Otsikko	Ilmaiset liikkeen sovitus ohjelmistot videotehosteiden ja 3D-grafiikan luomisessa
Sivumäärä	35 sivua
Aika	26.5.2010
Koulutusohjelma	mediatekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja	yliopettaja Erkki Aalto
Ohjaava opettaja	yliopettaja Harri Airaksinen
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää ilmaisten liikkeensovitus-, eli camera tracking -ohjelmistojen ominaisuuksien riittävyys videotuotantoon. Ilmaisia ohjelmistoja käytettiin erilaisten videomateriaalien liikkeen sovitukseen, jotta voitiin selvittää, onko ohjelmistoilla mahdollista käsitellä mahdollisimman monipuolista materiaalia.</p> <p>Liikkeen sovitus, toiselta nimeltään kameran jäljentäminen, on prosessi, jossa pyritään toistamaan todellisen kameran liikkeitä virtuaalisesti. Testaukset suoritettiin jäljentämällä videomateriaalia joka oli kuvattu vapaalla kädellä. Myös jalustalla olleen kameran jäljentämistä testattiin. Ohjelmistojen toimivuutta testattiin erilaisilla videoformaateilla ja kuvauskohteilla.</p> <p>Molemmat tutkittavaksi valituista ilmaisista ohjelmista toimivat kiitettävästi, ja kummallakin oli omat heikkoutensa ja vahvuutensa. Yleisesti vaikeat match move -ratkaisut tuottivat ongelmia niin ilmaisille kuin kaupallisillekin ohjelmistoille. Asioita, kuten riittävän hidas kameran liike, oli otettava huomioon jo kuvausvaiheessa hyvän match move -ratkaisun takaamiseksi.</p> <p>Kaupalliseen käyttöön insinööriyössä tutkittuja ohjelmistoja ei ole luvallista käyttää, mutta erilaisissa opiskelijaprojekteissa ne voisivat hyvinkin olla toimivia ratkaisuja. Ilmaisohjelmistot ovat hyvä tapa opetella liikkeen sovitusta. Rajoittuneet ominaisuudet myös opettavat ratkaisemaan ongelmia saatavilla olevin työkaluin.</p>	
Hakusanat	video, 3D camera tracking, matchmoving

Author Title	Olli Okuloff Free camera tracking software for creation of 3D effects and graphics
Number of Pages Date	35 26 May 2010
Degree Programme	Media Technology
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Erkki Rämö, Principal Lecturer Harri Airaksinen, Principal Lecturer
<p>The purpose of this study was to examine the functionality of free camera tracking software for video production. This was tested by inputting different qualities and types of video to the chosen camera trackers.</p> <p>Matchmoving, also known as camera tracking, is a process where a real world camera is recreated as a virtual camera with the same movement and parameters as the real camera. The tests were mainly performed by tracking a free move camera but a tripod rotation was also tested. The limits of the programs were tested by tracking video in different formats and types.</p> <p>Both of the chosen software had their strengths and weaknesses and both had enough features and stability to provide matchmove solutions in a stable manner. It was found that several things, for instance the speed at which the camera moves, have to be taken into consideration when creating a video for matchmoving purposes.</p> <p>Neither of the free software is legal for commercial use, but for student projects and learning matchmoving they are optimal. The lack of features teaches the users to find solutions to problems with just the tools at their disposal.</p>	
Keywords	video, 3D camera tracking, matchmoving

Sisällys

Tiivistelmä	
Abstract	
Sanasto	
1 Johdanto.....	6
2 3D Camera tracking.....	7
2.1 Tekniikka.....	7
2.2 Tiedon keruu.....	11
2.3 2D Tracking.....	12
2.4 3D-kalibrointi.....	13
2.5 Testaus.....	15
3 Testatut camera tracking -ohjelmistot.....	17
3.1 Voodoo Camera Tracker 1.0.1 beta -ohjelmisto.....	17
3.2 Icarus-ohjelmisto.....	22
3.3 Boujou-ohjelmisto.....	27
3.4 Ohjelmistojen testaukset ja tulokset.....	29
3.5 Johtopäätökset.....	32
4 Yhteenveto.....	33
Lähteet.....	35

Sanasto

Kalibroitu kamera	Kamera, jonka kaikki ominaisuudet tunnetaan.
Kalibrointi	Kameran ominaisuuksien selvittäminen.
Polttoväli	Mitta sille, miten paljon optinen järjestelmä kokoaa tai hajottaa valoa. Polttoväliä mitataan useimmiten millimetreinä (mm).
Importointi	Tiedoston tuonti toiseen ohjelmaan.
Eksportointi	Tiedoston vienti toiseen ohjelmaan.
Liikkeen sovitus	Kameran liikkeiden jäljentäminen ohjelmallisesti. Englanniksi matchmoving.
Träkkäys	3D camera tracking suomenkielistettynä. Virtuaalikameran liikkeiden sovitus todellisen kameran liikkeisiin.
Ruutu	Yksittäinen kuva videomateriaalissa, englanniksi frame.
Piirrepiiste	Kuvan seurattava osa, englanniksi feature point.

1 Johdanto

3D camera tracking, toiselta nimeltään matchmoving-tekniikka on prosessi, jossa ohjelmallisesti yritetään jäljentää todellisen kameran liikkeitä, jotta videomateriaaliin voidaan mahdollisimman uskottavasti lisätä videoefektejä. Oikein tehty match move on täysin huomaamaton lopullisessa videossa. (Dobbert 2005a: 1.)

Kun halutaan lisätä 3D-grafiikkaa tai efektejä videomateriaaliin, on videomateriaali *trakattävä*. Tähän tarkoitukseen on monia eri ohjelmistoja, ja niiden hinta vaihtelee suuresti. Alun perin valitsin insinööriyössä tutkittavaksi ohjelmaksi Voodoo Camera Trackerin, mutta myöhemmin lisäsin tutkimukseen vielä sekä Icarus -ohjelmiston, että maksullisen Boujou-ohjelmiston kokeiluversion. Tutustuin myös PFTrackin ja VooCATin ominaisuuksiin, koska ne ovat Icarus ja Voodoo Camera Tracker -ohjelmistojen jatkokehitettyjä versioita.

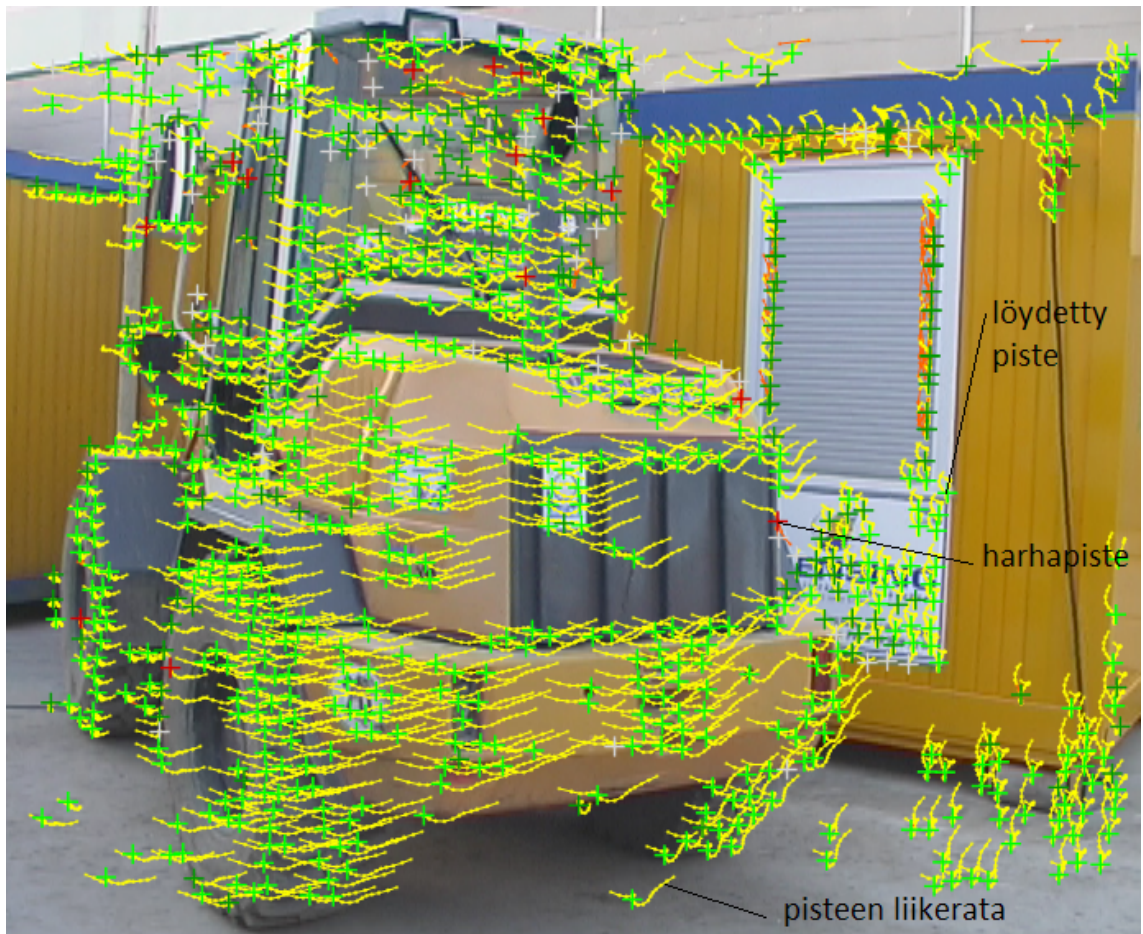
Insinööriyössä on tarkoitus tutkia eri ohjelmistojen ominaisuuksia ja rajoituksia ja pyrkiä selvittämään, onko mahdollisimman monipuolinen videotuotanto mahdollista vain ilmaisia ohjelmistoja käyttäen vai onko videota luovan henkilön välttämätöntä sijoittaa suuriakin määriä rahaa ohjelmistoon. Insinööriyön tavoite on selvittää ilmaisten camera tracker -ohjelmistojen soveltuvuus ja rajoitukset erilaisissa videotuotannoissa. Tämän tarkoituksensa mukaisesti pyritään selvittämään, miten eri ohjelmistot toimivat keskenään ja minkälaisia lähdemateriaalirajoituksia ohjelmistoissa on.

Jotta tähän tavoitteeseen päästään, selvitetään, mitä eri tiedostoformaatteja ohjelmistot tukevat ja minkälaisia videolaatuja ne voivat käsitellä. Työssä testataan myös zoomin ja tärinän vaikutusta kameran liikkeiden ratkaisuun sekä pitkien kohtauksien aiheuttamia mahdollisia ongelmia.

2 3D Camera tracking

2.1 Tekniikka

3D camera tracking on tekniikka, jota käytetään virtuaalisen materiaalin lisäämiseksi videomateriaaliin. Tämä tekniikka perustuu takaisinmallintamiseen (reverse-engineering), jossa videon perättäisistä ruuduista (frame) saatava data analysoidaan alkuperäisen kameraliikkeen selvittämiseksi. Kuvista etsitään uniikkeja piirrepiteitä (feature point), joita voidaan helposti jäljittää ruudusta toiseen. Näiden pisteiden avulla voidaan selvittää kameran sijaintia ympäristöön nähden. Löydetyt hyvät pisteet (inlier) pysyvät paikallaan ympäristöönsä nähden, ja mikäli piste liikkuu, siitä tulee harhapiste (outlier) (kuva 1).



Kuva 1. Useita automaattisesti löydettyjä piirrepiteitä ja niiden liikeratoja (Voodoo).

Seurattavia pisteitä tarkasteltaessa on hyvä pitää mielessä muutamia asioita. Seurattavaksi kannattaa valita ainoastaan paikallaan olevia esineitä. Hyviä seurattavia pisteitä ovat esimerkiksi kulmat ja nurkat eli erisuuntaisten pintojen yhtymäkohdat rakennuksissa. Ulkoilmakuvauksessa on huomioita myös tuulen aiheuttamat liikkeet kasvustoissa. Rakennusten ja muiden esineiden reunat, kahden samansuuntaisen pinnan yhtymäkohdat, taas ovat huonoja trökkäyksen kohteita. Erilaiset heijastukset ja valaistuksen muutoksen rajat voivat myös pilata ratkaisun. (Dobbert 2005a, 50-52. ; Dobbert 2005b, 59.)

Alun perin liikkeen sovitus tehtiin käsin, niin että merkittiin jokaisesta ruudusta halutut pisteet. Nykyään trökkäys tehdään kuitenkin ohjelmallisesti erilaisia automaatioita hyödyntäen. (Sanders-Reed 2006, 1-2.) Match move-ohjelmistot perustuvat perättäisten kuvien parallaksi muutoksen analysointiin ja luovat näin 2D-kuvista 3D-liikettä (Dobbert 2005a, 38). Parallaksi tarkoittaa, että havaitsijan liike aiheuttaa paikallaan olevan objektin liikettä taustaan nähden (kuva 2).



Kuva 2. Parallaksin muutos kameran siirtyessä vasemmalta oikealle. Vaikka käsi on paikallaan, sen sijainti taustaan nähden muuttuu huomattavasti kameraa siirrettäessä.

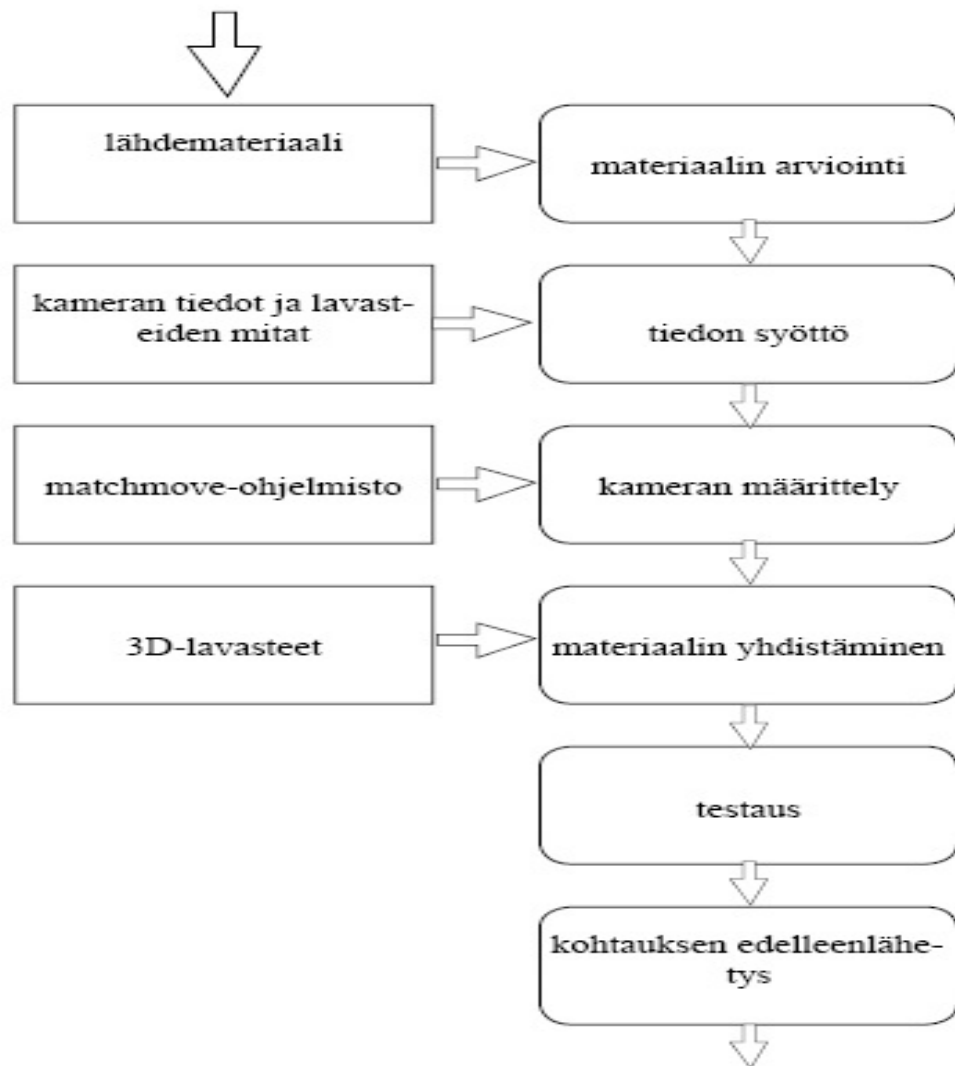
Esimerkkitapaus

Jotta ymmärrettäisiin, mitä 3D camera tracking työ sisältää, käydään seuraavaksi läpi kuvitteellinen elokuvakohtaus, jota kuvattaessa tiedetään, että siihen sisällytetään tietokoneella tehtyjä visuaalisia efektejä. Elokuva sisältää kohtauksen, jossa ohjaaja

haluaa, että tietokoneella tehty hahmo paiskautuu kerrostalon ikkunan läpi ulos kadulle ja juoksee kadun poikki kujalle. Jotta ikkunan pirstaloituminen olisi vuorovaikutuksessa hahmon liikkeen kanssa, visuaalisista efekteistä vastaava henkilö päättää, että ikkunan rikkoutuminen tehdään myös tietokoneella. (Dobbert 2005a: 2.)

Huoneessa olevan ikkunan tilalla on aukko, jonka läpi tietokoneella tehdyn hahmon tulee syöksyä. Kuvattaessa otosta kameramies kääntää kameraa, ikään kuin se seuraisi hahmoa, joka lentää ikkunan läpi ulos kadulle. Ikkunan tukipuut vedetään läpinäkyvän langan avulla auki siinä kohtaa, kun hahmo lentäisi ikkunan läpi. Kun ohjaaja on tyytyväinen otokseen, filmi lähetetään digitoitavaksi, minkä valmistuttua se lähetetään edelleen visuaalisista efekteistä vastaavaan studioon. Puhtaan videon eli digitoidut sekvenssit (plate) saatuaan studio päättää, että tarvitaan animaattori animoimaan ikkunan läpi lentävä hahmo, tekninen johtaja tekemään lasinrikkoutumisefekti ja henkilö, joka tekee 3D camera tracking -työn. (Dobbert 2005a: 2.)

Tarvitaan siis henkilö, joka tekee 3D camera tracking -työn. Tämä henkilön tehtävänä on ratkaista, missä kameran paikka oli ja miten kamera liikkui, kun alkuperäistä videota kuvattiin. Kameran liikkeen ja paikan ratkaisemiseksi kohtauksen tapahtumapaikalla on tehtävä muutamia merkintöjä, kuten merkitä muistiin huoneen mitat, ikkunan koko ja sen korkeus lattiasta sekä ikkunan ja ulkona olevan tien väliset mitat. Tärkeätä on myös merkitä muistiin, kuinka korkealla kamera on lattiasta, mitä linssiä siinä on käytetty ja kuinka kaukana kamera on ikkunasta. (Dobbert 2005a: 2.) Kuvassa 3 nähdään 3D camera tracking -työn tekevän henkilön työvaiheet ja tietolähteet.



Kuva 3. Match move -työn vaiheet ja tietolähteet (Dobbert 2005a).

3D camera tracking -työtä tekevä henkilö aloittaa platen analysoinnin tuomalla ensiksi filmimateriaalin 3D camera tracking -ohjelmaan. Tämän jälkeen hän alkaa selvittää videosta 2D-pisteitä, jotka ovat kuvassa paikallaan, kuten huoneen ja ikkunan kulmat tai muut korkean kontrastivaihtelun omaavat kohdat, joita 3D camera tracking -ohjelma seuraa, kun videota toistetaan. Ohjelman ratkaistua nämä pisteet se tekee analyysin, jonka pohjalta se määrittelee kameran paikan ja liikkeen suhteessa näihin pisteisiin. Lopulta kameran paikan ja liikkeen selvittyä 3D camera tracking -työ on pääosin tehty. Tämän jälkeen animaattori sekä tekninen johtaja tuovat omaan 3D-ohjelmaan ratkaistun CG-kameran (Computer Generated), jonka avulla heidän

hahmoanimaationsa sekä ikkunan rikkoutuminen näyttävät saumattomilta filmimateriaalin kanssa. (Dobbert 2005a: 3.)

2.2 Tiedon keruu

Tyypillisesti 3D camera tracking -tekniikkaa käytettäessä tiedetään jo materiaaliin kuvausvaiheessa tarpeesta lisätä 3D-grafiikkaa tai efektejä lopulliseen materiaaliin. Tällöin voidaan kerätä huomattavasti tietoa jo kuvausvaiheessa, esimerkiksi kameran korkeus kuvaustilanteessa, kameran polttoväli ja muu tärkeä informaatio (taulukko 1).

Taulukko 1. Kuvaustilanteessa kirjattava tieto.

Yleinen tieto	Kohtaustieto
kameran malli ja valmistaja	otto
kameran jalusta	rulla
filmi	polttoväli
	kameran korkeus
	kameran asento (kulma maahan nähden)
	etäisyys kuvattavaan kohteeseen
	ruutunopeus
	ympäristön mitat (esimerkiksi seinän korkeus)

Koska 3D tracking -työn pääasiallinen tavoite on todellisen kameran jäljentäminen polttoväliä ja kuvaformaattia myöten, on tämän tiedon saaminen jo ennen varsinaista liikkeensovitusvaihetta äärimmäisen kätevää. Tärkeimmät tiedot kamerasta ennen toiminnan aloittamista ovat kameran linssi ja sen aukko kuvausvaiheessa. Linssin tärkein ominaisuus on polttoväli, joka ilmaisee pituuden linssin ja filmin tai kennon välillä. (Dobbert 2005a: 115.)

Analysoitaessa jäljennettävää videomateriaalia on seurattava kuvan etualan ja taka-alan suhdetta toisiinsa. Jos ne eivät liiku riippumattomasti toisistaan, on mahdollista, että

materiaalia on zoomattu. Yksi haastavimmista tehtävistä 3D camera tracking -tekniikassa on yrittää laskea polttovälin muutosta zoomattaessa, mutta onneksi ohjelmat tekevät sen ihmisen puolesta. Täysin automaattinen ratkaisu harvoin toimii suoraan, joten ratkaisua on usein iteroitava. (Dobbert 2005a, 116–117.) Molemmat ilmaiset ohjelmat, ovat heikkoja polttovälimuutoksien arvioinnissa, ja molempien ohjelmistojen ohjekirjat neuvovat zoomin käyttöä vastaan. (Voodoo camera tracker manual; Icarus manual: 10).

Mikäli mitään tietoa tai mittoja ei ole kuvausvaiheessa tallennettu, voi match move ratkaisun selvittäminen olla todella työläs prosessi. Mutta jo pieni tietomäärä helpottaa ratkaisua huomattavasti. Ennen kaikkea kameran tiedot ovat hyödyllisiä, mutta myös kuvauspaikan mitat ovat arvokasta tietoa. (Dobbert 2005a: 6.)

2.3 2D Tracking

Ensimmäinen askel kohti valmista match move -ratkaisua on 2D-träkkäys, mikä on ratkaisun selvittämiseksi välttämätöntä. Tässä vaiheessa ohjelmistolle kerrotaan, mitä pisteitä sen tulee seurata selvittääkseen kolmiulotteisen liikkeen. (Dobbert 2005a: 43.) Alun perin jokainen piste valittiin manuaalisesti, mutta nykyään ohjelmistot osaavat etsiä pisteet automaattisesti erilaisten kuva-analyysimetodien avulla, joista yleisin on kulmien havaitseminen. Kulmien havaitsemiseksi on useita erilaisia algoritmeja, joista esimerkkinä Han Wangin ja Michael Bradyn yhtälö (1). Tarkkaan lopputulokseen pääsy vaatii kuitenkin usein hiukan käsin säätämistä eli manuaalisen ja automaattisen jäljentämisen sekoittamista. (Dobbert 2005a: 7.)

$$C = \nabla^2 I - c |\nabla I|^2 \quad (1)$$

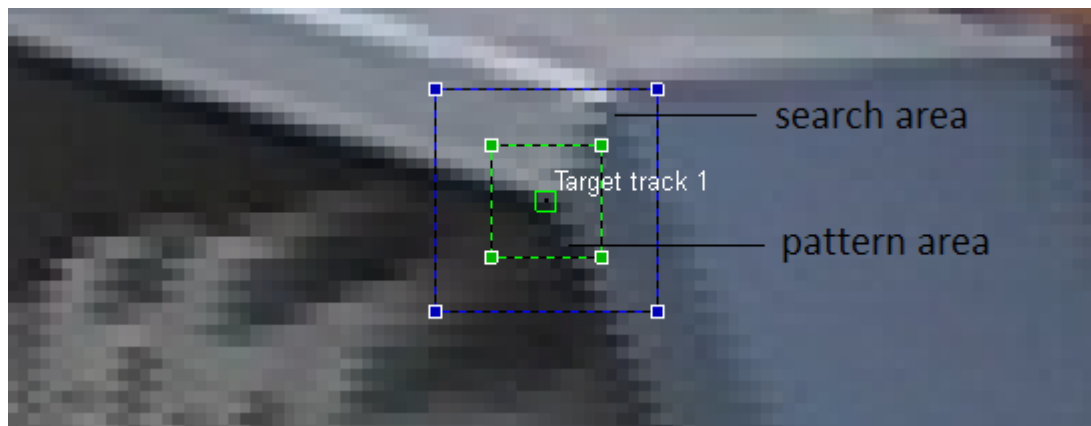
C on kulman arvo

c on kulmien havaitsemisen herkkyys

I on valovoima

(Wang & Brady 1995)

Sekä manuaalisesti että automaattisesti tehtävää 2D-träkkäämistä ajatellen on tärkeä ymmärtää hyvän trökkäyspisteen ominaisuudet ja vaatimukset. Trökkäyspisteellä on kolme osaa (kuva 4), keskipiste (centerpoint), kuviokenttä (pattern area) sekä hakukenttä (search area). Keskipiste edustaa luonnollisesti trökkäyspisteen tarkkaa keskipistettä, kuviokenttä on alue, josta ohjelma etsii haluttua kuviota, ja hakukenttä edustaa aluetta, jossa ohjelma etsii seuraavassa kehyksessä määrätty kuviota. (Dobbert 2005a: 46.)



Kuva 4. Trökkäyspiste (tracking point).

Eri ohjelmistojen ominaisuudet vaihtelevat pisteiden luomisessa ja hallinnassa. Osa ohjelmistoista ei tarjoa ollenkaan kuvio- ja hakukenttien muokkausta toisten antaessa varsin vapaat kädet siihen.

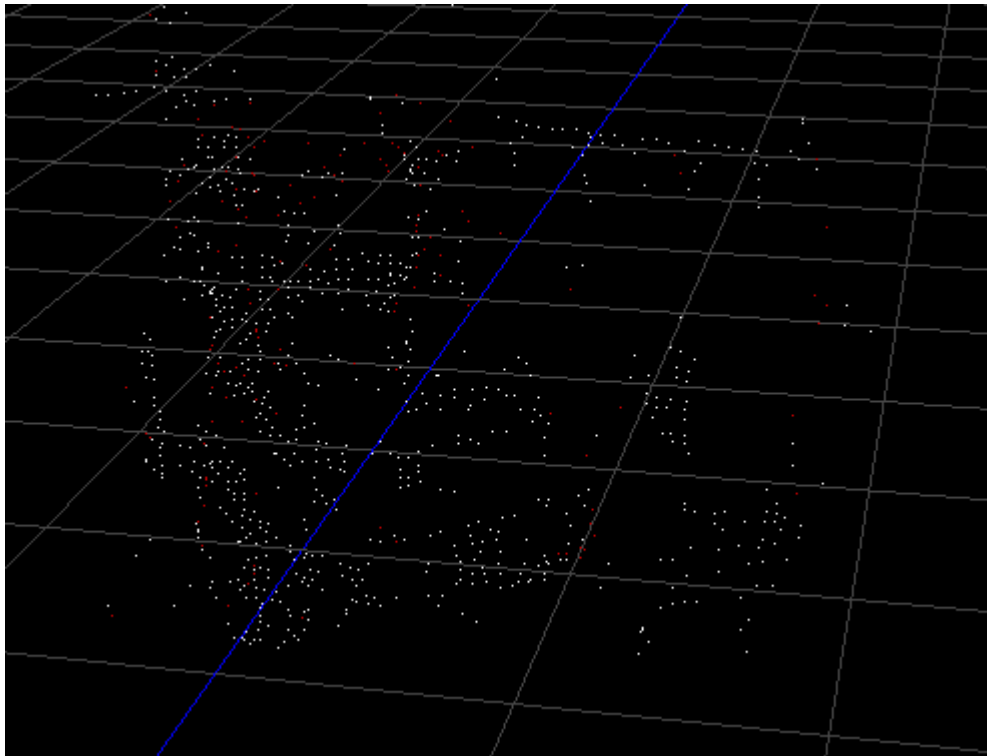
2.4 3D-kalibrointi

Kalibrointi on kaikkien kameran attribuuttien selvittämistä. Kun ohjelmistolle on annettu 2D-informaatiota, voidaan ratkaisu aloittaa. (Dobbert 2005a: 71.)

Useimmiten ratkaiseminen tapahtuu yhden napin painalluksella. Mikäli ohjelmistolle annetut trökkäyspisteet ovat toimivia, pitäisi ohjelmiston antaa virtuaalikamera, joka on yhtenäinen todellisen kameran kanssa. Käytännössä täydellisen ratkaisun saavuttaminen on mahdotonta, mutta niin kauan kuin 3D-pisteet eivät ole yli yhden pikselin päässä

kohteestaan, on tulos usein hyväksyttävä, eli niiden residuaali on alle 1 pikseli. (Dobbert 2005a: 72–73.)

Usein ohjelmistojen antamat ratkaisut ovat liian heikkoja ja niitä pitää parantaa useiden yrittysten ja erehdysten avulla (Dobbert 2005a: 74). Mikäli ratkaisu on epäonnistunut, näyttävät videoon lisätyt 3D-objektit liukuvan kuvassa. Etenkin ilmaisohjelmistoissa on kokemattoman todella haastavaa selvittää matchmovea yhdellä kertaa. Kuitenkin ratkaisun saannin jälkeen piirrepisteet ovat pisteitä 3D-avaruudessa (kuva 5).



Kuva 5. Aikaisemmasta trakkäyksestä saatu 3D-avaruus Voodoo Camera Trackerissa.

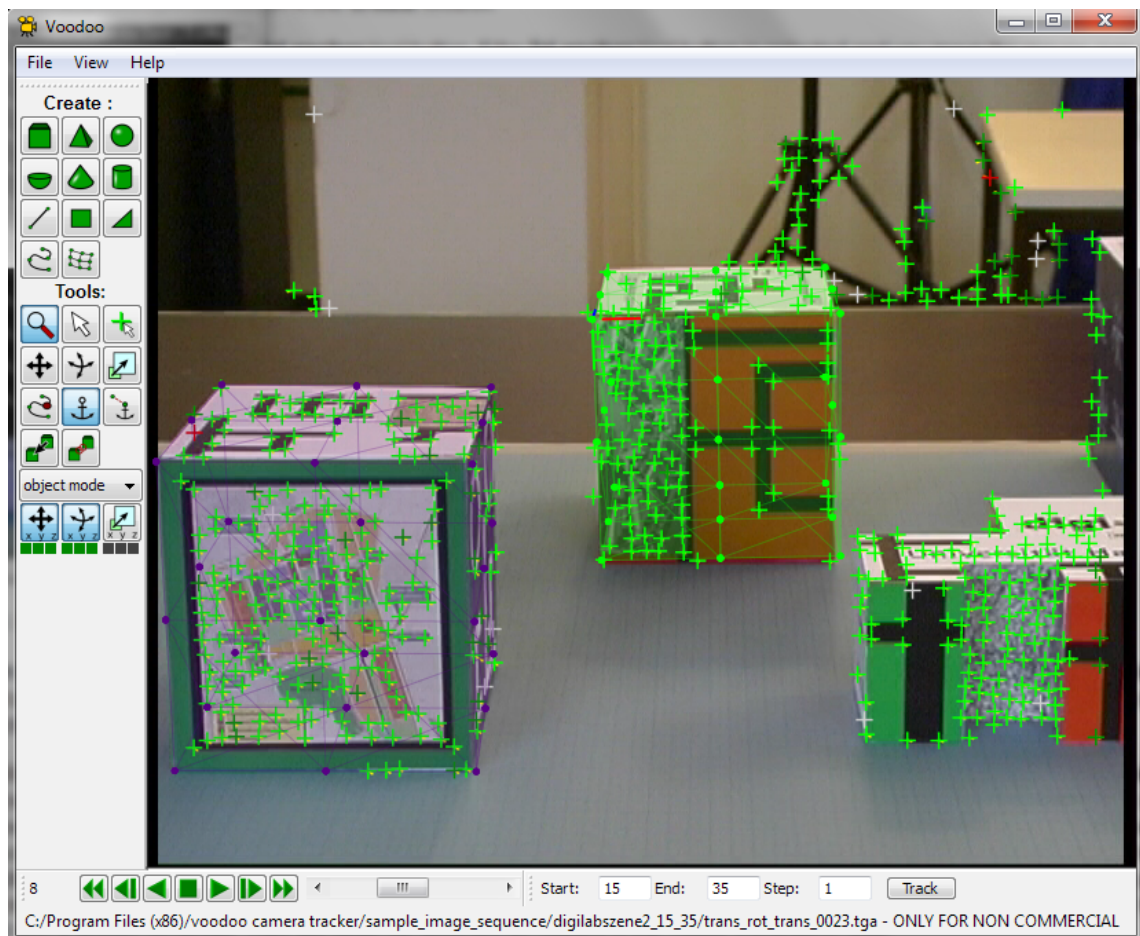
Yksi kalibroinnin osa-alue on koordinaatiston asettaminen. Tässä vaiheessa määritellään x-, y-, ja z-akselit trakkätylle otokselle. Tosin tätä tehtäessä on otettava huomioon, että eri 3D-ohjelmistot saattavat käyttää erisuuntaisia akseleita. Lisäksi koordinaatistoa tehtäessä voidaan ohjelmistosta riippuen mahdollisesti määrittää kahden pisteen välinen etäisyys. Näin kun 3D camera tracker -ohjelmistosta eksportoitu materiaali importoidaan 3D-mallinnusohjelmistoon, on sen skaala oikea. (Dobbert 2005a: 86).

Tämä ei kuitenkaan ole pakollinen vaihe, ja skaalaaminen ja koordinaatisto voidaan säätää myös 3D-ohjelmistoissa. Tosin on suotavaa tehdä se jo match move -vaiheessa, mikäli ohjelmisto sen mahdollistaa.

Huomattavaa on, että kumpikaan tutkituista ilmaisista ohjelmistoista ei toimi vakaasti pitkien, yli 400 ruutua kestävien kohtauksien kanssa. Icarus kaatui muistiongelmien jo lyhyemmälläkin testeillä ja Voodoo koki myös muistiongelmia ja kaatumisia yli 1 000 ruutua kestävässä otoksissa 10 gigatavun muistilla varustetulla koneellakin. (Voodoo Camera Tracker manual.) Kaupallisissa ohjelmistoissa on mahdollisuus pitkien otosten ratkomiseen osissa ja osien yhdistämiseen (PFTrack feature list; Boujou v5 feature list).

2.5 Testaus

Viimeisenä vaiheena jäljennysprosessissa on ratkaistun 3D-kameran yhdistäminen, usein tietokoneella tehtyyn, ympäristöön. Tässä vaiheessa viimeistään selviää, onko ratkaistu kamera oikeaa kameraa vastaava. Lisäksi tässä vaiheessa tehdään usein *referenssikohtaus* (reference scene) 3D-animaattoria ja muuta kohtausta työstävää henkilöstöä varten. Referenssikohtaus on usein hyvin karkea geometria näyttämään objektien paikan ja koon. Esimerkiksi lattia voidaan korvata tasolla (plane) ja pöytä laatikolla. (Dobbert 2005a: 134–135). Kuvassa 6 voidaan havaita kaksi kuutiota mallinnettuna oikeille paikoilleen ennen kohtauksen viemistä 3D-ohjelmistoon. Lisäksi kuvassa on nähtävissä Voodoo Camera Tracker -ohjelmiston mallinnustyökalut ja piirrepisteiden hallintaan tarkoitettut työkalut.



Kuva 6. 3D-mallinnustyökalu Voodoo Camera Trackerissa.

Suuri osa ohjelmistoista kykenee lisäämään yksinkertaista 3D-geometriaa kohtaukseen ilman, että materiaalia täytyy eksportoida muihin sovelluksiin. Molemmat kokeillut ilmaiset ohjelmistot (Voodoo Camera Tracker ja Icarus) pystyivät tähän (kuva 6). Voodoo Camera Trackerin mallinnustyökalu on tosin huomattavasti huonommin dokumentoitu, ja havaitsin kohtaustestauksen olevan helpompaa 3D-ohjelmistossa.

3 Testatut camera tracking -ohjelmistot

3.1 Voodoo Camera Tracker 1.0.1 beta -ohjelmisto

Voodoo Camera Tracker on Hannoverin yliopistossa kehitetty ilmainen camera tracking -ohjelmisto. Ohjelmiston ominaisuudet ovat varsin minimaaliset (taulukko 2) mutta riittävät. Suurimman osan rajoituksista pystyy itse kiertämään. Ohjelmisto on saatavilla Windows- ja Linux-ympäristöön osoitteesta <http://www.digilab.uni-hannover.de/download.html>.

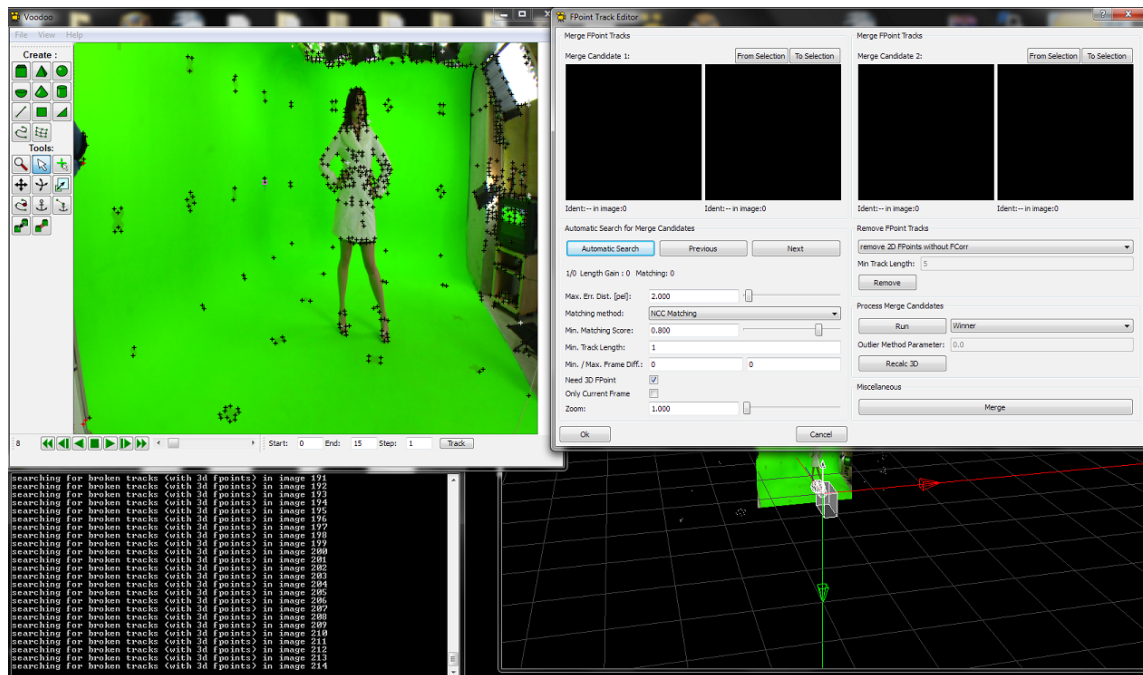
Taulukko 2. Voodoo Camera Tracker:in tukemat formaatit.

Luku	Kirjoitus
TGA	3DS Max
PNG	Blender
JPG	Lightwave
	Maya
	Softimage
	text file

Ohjelmiston käyttöliittymä on varsin yksinkertaistettu (kuva 7). Kuvassa on nähtävillä ohjelmiston ikkunapohjainen käyttöliittymä, jossa jokainen työkalu avautuu omaan ikkunaansa. Vasemmalla alhaalla konsoli, joka kertoo, mitä ohjelma tekee. Vasemmalla ylhäällä pääasiallinen käyttöliittymä. Oikealla ylhäällä on FPoint track editor, jolla voidaan yhdistää pisteitä. Oikealla alhaalla näkyy 3D-avaruus FPoint track editorin alla.

Voodoo Camera Tracker ei siis tue kovinkaan suurta määrää erilaisia tiedostoformaatteja. Tuki pelkästään kuvasarjoille johtaa yleisesti ylimääräiseen työvaiheeseen, kun video pitää muuntaa sarjaksi kuvia. Tosin on huomioitava, että tutkimuksen aikana ohjelmistoon lisättiin .JPG-tuki ja ohjelmistoversio kasvoi 0.9.5 betasta 1.0.1 betaan. Kehitys toi myös tuen SIFT – Keypointeille, mikä poisti

mahdollisuuden kaupalliseen käyttöön. Vanhemmat versiot ovat edelleen kuitenkin saatavilla, ja niiden käyttö kaupallisissa projekteissa on mahdollista.



Kuva 7. Voodoo Camera Trackerin käyttöliittymä.

Ohjelmisto toimii viidessä vaiheessa. Ensimmäiseksi etsitään piirrepiisteet automaattisesti. Tämän jälkeen ohjelmisto vertaa eri ruuduista löytyviä pisteitä ja poistaa huonosti sopivat pisteet (outliers). Lopuksi ohjelmisto selvittää kameran ominaisuudet inkrementaalisesti ja jakaa mahdolliset virheet tasaisesti videon koko kestolle (kuva 8). (Voodoo Camera Tracker manual.)



Kuva 8. Voodoo camera trackerin 5-vaiheinen prosessi (Voodoo Camera Tracker manual).

Kaikki interaktio piirrepisteiden kanssa tapahtuu automaattisen trakkäyksen jälkeen. Näitä pisteitä säädetään ja yhdistetään FPoint track editorilla, kunnes saavutetaan haluttu tarkkuus. Ohjelmisto sisältää myös mallinnustyökalut, joilla voi lisätä yksinkertaisia malleja videomateriaaliin match moven tarkkuuden tarkistamiseksi. (Voodoo Camera Tracker manual.)

Muutamia huomioitavia asioita Voodoo Camera Trackerissa on maskien puute. Koko materiaali trakkätään aina, ja ainoastaan jälkeenpäin poistamalla piirrepisteitä voidaan määrittää jokin alue trakkäyksen ulkopuoliseksi.

Voodoo Camera Tracker on ainut ilmaisohjelmisto, joka tukee Blenderiä suoraan ilman erillisiä lisäosia. Kameran ja pisteiden luonti Blenderissä onnistuu Voodooon luoman python scriptin avulla. Koodista on esimerkki alla.

```
import Blender

from Blender import Camera, Object, Scene, NMesh

from Blender import Mathutils

from Blender.Mathutils import *

cur = Scene.getCurrent()

#Camera Parameters

c0190 = Camera.New('persp')

c0190.lens = 55.969937

o0190 = Object.New('Camera')

o0190.name = "voodoo_cam190"

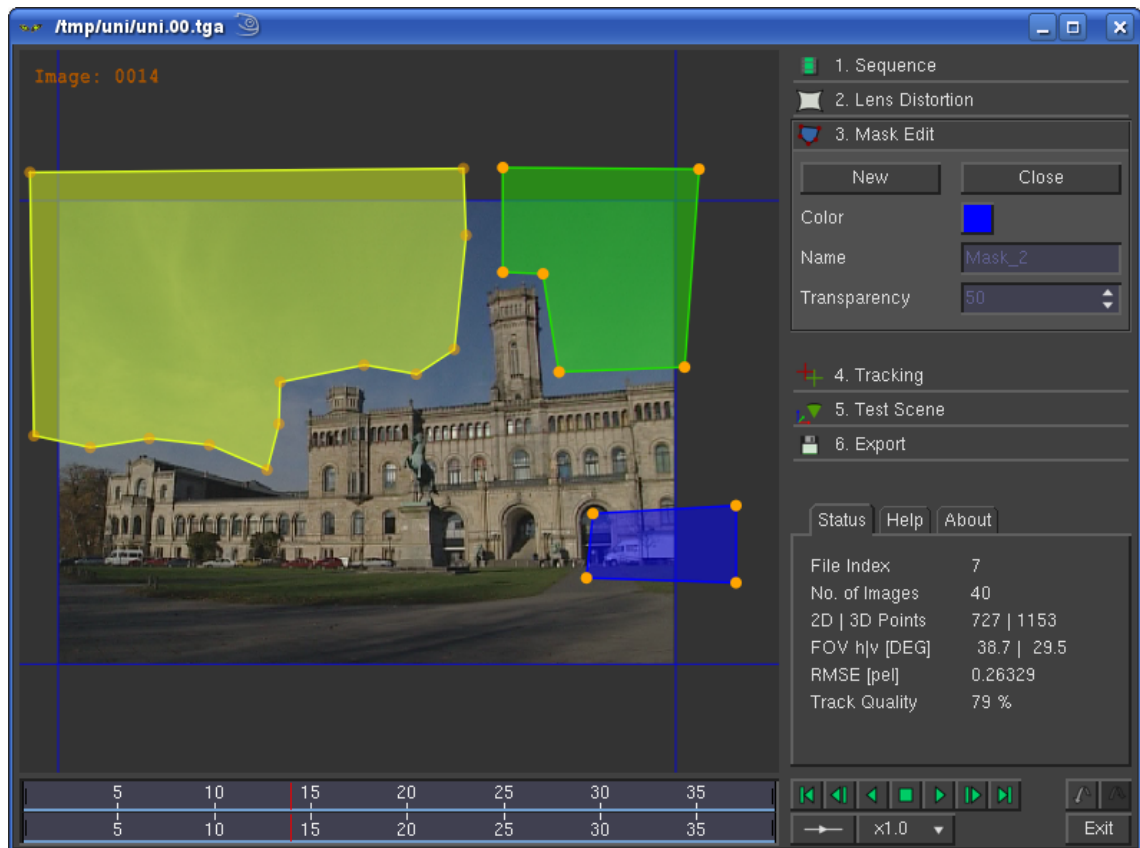
o0190.setMatrix(Mathutils.Matrix([1.000000,-0.000004,-0.000078,0.000000], [-0.000003,-0.999999,0.001394,0.000000], [-0.000078,-0.001394,-0.999999,0.000000], [-0.013952,-0.003266,0.436403,1.000000]))

o0190.link(c0190)

cur.link(o0190)
```

VooCAT 1.2

VooCAT on Voodoo Camera Trackerista jatkokehitetty ohjelmisto, joka on maksullinen mutta camera tracker -sovellukseksi varsin edullinen. Scenespector Systemsin tammikuussa 2009 julkaisema ohjelmisto on saatavilla osoitteesta <http://www.scenespector.com/> 99 euron hintaan. VooCATin käyttöliittymä (kuva 9) on hyvin samankaltainen kuin Voodooon käyttöliittymä, tosin työkalut on sovitettu yhteen ikkunaan.



Kuva 9. VooCATin käyttöliittymä ja maskityökalu (VooCAT manual)

Ohjelmistoon on lisätty MacOS X tuki jo Voodoo Camera Trackerista löytyvien lisäksi. Lisäksi ohjelmisto tukee huomattavasti suurempaa tiedostoformaattimäärää (taulukko 3) kuin maksuton Voodoo.

Taulukko 3. VooCATin tukemat tiedostoformaatit.

Luku		Kirjoitus
JPEG	DV	PNG
PNG	AVI (Windows)	Maya
GIF	Quicktime (OS X)	XSI
DPX	CIN	3DS Max
PNM		LightWave
TGA		Blender
BMP		Cinema 4D
TIFF		text file

Ohjelmisto on nopea mutta silti ominaisuuksiltaan varsin rajoittunut verrattuna muihin maksullisiin camera tracking -ohjelmistoihin. Ominaisuudet ovat silti riittävät, ja noin sadan euron hintainen VooCAT on edullisin vertailuun otetuista maksullisista ohjelmistoista.

3.2 Icarus-ohjelmisto

Icarus on Manchesterin yliopistossa kehitetty ohjelmisto, jonka kehitys on loppunut useita vuosia sitten, mutta ohjelmisto on silti ominaisuuksiltaan kahdesta ilmaisesta camera tracker -ohjelmistosta monipuolisempi (taulukko 4). Icarus on varsin heikosti saatavilla, sillä sitä ei saa tavanomaisesti levittää, ja ainoa sivusto, josta ohjelmiston löysin, oli Colin Levyn sivusto osoitteessa <http://www.colinlevy.com/tuts/IcarusTutorials/Icarus.php>. Colin Levy on hankkinut luvan ohjelmiston levyttämiseen Pixel Farmilta, ja näin ohjelmisto on saatavilla laillisesti. Lataus sisältää sekä ohjelmiston että ohjekirjan.

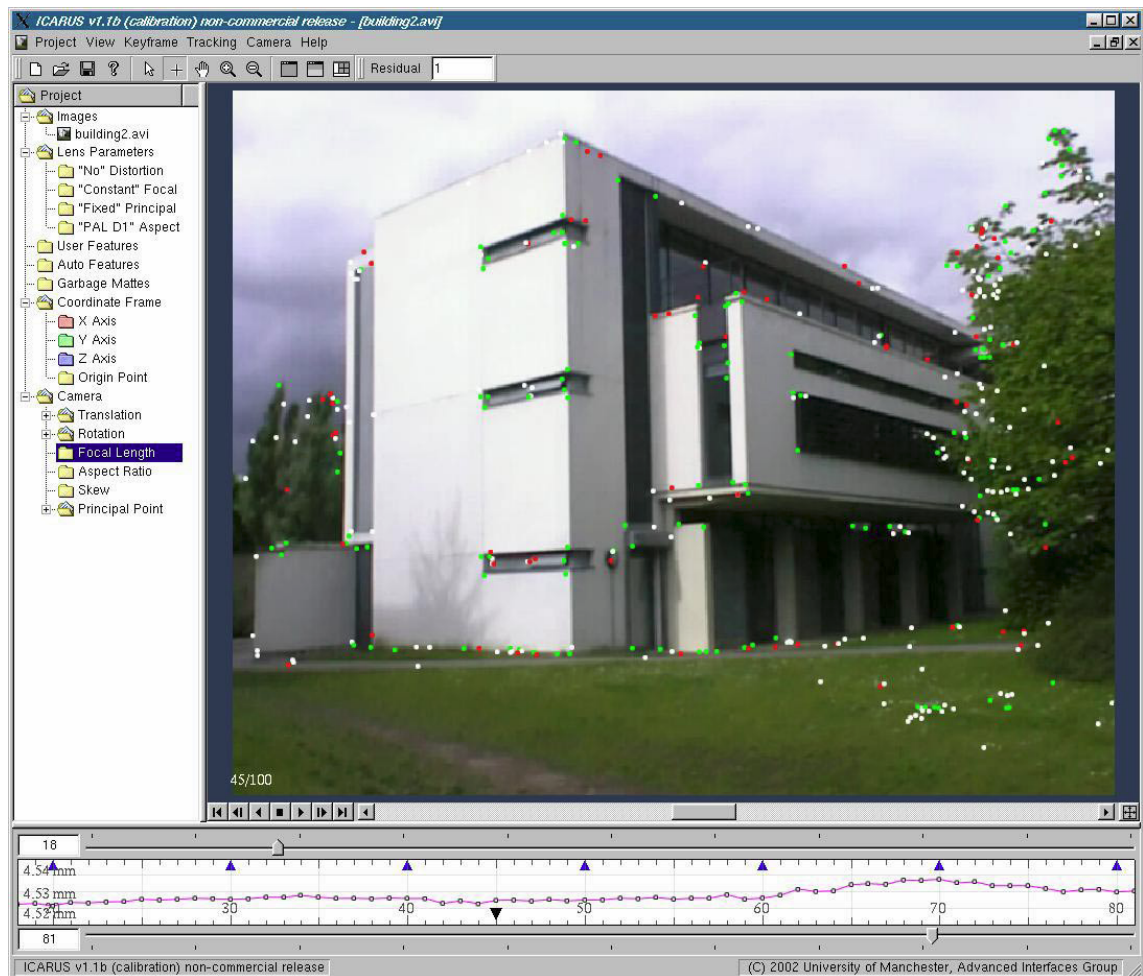
Ominaisuuksissa on niin koordinaatiston määrittelyä kuin myös tuki kuvapohjaiseen mallintamiseen. Icarus tukee myös manuaalisesti luotujen piirrepisteiden trakkäämistä yksitellen, ja pisteitä voi muokata tarvittaessa. Myös maskia (matte) on mahdollista määrittellä Icaruksessa, ja ohjelmisto osaa myös siirtää maskeja automaattisesti. Maskeja käytetään, kun halutaan estää jonkin videon alueen trakkäys. Ohjelmisto on jaettu kolmeen eri osaan, linssihäiriintymien poistoon tarkoitettu Distortion module, kameran kalibrointiin tarkoitettu Calibration module ja 3D-grafiikan luomiseen jo kalibroituun materiaaliin tarkoitettu uudelleenrakennusosa (reconstruction component). (Icarus Manual.)

Taulukko 4. Icaruksen tukemat tiedostoformaattit.

Import		Export
BMP	AVI	3DS Max
JPG	MOV	After Effects
PBM	IMS (PNG, TIFF)	Blender (scriptin avulla)
PGM		Combustion Workspace
PPM		Flame/Inferno
XBM		Lightwave
XPM		Maya
		Houdini
		Caligari Truespace
		Text file

Icaruksen ohjekirja on huomattavasti kattavampi kuin Voodoo Camera Trackerin ja auttaa selkeästi ohjelmiston opettelussa. Lisäksi ohjelmiston käyttöliittymä on varsin havainnollinen (kuva 10). Kuvassa vasemmalla sijaitsevat työkalut, valittuna polttoväli. Alhaalla näkyy polttovälin muutos ajan suhteen, ja videoruudussa näkyvät piirrepisteet. PFTrackin käyttöliittymä on hyvin samankaltainen tämän ilmaisen ohjelmiston kanssa.

Ohjelmiston heikkouksiksi havaittiin hitaus ja lievä epävakaas. Ohjelmisto kaatui häiritsevän usein muistiongelmien, mutta oli käyttömukavuudeltaan huomattavasti Voodoo Camera Trackeria parempi toimiessaan.



Kuva 10. Icarus Calibration modulen käyttöliittymä.

Mikäli Icaruksella tahdotaan työstää kuvamuodossa olevaa materiaalia, on projektiin liitettävä .ims-tiedosto (ICARUS Movie Sequence). .ims-tiedoston avulla Icarus osaa hyödyntää myös .png- ja .tiff-tiedostomuotoja. Tiedoston rakenne on seuraavanlainen:

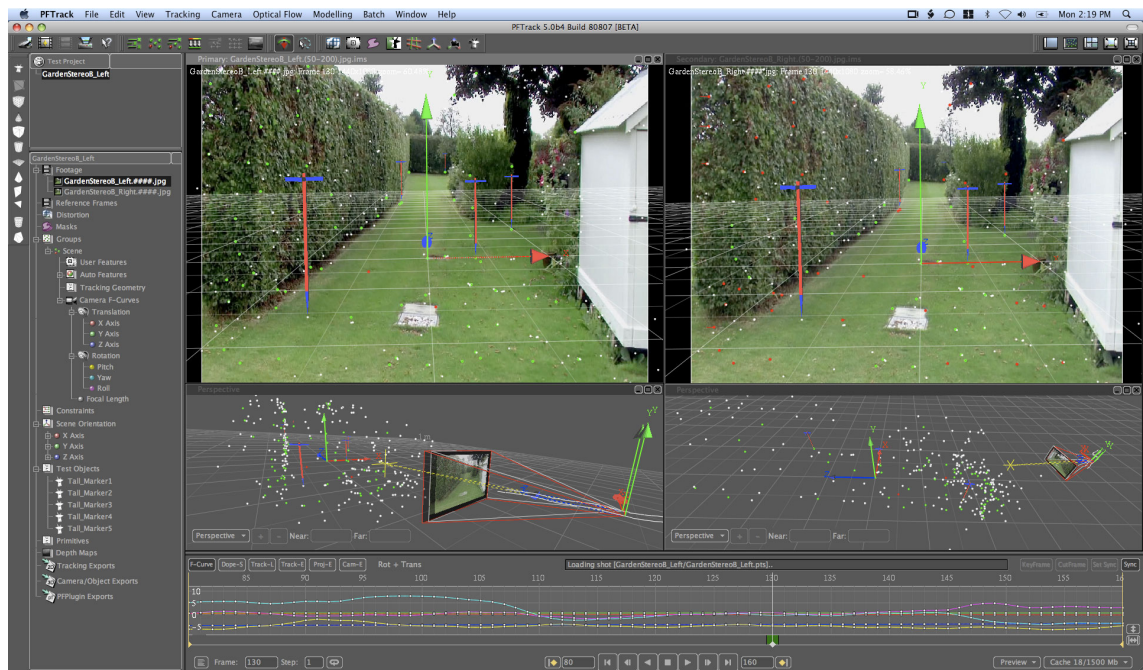
```
#IMS
5
25.0
"x:\kansio\kuva.00001.jpg"
"x:\kansio\kuva.00002.jpg"
"x:\kansio\kuva.00003.jpg"
"x:\kansio\kuva.00004.jpg"
"x:\kansio\kuva.00005.jpg"
```

Tiedoston ensimmäinen rivi on IMS-tagin, toinen rivi on ruutujen määrä ja kolmas on ruutunopeus. Tämän jälkeen listataan jokaisen ruudun tiedosto.

Ilmaista ohjelmista Icarus tarjoaa huomattavasti suuremman ominaisuusmäärän, mutta Voodoo Camera Tracker kehittyi edelleen. Molemmat ohjelmistot ovat toimivia ratkaisuja, mutta Icaruksen huomattavasti kattavampi ominaisuusmäärä tulee tarpeeseen useammin kuin nopeus yksinkertaisia kohtauksia jäljennettäessä. Tosin kaupalliseksi ratkaisuksi ilmaisista ohjelmistoista kelpaa vain Voodoo.

PFTrack

PFTrack on Pixel Farmin (<http://www.thepixelfarm.co.uk/>), tekemä 4 000 euron camera tracking -ohjelmisto, joka perustuu Icarukseen. Ominaisuuksiltaan PFTrack on vertailtavista ohjelmistoista ainoa, joka tukee stereoskooppista 3D-materiaalia (kuva 11). Lisäksi PFTrack kykenee toimimaan liikkeenkaappausohjelmistona. (PFTrack Datasheet; PFTrack Feature list.)



Kuva 11. PFTrack näkymä stereoskooppisen materiaalin trakkäyksessä. (PFTrack Feature list).

Kuvasta 11 havaitaan myös ohjelmiston samankaltaisuus Icaruksen kanssa: alhaalla ovat valitun työkalun graafit eli kuvassa kameran x- y- ja z-akselin liikkeet. Pistenäyttö videokuvien alapuolella näyttää löydettyjen pisteiden sijainnin 3D-avaruudessa.

Ominaisuuksiltaan PFTrack on huomattavasti kehittyneempi kuin ilmaiset vaihtoehdot, ja tiedostoformaattit, joita ohjelmisto tukee (taulukko 5), ovat varmasti riittävät.

Taulukko 5. PFTrackin tukemat tiedostoformaattit.

Luku		Kirjoitus	
CIN	MOV	Softimage XSI	Kuper Controls
DPX	AVI	Maya	Motion Controller
SGI RGB	MPEG	3DS Max	After Effects
Targa	SGI	Combustion	Shake
PNG		Flame/Inferno	Blender
TIFF		Houdini	Nuke
JPEG		Lightwave	FBX
		Electric Image	Motion

Ohjelmiston kokeiluversio on rajoitettu kolmeen päivään toiminta-aikaan, ja opiskeluversiosta on poistettu eksportointi mahdollisuus, joten ohjelmiston käyttöä ei päästy kokeilemaan helposti riittävästi. Lisäksi on huomioitava, että kun ohjelmiston opiskeluversio tilataan, sivusto vaatii tilaajan olevan jonkin yrityksen henkilökuntaa.

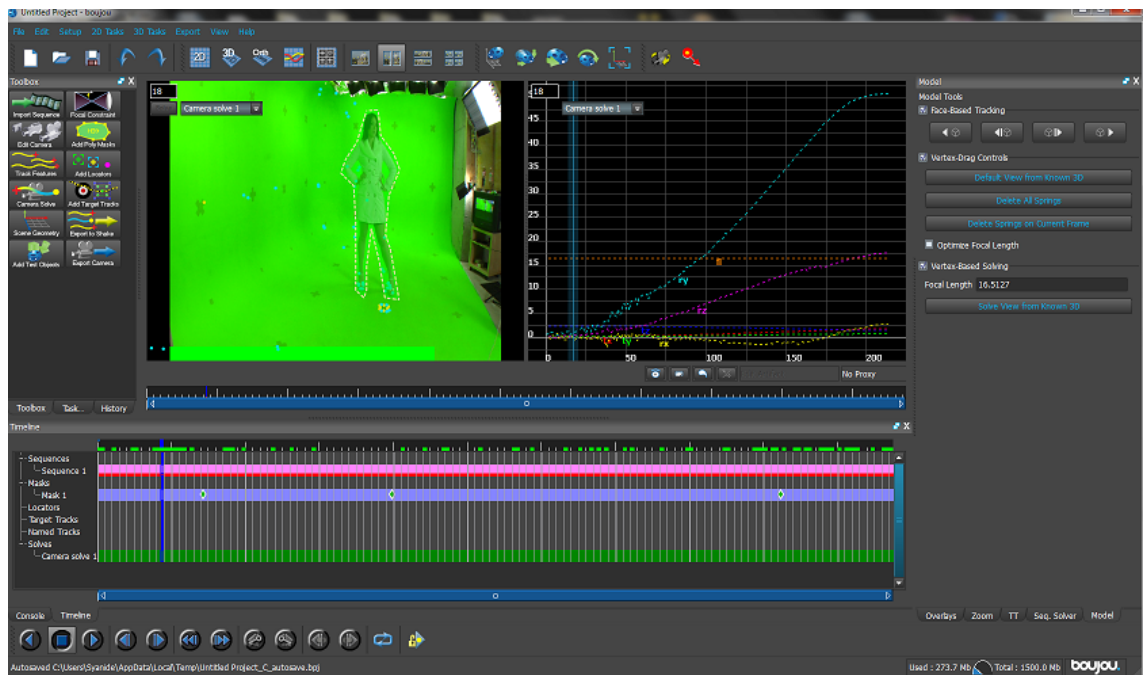
3.3 Boujou-ohjelmisto

Vicon Boujou 5 on vertailuun otetuista ohjelmistoista kallein, 10 000 euroa, mutta ominaisuuksiltaan varmasti riittävä suuremmallekin elokuvastudiolle, vain stereoskooppisen videomateriaalin träkkäysominaisuus puuttuu. Sen tukemat tiedostoformaattit ovat varmasti riittävät kenen tahansa käyttöön (taulukko 6). (Boujou v5 feature list.)

Taulukko 6. Boujoun tukemat tiedostoformaatit.

Luku		Kirjoitus
TIFF	AVI	3DS Max
TGA	WMV	Maya
RGB	ASF	.BAN
SGI	TS	Cinema 4D
PPM	MPG	Cineon
PGM	MPEG	Combustion
PNG	MOV	Filmbox
JPG		Flair
JPEG		Flame
PIC		Fusion
IFF		Houdini
CIN		Lightwave
DPX		Mistica DVE
		Softimage XSI
		Text File

Yksinkertaisten kohtausten match move ei ollut Boujoun testiversiolla juuri sen nopeampaa tai helpompaa kuin ilmaisillakaan vaihtoehdoilla. Toki tähän vaikutti ilmaisten ohjelmistojen parissa käytetty pidempi aika. Ohjelmiston käyttöliittymä (kuva 12) on varsin monipuolinen: vasemmalla ja oikealla työkaluja, video- ja graafinäytöt keskellä ja alhaalla aikajana.



Kuva 12, Boujou 5:n käyttöliittymä.

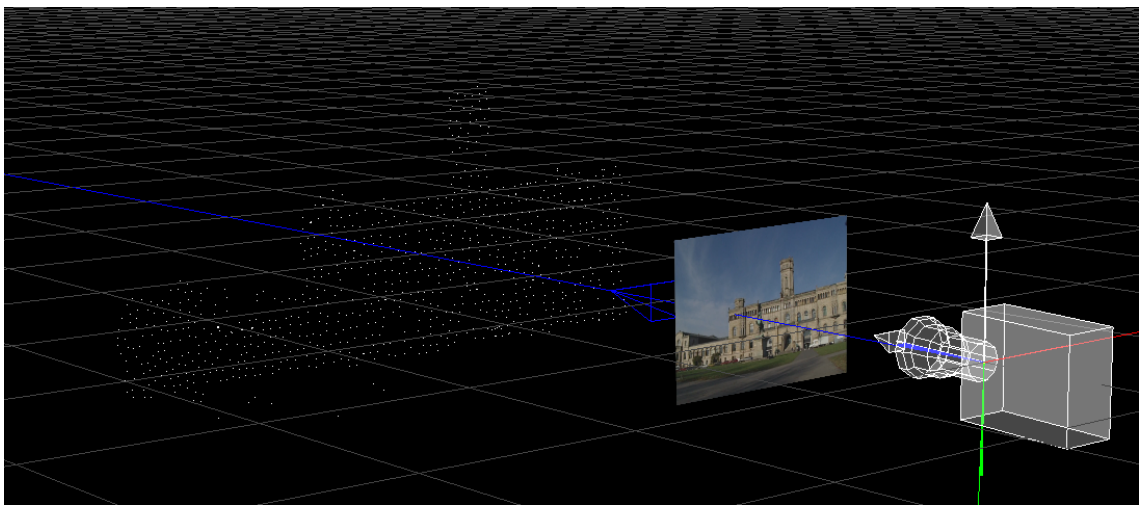
Boujou on ohjelmistona varmasti toimiva, se ei kaatunut kertakaan, mutta kymmenen tuhannen euron hintaan odottaakin paljon. Mielenkiintoista kyllä, vertailun kallein ohjelmisto ei tue jatkotyöskentelyä Blender-ohjelmistolla. Boujoun kotisivu sijaitsee osoitteessa <http://www.vicon.com/boujou/>.

3.4 Ohjelmistojen testaukset ja tulokset

Testit

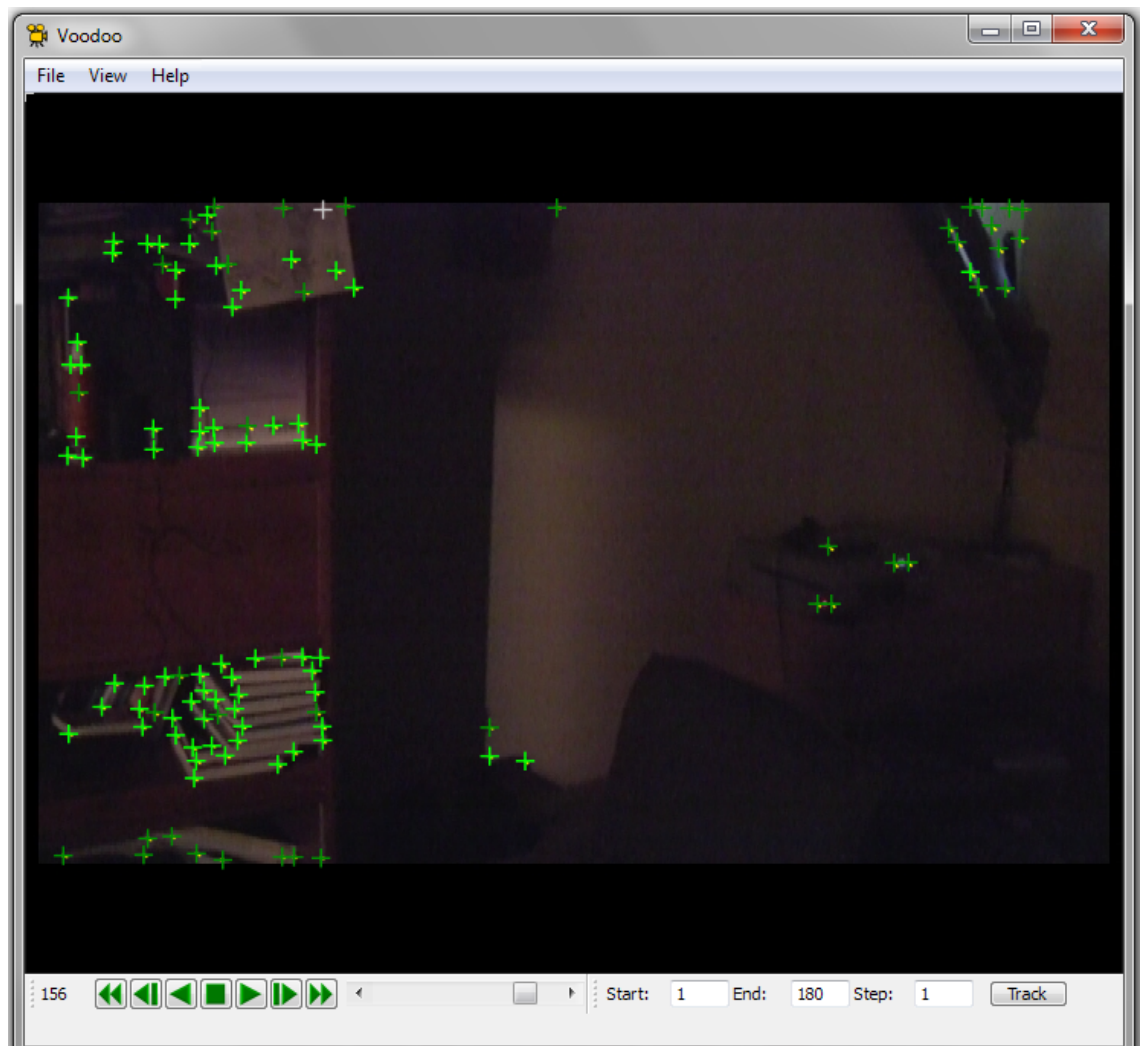
Tutkittavien kahden ilmaisen camera tracking -ohjelmiston testaamiseksi materiaali kuvattiin aluksi Sony HVR-A1E -kameralla, mutta kaappausvaiheen välttämiseksi siirryttiin Panasonic AG-HPX171E -kameran käyttöön tiedostopohjaisuuden vuoksi. Materiaali kuvattiin Panasonicilla progressiivisena, kun havaittiin lomitetun kuvan trökkäyksen olevan aivan samanlainen toimenpide kuin progressiivisenkin.

Kuvamateriaalina testattiin ensimmäiseksi vain panorointia, ja tällaista materiaalia kaikki ohjelmistot pystyvät käsittelemään helposti. Kun käytetään jalustaa ja kameraa vain käännettäessä, ohjelmistot eivät kuitenkaan kykene luomaan todellista 3D-avaruutta 3D-ohjelmistoille puuttuvan parallaksimuutoksen vuoksi. Näin toimittaessa pisteet sijoittuvat pallon sisäpinnalle (kuva 13). Ohjelmistojen ominaisuuksien testaamiseksi tråkättiin myös hämärässä kuvattua materiaalia, ja siitäkin molemmat ohjelmat suoriutuivat kiitettävästi (kuva 14).



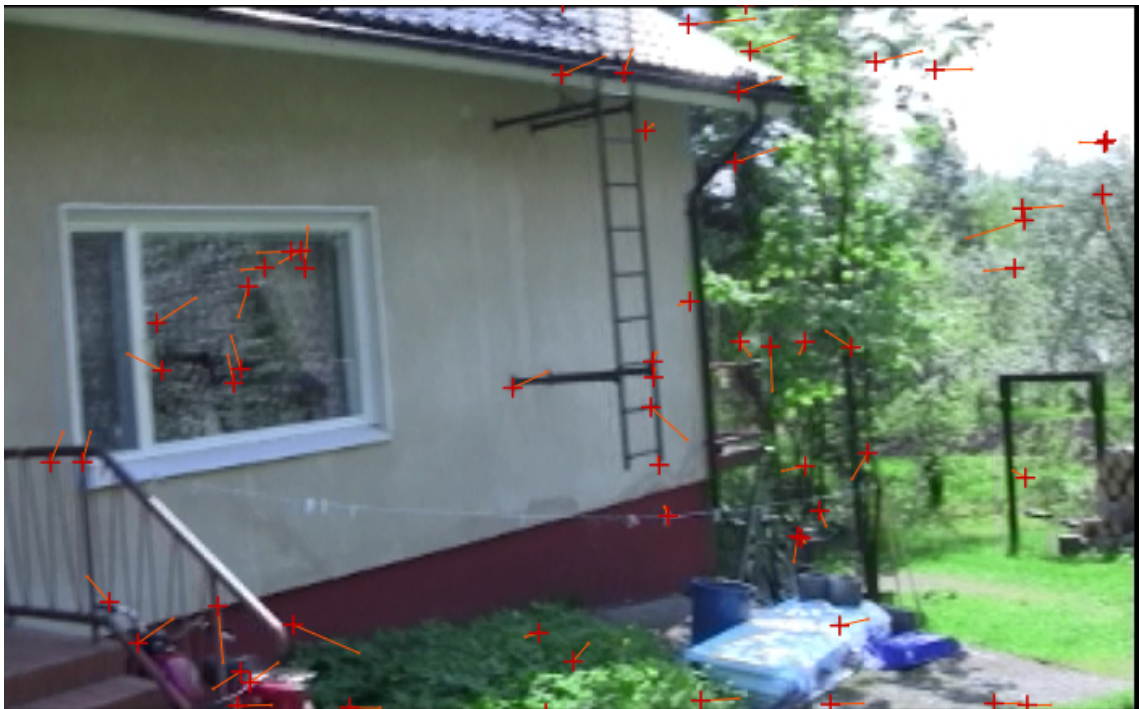
Kuva 13. jalustalla olevalla kameralla tråkätty kohtausta Voodooon 3D scene viewer -työkalussa.

Yhtä pitkää, yli 1 200 ruudun mittaista kohtausta kokeiltiin molemmilla ilmaisohjelmistoilla. Kumpikaan ilmaisohjelmisto ei suostunut ratkaisemaan kohtausta ilman ongelmia. Icaruksen toiminta oli jo videota avattaessa epävakaa ja Voodoo kaatui aina ruutujen 600 ja 800 välimaastossa. Tämän havainnon jälkeen pyrittiin ratkaisemaan kohtausta Voodooon noin 300 ruudun kestoisissa osissa. Kohtaukselle saatiin aikaiseksi useita match move -ratkaisuita, mutta pisteiden pienien sijaintierojen vuoksi kohtausta ei saatu koottua 3D-ohjelmistossa riittävän tarkasti efektien lisäämiseksi.



Kuva 14. Voodoo Camera Trackerissa tråkätty hämäärässä kuvattu materiaali.

Materiaali kuvattiin vapaalla kädellä, ja näin siihen tuli väkisinkin tärinää. Ohjelmistot suoriutuivat tärinästä kuitenkin kiitettävästi. Ongelmiakin kohdattiin, kun yritettiin tråkätä kuvaustilanteessa paljon tärissyttä kameraa. Nopea kameran liike aiheutti pisteiden siirtymisen pois pisteen hakukentästä, mikä aiheutti lyhyitä liikeratoja pisteille ja näin ollen epäonnistuneen kameraratkaisun. Kuvassa 15 nähdään liiallisen tärinän aiheuttamia harhapisteitä.



Kuva 15. Liikaa tärisevää kuvaa tråkättäessä syntyvät harhapisteet.

Kuvapohjaista mallinnusta kokeiltiin Icarus-ohjelmistolla, ja saadut 3D-avaruudet olivat kiitettävän tarkkoja. Tosin koska kuvapohjainen mallinnus on täysin manuaalista, sen havaittiin olevan äärimmäisen työlästä. Kun jokaiseen kuvaan halutaan mahdollisimman monta pistettä mahdollisimman tarkasti, on työmäärä varsin suuri. Kuvapohjainen mallintaminen oli hyvin pitkälti iteroimista pisteiden sijainnin tarkentamisessa.

Kaikkien ohjelmien työvaiheet ovat hyvin samanlaisia, ainoastaan Voodooon videomateriaalituen puute aiheutti varsinaisen ylimääräisen työvaiheen. Materiaali ladattiin ohjelmaan ja syötettiin tunnettu data. Tämän jälkeen tråkättiin ja kalibroitiin, ja mikäli kaikki toimi hyvin, suoritettiin lopullinen testaus 3D Studio Max -ohjelmistolla.

3.5 Johtopäätökset

Ilmaisia ohjelmistoja käyttäessä tulee ottaa huomioon ohjelmistojen rajoitukset. Kuitenkin suurin osa rajoituksista on mahdollista kiertää, ja ne korkeintaan lisäävät muutaman työvaiheen lopputuloksen saavuttamiseksi.

Etenkin Icarus-ohjelmisto on lähes jokaiseen työtarpeeseen riittävä ohjelmisto silloin, kun tehdään ei-kaupallista videota. Voodoo Camera Trackerin ominaisuudet ovat hyvin rajoittuneet, ja sitä käytettäessä kohtaa useita ongelmia, joita on hankala korjata huonon dokumentaation ja pienen ominaisuusmäärän vuoksi. Toisaalta nopeutensa vuoksi Voodoo soveltuu hyvin ensimmäiseksi kokeiluohjelmistoksi, jotta voitaisiin selvittää hitaamman ohjelmiston tarve.

Kaupallisten ohjelmistojen ominaisuudet ovat kattavat, mutta ohjelmat itsessään ovat varsin kalliita lisensseiltään. Ainoa lähes pakollinen ominaisuus, mikäli halutaan tuottaa stereoskooppista videota, jota ei ilmaisissa ohjelmistoissa ollut, on stereoskooppisen videomateriaalin trökkäys, ja siihen kykenee kaupallisistakin ohjelmistoista vain yksi.

Teoriassa stereoskooppinen video on aivan yhtä helppo työstää ilmaisilla ohjelmistoilla kuin tavallinen videomateriaalikin. Käytännössä kuitenkin virheet kasvavat ja 3D-grafiikan perspektiivi eroaa helposti hieman videon perspektiivistä. Tämä johtaa tarpeeseen saada huomattavasti tarkempi match move -ratkaisu, ja se lisää työmäärää.

Kun camera tracking on suoritettu ja on saatu hyvin todellista kameraa vastaava virtuaalikamera, siirretään data 3D-ohjelmistoon. Ainoastaan Voodoo Camera Tracker, VooCAT ja PFTrack tukevat Blender-ohjelmaa, mutta myös Icarukseen on saatavilla erillinen *Python script* -tiedosto yhteistoiminnan takaamiseksi. Käytettäessä Blender-ohjelmaa saadaan aikaiseksi ohjelmistokustannuksiltaan ilmainen tuotantolinja.

4 Yhteenveto

Insinööriyössä tutkitut ilmaiset 3D camera tracking -ohjelmat, Voodoo Camera Tracker ja Icarus, ovat ominaisuuksiltaan riittäviä yksinkertaisten kohtausten trakkäämiseen. Ominaisuuksiltaan paremmin varusteltu Icarus on huomattavasti monipuolisempi ja sallii kuvapohjaisen mallinnuksen parhaimmillaan jopa vain kahden kuvan avulla, käytännössä kuitenkin tarvitaan kolme tai useampia kuvia.

Voodoo Camera Trackerin aikaisempien versioiden mahdollistama kaupallinen työ on kuitenkin pelkkään opiskelukäyttöön soveltuvaa Icarusta huomattavasti järkevämpi vaihtoehto. Pienempi määrä ominaisuuksia ei ole niinkään haitta vaan etu perusasioita opiskeltaessa, tosin etenkin Icaruksen ominaisuusmäärä jopa ylittää halvimmat kaupalliset vaihtoehdot.

Sinällään ohjelmistojen toiminnassa ei ole mitään ongelmia. Suurin osa epävakaudesta syntyy käyttäjävirheistä, tosin myös jostain syystä trakkäyskelvottomaan ruutuun törmättiin tutkimuksen aikana.

Voodoo Camera Trackerin ylimääräinen työvaihe, kun videomateriaali muutetaan kuvasarjaksi, poistaa sen nopeusedun Icarukseen nähden, mikäli videomateriaali on valmiiksi tiedostomuotoista. Mikäli ohjelmistoista aikoo käyttää vain toista ja tarkoituksena on vain tekniikan opiskelu, on Icarus huomattavasti kattavampine ohjekirjoineen ja tutoriaaleineen parempi valinta kuin Voodoo. Järkevintä on silti hankkia molemmat ja käyttää niitä silloin, kun ne ovat vahvimmillaan. Icaruksen suurempi hallittavuus vain vie voiton suuren osan ajasta.

Ainoa suurempi ongelma ilmaisessa camera tracking -ohjelmistossa on stereoskooppisen videomateriaalin työstäminen. Helppoakaan trakkättävää materiaalia ei saatu trakkättyä toimivasti, jos se oli stereoskooppista. Tarvittavan tiedon ja tarkkuuden määrän lisääntyessä mahdollisuudet toimivaan ratkaisuun vähenevät suuresti.

Kun Blender mahdollistaa videomuokkauksen ja Voodoo Camera Trackerin aikaisemmat versiot mahdollistavat liikkeen sovituksen, on ohjelmistoltaan ilmainen videotuotantolinja mahdollista perustaa jopa kaupalliseen toimintaan.

Lähteet

Boujou v5 feature list. [verkkodokumentti]

<http://www.vicon.com/boujou/product-range/boujou-5/Feature-List.html> Luettu 16.5.2010.

Dobbert, Tim 2005 a. Matchmoving – The Invisible Art of Camera Tracking. California: Sybex.

Dobbert, Tim 2005 b. The rules of camera tracking. 3D World, 12th issue, s. 58–61.

http://www.computerarts.co.uk/___data/assets/pdf_file/464083/tdw71_t_tips.pdf

Gibson, Simon & Cook, Jon & Howard, Toby & Hubbard, Roger 2002. Icarus v2.07 User-Guide. University of Manchester.

PFTrack Datasheet [verkkodokumentti] The Pixel Farm.

http://www.thepixelfarm.co.uk/Content/Datasheets/Track5_Data.pdf Luettu 16.5.2010.

PFTrack feature list [verkkodokumentti] The Pixel Farm.

<http://www.thepixelfarm.co.uk/products/products.aspx?PID=3&CID=6> Luettu 16.5.2010.

Sanders-Reed, Jack 2006. Image-based motion analysis. [verkkodokumentti]

<http://spie.org/x8767.xml?highlight=x2410&ArticleID=x8767> Luettu 14.5.2010.

VooCAT manual [verkkodokumentti] Scene Spector.

<ftp://ftp.scenespector.com/pub/software/VooCAT-1.2-en.pdf> Luettu 16.5.2010.

Voodoo Camera Tracker manual [verkkodokumentti] University of Hannover.

<http://www.digilab.uni-hannover.de/docs/manual.html> Luettu 15.5.2010.

Wang, Han & Brady, Michael 1995. Real-time corner detection algorithm for motion estimation. Image and Vision Computing. Volume 13, Issue 9, s. 695–703.