

Tutkintotyö

Lauri Korpela

3d-mallien soveltaminen lentotiedustelun tunnistusteh- tävissä

Korpela, Lauri	3d-mallien soveltaminen lentotiedustelun tunnistustehtävissä
Tutkintotyö	35 sivua + 2 liitesivua
Työn ohjaaja	DI Tony Torp
Työn teettäjä	Insta DefSec Oy, valvojana TkT Ari Nissinen
Toukokuu 2006	
Hakusanat	3d, 3d-malli, 3-ulotteinen, lentotiedustelu, maali, tunnistus, UAV

TIIVISTELMÄ

Lentotiedustelun maalien tunnistaminen on perinteisesti tapahtunut vertailemalla saatua materiaalia valokuviin, teknisiin piirustuksiin ja tunnettuihin mittoihin. Käytettävä 2-ulotteinen materiaali asettaa kuitenkin omat rajoitteensa vertailun tekemiselle ja vertailumateriaalia on vaikea saada tasalaatuisiksi.

Työssä on tutkittu voitaisiinko tätä tunnistamisprosessia parantaa ja tarkentaa käyttämällä apuna maalialkioita esittäviä 3d-malleja. Työ koostuu kahdesta osasta: kaupallisten 3d-mallien tutkimus ja sitä tukevan demonstraattorin toteuttaminen.

Tutkimuksessa on selvitetty kaupallisten 3d-mallien ja mallikirjastojen saatavuutta, hintoja ja soveltuvuutta. Lisäksi on selvitetty tarjolla olevien mallien tiedostomaatteja. Tutkimus tehtiin Internetissä toimivien 3d-mallien kauppapaikkojen avulla, etsien juuri tähän käyttöön sopivia malleja ja mallikirjastoja.

Demonstraattori-ohjelma on toteutettu Javalla ja Java3d:llä. Java valittiin ohjelmointikieleksi sen käyttöjärjestelmäriippumattomuuden takia. Lisäksi sillä tehtyjä ohjelmia voidaan käynnistää myös Java-applettina Internet-selaimeen. Ohjelmalla on tarkoitus pystyä selaamaan mallikirjastoa ja tarkastelemaan sen malleja eri suunnista ja olosuhteissa.

Tutkimustulokset toimivat asiakkaalle lähtökohtana oman mallikirjaston kokoamiseksi. Ohjelman tämä versio jää asiakkaalle testikäyttöön, eikä sitä tueta enää tämän jälkeen. Ohjelmisto on suunniteltu ja toteutettu siten, että demonstraattorin pohjalta voidaan kehittää myös operatiivinen ohjelmisto.

Korpela, Lauri	Application of 3d-models in target identification of air reconnaissance
Engineering Thesis	35 pages, 2 appendices
Thesis Supervisor	Tony Torp, M.Sc.
Commissioning Company	Insta DefSec Oy, supervisor Ari Nissinen, D.Sc. (Tech.)
May 2006	
Keywords	3d, 3d-model, 3-dimensional, air reconnaissance, identification, target, UAV

ABSTRACT

Traditionally, the target identification of air reconnaissance is made by comparing reconnaissance images to photographs, technical drawings and known measurements. Using this kind of 2-dimensional material has its limitations when trying to identify the targets seen from various view angles. It is also difficult to get a uniform material this way.

In this study, research has been made to find out if the identification process can be improved by using 3d-models. The study has been divided into two parts: a survey of commercial 3d-models and implementing demonstration software for viewing the 3d-models.

The survey was made among Internet stores selling 3d-models and model libraries. It includes information about availability, price and suitability of commercial 3d-models. There is also a recommendation for possible file formats of 3d-models.

The demonstration software was implemented with Java and Java3d. Java was chosen because of its portability. A program made Java can also be started as a Java-applet into Internet browser.

The results of the survey can be used as a base when composing own model library. The final version of the demonstration software will remain for the customer and it won't be supported after this. However, the design and implementation is such that it can be used as a base line for developing the operational software.

ALKUSANAT

Tämä tutkintotyö on tehty kokonaisuudessaan keväällä 2006 Insta DefSec Oy:ssä yhteistyössä Suomen Puolustusvoimien ja Tykistörikaatin Tiedustelupatteriston Lentotiedustelupatterin kanssa. Työ on tehty osana FinUVS-teknologiaohjelmaa.

Haluan kiittää työn ohjaajaa DI Tony Torpia nopeista liikkeistä työn tarkastamisen suhteen. Kiitän myös työn valvojaa Tkt Ari Nissistä työn ripeästä aikataulutuksesta ja tavoitteiden asettamisesta sopivan korkealle sekä tietysti saadusta tuesta projektin aikana. Esitän kiitokseni myös Lentotiedustelupatterille ja Jarmo Säkki-selle aktiivisesta yhteistyöstä projektin aikana.

Lopuksi haluan vielä kiittää Maijaa, joka toimi tämän raportin kielipoliisina ja projektin aikana henkisenä tukena pahimpien taistelujen keskellä.

Tampereella 8. toukokuuta 2006.

Lauri Korpela

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO	5
LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
1.1 UAV yleisesti	7
1.2 UAV-järjestelmä.....	8
1.3 Tutkintotyön rakenne	9
2 LENTOTIEDUSTELUN TUNNISTUSTEHTÄVÄT	10
2.1 Tehtävänanto ja valmistautuminen	10
2.2 Lento	10
2.3 Perustulkintavaihe	11
2.4 Raportointi	11
3 KAUPALLISTEN 3D-MALLIEN KÄYTTÄMINEN TUNNISTUKSESSA	12
3.1 Vaatimukset tunnistamisen kannalta	12
3.2 Tiedostoformaatit.....	12
3.2.1 Wavefront .obj	12
3.2.2 3ds Max .3ds	13
3.2.3 OpenFlight Scene Description .flt	14
3.3 Kaupalliset mallit ja mallikirjastot	15
3.3.1 Löydetyt mallikirjastot	16
3.3.2 Formaattit	17
3.3.3 Lisenssiehdot.....	17
4 DEMONSTRAATTORI	18
4.1 Käytetyt teknologiat ja tekniikat.....	18
4.2 Järjestelmävaatimukset	19
4.3 Ominaisuudet	19
4.4 Suunnittelu	20
4.4.1 Koordinaatisto.....	20
4.4.2 Kameran asetukset.....	21
4.4.3 Olosuhteet	22
4.4.4 3d-malliin liittyvät asetukset	23
4.4.5 Ohjelman käyttämä formaatti 3d-malleille	23
4.5 Käyttöliittymä	24
4.6 Toteutus	24
5 TULOKSET	27
5.1 Sopivat formaatit.....	27
5.2 Löydetyt mallit ja mallikirjastot	27
5.3 Mallikirjaston kokoaminen.....	28
5.4 Testaus asiakkaalla	29
5.5 Asiakkaan palaute	29
5.6 Jatkokehitys.....	29
6 YHTEENVETO	31
LÄHTEET	33
LIITTEET	

LYHENTEET

UAV	Unmanned Aerial Vehicle, miehittämätön autonominen ilma-alus
HALE	High Altitude Long Endurance, korkealla ja kauas lentävä UAV (toimintaetäisyys >200 km ja -aika 10-30 tuntia)
MALE	Medium Altitude Long Endurance, kohtalaisen korkealla ja kauas lentävä UAV (toimintaetäisyys >200 km ja -aika 10-30 tuntia)
TUAV	Tactical UAV, taktiseen käyttöön tarkoitettu UAV (toimintaetäisyys <250 km, -aika 5-24 tuntia ja lakikorkeus <5 km)
UCAV	Unmanned Combat Air Vehicle, taistelukäyttöön tarkoitettu UAV
BLOS	Beyond Line of Sight, suoran näköyhteyden ulottumattomissa
IR	Infra-Red, infrapuna
LOD	Level of Detail,
Vertex	Polygonin kärkipiste 3-ulotteisessa grafiikassa

1 JOHDANTO

Lentotiedustelua voidaan suorittaa sekä miehittyillä lentokoneilla että miehittämättömillä ilma-aluksilla eli UAV:lla /20/. Monet lentotiedustelun tehtävät ovat ihmiselle liian vaarallisia, pitkiä, tylsiä tai jopa mahdottomia, joten järkeväksi vaihtoehdoksi jää käyttää miehittämättömiä ilma-aluksia. Joskus miehittämätön ilma-alus kannattaa jopa uhrata haluttujen tulosten saavuttamiseksi. Nykyisin tiedusteluun käytetään paljon myös satelliitteja, mutta koska ne ovat todella kalliita järjestelmiä, on UAV halvempänä järjestelmänä lähes ainut vaihtoehto pienemmille maille, joilla ei ole niin paljon rahaa käytettävissä.

Tässä työssä keskitytään miehittämättömiin ilma-aluksiin ja niillä suoritettavaan lentotiedustelutoimintaan /10/.

1.1 UAV yleisesti

Vaikka UAV:n käyttötarve on pääasiassa sotilaallinen, voidaan niitä käyttää rauhan aikana myös rauhanomaisiin tehtäviin: rajavalvontaan, pelastustoimeen ja poliisin operaatioiden tukena. Tällaisia tehtäviä kuitenkin rajoittavat tällä hetkellä tiukat ilmailumääräykset, jotka vaativat toiminta-alueen ilmatilan sulkemista lennettäessä miehittämättömillä ilma-aluksilla.

Aluksen ollessa miehittämätön täytyy sitä kuitenkin jotenkin ohjata. Ohjauksen hoitaa autopilotti eli käytännössä tietokone. Se lentää joko ennalta suunnitellun reitin mukaan tai sille voidaan antaa uusia käskyjä reaaliajassa lennon aikana. Suunnistaminen tapahtuu yleensä GPS:n ja suuntahyrrän avulla. Alus on lennon aikana radiolinkillä yhteydessä maasemaan, jonne se voi välittää muun muassa paikkatietojaan ja sensoridataa.

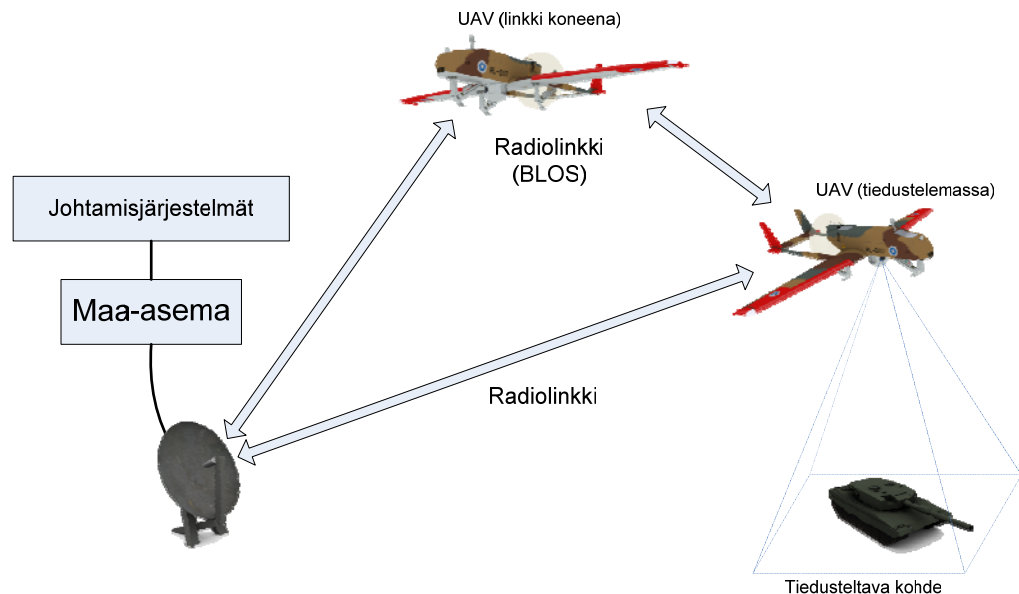
Miehittämättömien ilma-aluksien luokittelu ei ole vielä kovin vakiintunut, mutta yksi tapa niiden luokitteluun on luokitella ne lentoajan, -matkan ja -korkeuden mukaan. Tällöin ne voidaan jakaa taktisiin (Tactical) ja kestävyys(Endurance) -UAV:hin. Taktiset UAV:t (TUAV) voidaan jakaa edelleen lyhyen matkan (<50 km) ja keskipitkän matkan (50-250 km) UAV:hin. Myös kestävyys-UAV:t voidaan jakaa edelleen lentokorkeuden mukaan: High Altitude Long Endurance (HALE) ja Medium Altitude Long Endurance (MALE).

Tässä työssä mielenkiinnon kohteena on taktiset keskipitkän matkan UAV:t. Näillä voidaan lentää maksimissaan 250 kilometrin päähän, maksimi lentoajan ollessa muutamista tunteista lähes vuorokauteen ja lentokorkeuden ollessa maksimissaan noin 5 km. Ilma-alus painaa tyypillisesti joitakin satoja kiloja, siipien kärkiväli on 4-6 metrin luokkaa, ja hyötykuormaa se pystyy kantamaan muutamia kymmeniä kiloja. Pääpaino tällaisen aluksen sotilaalliselle käytölle on tiedustelun suorittaminen sekä joukkojen ja epäsuoran tulen johtaminen.

Käytettäessä UAV:ta apuna tiedustelussa ja kohteiden tunnistamisessa, puhutaan tunnistustehtävästä. Tällöin UAV lennätetään halutulle alueelle, etsitään mahdolliset kohteet ja kuvataan ne, minkä jälkeen ne pyritään tunnistamaan. Tunnistustehtävässä on eri vaiheita, joissa voidaan käyttää apuna 3d-malleja. Tunnistustehtävä ja sen eri vaiheet on kuvattu tarkemmin luvussa 2.

1.2 UAV-järjestelmä

Järjestelmä koostuu ilma-aluksesta, maa-asemasta sekä niiden välisestä radioyhteydestä, joten kyseessä on kohtuullisen suuri kokonaisuus (Kuva 1). Lisäksi maa-asemalta voi olla yhteyksiä esimerkiksi johtamisjärjestelmiin, jolloin sinnekin voidaan välittää ajantasaista tietoa.



Kuva 1. UAV-järjestelmän periaatekuva

Ilma-alus toimii kantolavettina hyötykuormalle eli erilaisille kamera- ja tutkasensoreille. Sensorit toimivat näkyvän valon, IR-valon, radioaaltojen tai mikroaaltojen alueella. Sensorit voivat olla joko aktiivisia (tutka) tai passiivisia (kamerat). Käytettäessä passiivisia sensoreita voi tiedustelua olla vaikeampi havaita, mutta toisaalta esimerkiksi tutka on monikäyttöisempi ja toimii myös pilvien läpi.

Maa-asemalla toimivat tehtävän johtaja, ilma-aluksen ohjaaja ja käytettävän hyötykuorman ohjaaja. Sieltä UAV:lle välitetään ohjaukskomentoja: suunta, korkeus, nopeus ja sensorikomennot. Tehtävän aikana UAV välittää maa-asemalle reaaliajassa sensorien havaitsemaa

tietoa ja sieltä sitä voidaan tarvittaessa välittää myös eteenpäin esimerkiksi johtamisjärjestelmään.

Radioyhteys UAV:n ja maa-aseman välillä voi olla suora, jolloin puhutaan alle 150 kilometrin etäisyyksistä, tai linkitetty (BLOS), jolloin väliin tarvitaan linkkikone välittämään radioliikennettä. Käyttämällä välissä linkkikonetta, voidaan UAV lennättää pidemmälle suorittamaan tehtäväänsä. Linkkikoneena voi toimia toinen UAV tai miehitetty lentokone. Myös satelliitteja on mahdollista käyttää linkkiyhteyden luomiseen.

1.3 Tutkintotyön rakenne

Tutkintotyössä tutkittiin, voidaanko lentotiedustelun tunnistustehtävien perustulkintaa tarkentaa ja tehostaa nykyisestäään käyttämällä siinä apuna maalialkioita esittäviä 3d-malleja ja niiden näyttämiseen soveltuvaa ohjelmaa. Työ jakaantuu kahteen osuuteen: 3d-malleihin liittyvään selvitykseen ja aihetta tukevan demonstraattorin suunnitteluun ja ohjelmointiin.

Selvitysosassa kartoitettiin kaupallisten 3d-mallien ja mallikirjastojen saatavuutta, niiden soveltuvuutta juuri tähän tehtävään sekä niiden hinta-laatu-suhdetta. Lisäksi selvitettiin tiedostoformaateja, joissa malleja tuotetaan.

Toisessa vaiheessa toteutettiin demonstraattori 3d-avusteisen perustulkinnan avuksi. Ohjelmalla voidaan ladata 3d-malleja ja katsella niitä eri suunnista ja olosuhteissa UAV:n kameran tavoin.

Luvussa 2 kuvataan lentotiedustelun tunnistustehtävää ja sen nykyistä tilannetta yleisellä tasolla. Luvussa 3 kerrotaan kaupallisista 3d-malleista ja mallikirjastoista sekä käytettävistä tiedostoformaateista.

Luvussa 4 esitetään demonstraattorin ominaisuudet, suunnittelu ja toteutus. Luvussa 5 käydään läpi demonstraattorilla saavutetut tulokset. Tutkintotyön yhteenveto on esitetty luvussa 6.

2 LENTOTIEDUSTELUN TUNNISTUSTEHTÄVÄT

Lentotiedustelun tunnistustehtävä voidaan jakaa karkeasti seuraaviin osiin: tehtävänanto, valmistautuminen, lento (kuvauskohteen etsintä ja kuvaus), perustulkintavaihe sekä raportointi.

2.1 Tehtävänanto ja valmistautuminen

Tehtävänannosta saadaan selville mitä etsitään, mistä ja milloin. Tehtävänannon perusteella suunnitellaan lentoreitti, jossa pyritään huomioimaan ilmatilarajoitukset, lentosää ja vastustajan ilma-alukselle muodostama uhka.

Ennen lentoa tutustutaan kohdealueeseen ja mietitään, missä siellä maalit voisivat sijaita. Jos ne sijaitsevat esimerkiksi metsän reunassa tai tiellä, on lentoreittiä suunniteltaessa otettava huomioon myös maaston peitteisyys ja sen vaikutus kuvaussuuntaan.

Ennen lentoa laaditaan myös lista todennäköisistä maaleista ja tutustutaan niitä esittäviin maalialkioihin, jotta lennon aikana olisi mahdollisuus tunnistaa maaleja silmämääräisesti. Lisäksi mietitään myös sitä, onko edes olemassa perusteita mahdollisten kohteiden tunnistamiselle. Esteitä kohteen tunnistamiselle voivat olla maalin lähelle pääsyn tai sopivaan kuvaussuuntaan pääsyn estyminen sekä alueella vallitseva säätila (pilvisuus tai sumu).

Olemassa olevien tietojen perusteella tehdään päätös siitä, kannattaako lentoa suorittaa lainkaan. Jos lento päätetään toteuttaa, suunnitellaan käytettävä lentoreitti mahdollisten uhkien ja kohdealueen maaston mukaan. Tarkoituksena on mahdollisuuksien mukaan päästä huomaamatta kohdealueelle ja pystyä kuvaamaan siellä halutut kohteet.

2.2 Lento

Itse lento koostuu lentoonlähdestä, lennosta alueelle, kohteen etsimisestä ja kuvaamisesta sekä lennosta takaisin ja lopuksi laskeutumisesta. UAV:lle voidaan antaa ennakkoon lentoreitti, jonka varrella kuvattavat kohteet pitäisi löytyä ja jota se seuraa, jollei saa muita käskyjä lennon aikana.

Lentoonlähdön jälkeen UAV lennetään suunniteltua lentoreittiä alueelle, jossa se kerää tiedusteluaineistoa sensoreillaan. Tämän jälkeen UAV palaa takaisin. Tarvittaessa UAV:lle voidaan myös syöttää uusia käskyjä lennon aikana, jos esimerkiksi havaitaan lähistöllä jokin mielenkiintoista joka halutaan tarkistaa. Sensorien käyttö voidaan myös ohjelmoida joko etukäteen tai niitä voidaan ohjata lennon aikana maa-asemalta.

Jos halutaan aluksen pitävän radiohiljaisuutta lennon aikana, sitä on vaikeampi havaita, mutta samalla menetetään mahdollisuus aluksen ja sensoreiden ohjaamiseen. On kuitenkin mahdollista antaa aluksen esimerkiksi lentää radiohiljaisuudessa kohdealueelle ja vasta sitten alkaa ohjata sitä ja sen sensoreita maa-asemalta käsin. Myös lennon aikana voidaan suorittaa kohteiden tunnistamista. Se on nopeaa ja lähinnä kokemukseen perustuvaa toimintaa eikä siinä käytetä apuna apuvälineitä.

2.3 Perustulkintavaihe

Lennon jälkeen saatu kuvamateriaali analysoidaan ja sieltä löytyvät maalit pyritään tunnistamaan. Tämä tapahtuu katsomalla lennolta saatu kuvanauha, etsimällä sieltä kohteita ja tunnistamalla ne. Perinteisesti tunnistaminen on tapahtunut vertailemalla saatua tiedustelumateriaalia (Kuva 2) tunnistuskuvastosta löytyviin 2-ulotteisiin kuviin, teknisiin tietoihin ja tunnettuihin mittoihin.



Kuva 2. UAV:n päiväkameran kuvaa

Tällaista vertailumateriaalia on kuitenkin vaikea saada tasalaatuiseksi, koska kuvat on voinut ottaa erilaisissa olosuhteissa, eri kulmista ja etäisyyksiltä. Myös kuvien tarkkuudet voivat vaihdella suuresti. Lisäksi vertailua vaikeuttaa se, ettei kuvia voi kääntää tai niissä vallitsevia olosuhteita pystytä muuttamaan saatua tiedustelukuvaa vastaaviksi. Edellä mainituista seikoista johtuen on noussut esiin tarve saada yhtenäistä ja vertailukelpoista materiaalia tunnistamisen helpottamiseksi.

2.4 Raportointi

Perustulkintavaiheen jälkeen laaditaan tiedusteluraportti lennon ja perustulkinnan tulosten perusteella.

3 KAUPALLISTEN 3D-MALLIEN KÄYTTÄMINEN TUNNISTUKSESSA

3.1 Vaatimukset tunnistamisen kannalta

3d-mallien käyttäminen tällaisessa yhteydessä asettaa malleille tiettyjä vaatimuksia liittyen niiden tarkkuuteen ja todenmukaisuuteen. Toisaalta yksittäisen 3d-mallin täytyy olla tarpeeksi tarkka, jotta siitä näkyvät kaikki kohteen tunnistamisen kannalta oleelliset yksityiskohdat. Toisaalta 3d-mallin polygonimäärän on syytä olla tarpeeksi alhainen, jotta ohjelma pystyy piirtämään kuvaa reaaliajassa. Tässä tapauksessa kuvanpiirtonopeudeksi riittänee minimissään noin 15 kuvaa sekunnissa, jolloin mallia voidaan pyörittää käyttöliittymässä jouhevasti. Alustavasti arvioitiin, että sopiva polygonimäärä olisi noin 1000 – 5000 polygonia yksittäistä 3d-mallia kohden.

Tämän kaltainen käyttö asettaa käytettäville 3d-malleille vaatimuksia myös mallien autenttisuuden suhteen. Koska maalin tunnistaminen perustuu täysin käytettäviin 3d-malleihin, täytyy niiden olla tarkasti esikuviaan vastaavia. Käytännössä tämä tarkoittaa mittasuhteiden sekä tunnistamisen kannalta tärkeiden osien, kuten renkaiden tai antennien määrän vastaavuutta esikuvaansa nähden. Tunnistamisen kannalta juuri 3d-mallin autenttisuus nousee tärkeimmäksi seikaksi.

3.2 Tiedostoformaatit

Tutkimuksessa käytiin läpi myös erilaisia tiedostoformaatteja, joissa 3d-malleja on tarjolla. Tässä kappaleessa esitellään niistä kolme sopivinta vaihtoehtoa.

Käsiteltäviksi tiedostoformateiksi /15/ valittiin Wavefront Technologiesin (nykyisin Autodesk) Advanced Visualizerin käyttämä OBJ (.obj) /18/, Autodeskin 3ds Maxin käyttämä Scene format (.3ds) /1/ sekä MultiGen Inc. Databasesin OpenFlight Scene Description (.flt) /13/. Ensimmäinen valittiin mukaan sen Java3D:stä valmiiksi löytyvän 3d-mallin lataajan takia, toinen sen laajan levinneisyyden takia ja viimeinen siksi, että se on alkujaan suunniteltu juuri reaaliaikaisia simulaattoreita varten. Kaikissa edellä mainituissa formateissa löytyi myös suuri joukko 3d-malleja mallikirjaston kokoamista varten.

3.2.1 Wavefront .obj

Wavefront Technologiesin OBJ-tiedostoformaatti on lähtöisin samaisen yrityksen Advanced Visualizer –ohjelmasta 1980-luvulta. Yritys on sittemmin ajautunut erinäisten vaiheiden kautta Autodeskin omistukseen ja Advanced Visualizer –ohjelman kehitys on loppunut jo 1990-luvulla. Formaattina Wavefrontin OBJ on kuitenkin jäänyt elämään, ja on nykyisin avoin formaatti.

Monet 3d-mallinnusohjelmat tukevatkin nykyään tätä formaattia ja sille on helppo sekä tuottaa uusia malleja että löytää valmiita malleja. Myös Java3d tukee suoraan tämän formaatin käyttämistä ladattavissa 3d-malleissa.

Taulukko 1 Wavefront .obj formaatin ominaisuuksia

Valmistaja	Wavefront
Pääte	.obj
Verteksin koordinaatit	Kyllä
Verteksin värit	Materiaalin mukana
Verteksin normaalit	Kyllä
Tekstuurien koordinaatit	Kyllä
Teksturointi	Oma materiaali formaatti (tukee tekstuureita)
LOD	Ei
Avoin / suljettu	Avoin
Kaupallinen / vapaa	Alkujaan kaupallinen, nykyään vapaa
Loader Java3D:lle	Kyllä
Pakkaus	Ei
Ascii / binääri	Ascii

3.2.2 3ds Max .3ds

3ds-formaatti on Autodeskin 3ds Maxin käyttämä tiedostoformaatti objekteille. Se on ollut käytössä jo yli kymmenen vuotta ja saavuttanut suuren suosion 3d-grafiikan maailmassa. Formaatti on suljettu, eikä sen spesifikaatioita ole virallisesti julkaistu. Kuitenkin sen iästä ja suosiosta johtuen on liikkeellä epävirallisia spesifikaatioita ja tiedoston rakenne on hyvin tiedossa.

Lähes kaikki 3d-mallinnusohjelmat tukevat tätä formaattia, jolloin siinä on helppo luoda 3d-malleja. Lisäksi Java3d:lle löytyy monia valmiita tätä formaattia tukevia 3d-mallin lataajia.

Taulukko 2 Autodesk 3ds Max formaatin ominaisuuksia

Valmistaja	Autodesk Inc.
Pääte	.3ds

Verteksin koordinaatit	Kyllä
Verteksin värit	Kyllä
Verteksin normaalit	Kyllä
Verteksin koordinaatit	Kyllä
Teksturointi	Tekstuurin nimi mukana tiedostossa
LOD	Ei
Avoin / suljettu	Suljettu (epävirallisia spesifikaatioita löytyy)
Kaupallinen / vapaa	Kaupallinen
Loader Java3D:lle	Kyllä (useita)
Pakkaus	Ei
Ascii / binääri	Binääri

3.2.3 OpenFlight Scene Description .flt

Vuonna 1996 julkaistu flt-formaatti on suunniteltu erityisesti graafisia reaaliaikasovelluksia varten. Tämä näkyy esimerkiksi siinä, että formaattiin on sisäänrakennettu tuki mallin eri tarkkuuksille (LOD). Käytännössä malli on tallennettuna eri tarkkuuksilla jo tiedostossa itsessään, jolloin ohjelmassa voidaan valita piirrettäväksi sopivan tarkka malli esimerkiksi mallin etäisyyden mukaan. Tästä on suurta hyötyä erityisesti sellaisissa ohjelmissa, joissa saattaa olla monta mallia yhtä aikaa ruudulla.

Vaikkakin kyseessä on suljettu ja kaupallinen formaatti on sen spesifikaatiot kuitenkin julkaistu ja näin ollen sille olisi mahdollista tehdä myös lataaja 3d-mallin lataamiseksi ohjelmaan. Jostain syystä Java3d:lle ei kuitenkaan ole olemassa valmista 3d-mallin lataajaa. Internetistä löytyi joitakin viitteitä lataajan olemassaololle, mutta itse lataajaa ei kuitenkaan löytynyt. Ilmeisesti sitä on joskus kehitetty, mutta se on lopetettu syystä tai toisesta.

Ainakin jotkin 3d-mallinnusohjelmat tukevat tätä formaattia pluginien kautta, jolloin on mahdollista tuottaa itse malleja tässä formaatissa.

Taulukko 3 OpenFlight formaatin ominaisuuksia

Valmistaja	MultiGen Inc.
Pääte	.flt
Verteksin koordinaatit	Kyllä

Verteksin värit	Kyllä
Verteksin normaalit	Kyllä
Verteksin koordinaatit	Kyllä
Teksturointi	Kyllä
LOD	Kyllä
Avoim / suljettu	Suljettu (spesifikaatiot julkaistu)
Kaupallinen / vapaa	Kaupallinen
Loader Java3D:lle	Ei
Pakkaus	Ei
Ascii / binääri	Binääri

3.3 Kaupalliset mallit ja mallikirjastot

Tutkimuksen yhteydessä etsittiin demonstraattorin käyttöön sopivia 3d-malleja ja mallikirjastoja. Tutkimus suoritettiin kokonaisuudessaan Internetistä löytyvien 3d-malleja tarjoavien sivustojen/kauppojen keskuudessa. Mallien ja mallikirjastojen ominaisuuksia arvioitiin sekä hinnan että laadun mukaan. Mallikirjastoja arvioitiin lisäksi kirjastossa olevien mallien määrän ja mallien tarpeellisuuden mukaan.

Monet 3d-malleja myyvät sivustot tarjoavat myös yhtenä vaihtoehtona räätälöityä 3d-mallien tuottamista asiakkaan tarpeiden mukaan. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan lähdetty selvittämään tällaisten palvelujen hintoja, vaan keskityttiin pelkästään valmiina löytyviin malleihin ja kirjastoihin.

Mallikirjastoja etsittäessä vastaan tuli useita vaihtoehtoja. Niiden hinnat vaihtelivat noin 1 000 dollarista aina 25 000 dollariin asti. Hinta oli pitkälti riippuvainen mallien tarkkuudesta ja määrästä. Kalleimmassa mallikirjastossa malleja oli lähes 1600 kappaletta, kun taas halvimmassa niitä oli muutamia satoja. Kaikissa löydytyissä kirjastoissa on myös paljon sellaisia malleja, joille ei tarkasteltavassa sovelluksessa ole suoranaista käyttöä. Tässä tutkimuksessa tarpeellisiksi malleiksi katsottiin lähinnä erilaiset maalla liikkuvat sotilasajoneuvot.

Yksittäin ostettaessa mallien hinnat vaihtelivat muutamasta kymmenestä dollarista aina useisiin satoihin dollareihin kappaleelta. Tässäkin yksittäisen mallin hinta määräytyi pitkälti sen tarkkuuden mukaan ja useimmat mallit olivat polygonimäärältään tarpeettoman suuria käytettäväksi reaaliaikaisessa ohjelmassa. Toisaalta taas lähes kaikki muutaman kymme-

nen dollarin hintaiset mallit olivat polygonimäärältään liian pieniä, eikä niistä ollut erotettavissa kaikkia tunnistuksen kannalta tärkeitä yksityiskohtia.

3.3.1 Löydetyt mallikirjastot

Seuraavassa käydään läpi Internetistä löydettyjä kauppapaikkoja sekä niistä löydettyjä mallikirjastoja.

Digimation

Yhdeksi 3d-malleja tarjoavaksi yritykseksi löytyi Digimation /6/. Yrityksellä on omien sanojensa mukaan yli 30 000 mallia. Tarjolla on kaikkea urheiluvälineistä sotilasajoneuvoihin. Seuraavassa on esiteltynä muutamia yrityksen tarjoamia mallikirjastoja.

Digimation Passport tarjoaa Internetin kautta vapaan pääsyn yrityksen kaikkiin tarjolla oleviin 3d-malleihin. Malleja saa käyttää vapaasti, eikä niistä tarvitse maksaa rojalteja käytettäessä kaupallisiin tarkoituksiin. Malleja saa myös muokata vapaasti. Hintatietoja ei ole julkisesti tarjolla, vaan ne pitää tilata tapauskohtaisesti suoraan yritykseltä.

Digimation 2006 Gold Military Ground Collection -kokoelmasta löytyy noin 568 mallia ajoneuvoista aseisiin. Tässä projektissa käyttökelpoisia malleja tästä määrästä on aika pieni osa. Hinta kokoelmalla on 3 795 dollaria.

Digimation Realtime Land & Sea Collection -kokoelmasta löytyy 451 erillistä 3d-mallia maa-ajoneuvoista sekä laivoista ja sukellusveneistä. Hinta on 9 995 dollaria. Kokoelman kaikki mallit on teksturoitu ja niissä on sopiva määrä polygoneja, joten ne sopivat hyvin käytettäväksi reaaliaikasovelluksiin. Mallit ovat saatavilla kaikissa suosituimmissa formaateissa. Mallikirjastoa ei kuitenkaan päässyt selaamaan yrityksen sivuilta, joten tarpeellisten mallien määrää on vaikea arvioida.

Real DB Inc.

Toisena ehdokkaana mallien tarjoajaksi valittiin Real DB Inc. /16/. Yritys on erikoistunut lähinnä sotilasajoneuvoihin ja tarjoaa malleja sekä .3ds että .flt muodossa. Yksittäisten mallien hinnat ovat noin 300 dollaria ja lisäksi tarjolla on joitakin kokoelmia. Mallit on tehty erityisesti reaaliaikasovelluksia varten, joten niiden polygonimäärä on sopivalla tasolla.

Muut löydetyt kauppapaikat

Muita läpikäytyjä 3d-mallien ja mallikirjastojen kauppapaikkoja Internetissä olivat:

- 3d02.com /1/
- 3D ModelWORKS /2/

- Aechelon Technology, Inc. /3/.
- Exchange3D USA /8/
- Mesh Factory /11/
- Model Bank /12/
- Turbo Squid, Inc. /17/.

Edellä mainituista kauppapaikoista löytyi myöskin paljon 3d-malleja, mutta niistä suurin osa on tarkoitettu valonkuvantarkkojen kuvien piirtämiseen 3d-mallinnusohjelmalla, minkä vuoksi mallien polygonimäärä on liian suuri piirrettäväksi reaaliajassa. Joitakin yksittäisiä käytettäviä malleja niistäkin toki saattaa löytyä.

3.3.2 Formaattit

Kaikki löydetyt mallikirjastot olivat tarjolla ainakin Autodeskin 3ds Maxin käyttämässä .3ds-formaatissa. Lisäksi osa kirjastoista oli tarjolla myös Wavefrontin .obj- ja/tai MultiGen Inc. Databases .flt- formaatissa.

Suurin osa kirjastoista tarjottiin CD:lle tai DVD:lle poltettuna ja asiakkaalle lähetettynä, jolloin tilausvaiheessa valittiin haluttu formaatti. Muutamissa tapauksissa oli mahdollista ostaa käyttöoikeus Internetin kautta toimivaan mallikirjastoon, jolloin mallin latausvaiheessa oli mahdollista päättää sen formaatti.

3.3.3 Lisenssiehdot

Mallien ja mallikirjastojen lisenssiehdot vaihtelivat hieman eri kauppojen välillä. Yleisin ehto mallien käyttämiselle yrityksen ulkopuolelle menevässä ohjelmistossa on se, että mallit eivät saa olla helposti purettavissa, vaan ne täytyy olla salattuna jollakin tapaa väärinkäytön estämiseksi. Lisenssiehdot eivät määrittele riittävän salauksen määrää.

Jotkin lisenssiehdot taas kielsivät 3d-mallien geometrian levittämisen kokonaan ja sallivat vain 3d-malleista tuotettujen 2d-kuvien edelleen levittämisen. Monissa tapauksissa on myös mahdollista erikseen sopia lisenssiehdoista suoraan kauppiaan kanssa.

4 DEMONSTRAATTORI

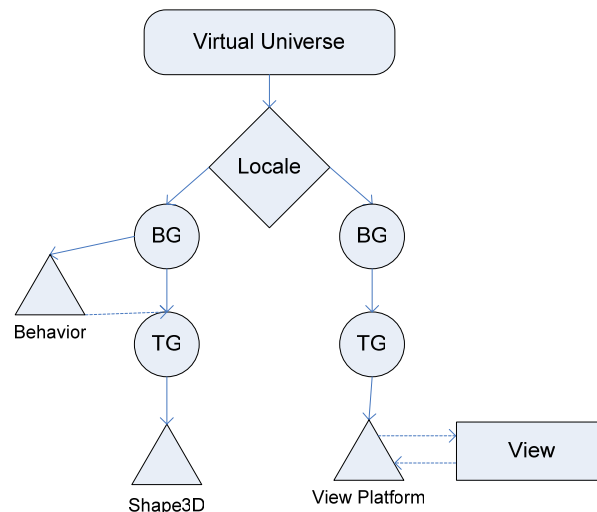
Ohjelmistolla on tarkoitus luoda kuva valitusta maalialkiosta halutuissa olosuhteissa sekä halutulta suunnalta ja etäisyydeltä. Kuva muodostetaan ohjelmassa sille tarkoitettuun ikkunaan, Ohjelmisto on interaktiivinen ja kuva päivittyy reaaliajassa. Näytettävää maalialkiota voidaan vaihtaa lennosta ja näin ollen nopeasti vertailla erilaisia maaleja.

Koska kyseessä on demonstraattori ja lopullista käyttötapaa tässä vaiheessa vielä haetaan, ei ohjelman käyttötapaa haluta sitoa. Näin ollen ohjelma toteutetaan Javalla siten että se voidaan käynnistää joko itsenäiseksi ohjelmakseen tai sitä voidaan ajaa Internet-sivuun upotettuna Java-applettina.

4.1 Käytetyt teknologiat ja tekniikat

Ohjelman toteutuksessa päätettiin käyttää Java-ohjelmointikieltä muun muassa sen hyvän siirrettävyyden takia. Lisäksi sille löytyy valmiiksi kirjasto käyttöliittymää varten (Swing) ja sille on saatavana laajennoksena grafiikkakirjasto 3d-grafiikka varten (Java3d).

Java3d on korkean tason graafinen kirjasto, josta löytyy valmiiksi luokat esimerkiksi geometriaa ja objekteja varten. Java3d:ssä maailma, ja kaikki siinä oleva objektit, on tallennettuna puumaiseen tietorakenteeseen (Kuva 3). Liitteessä 2 on kuvattu ohjelman käyttämä Java3d-maailman tietorakenne.



Kuva 3. Java3d-maailman tietorakenne (scene graph)

Ohjelman suunnittelussa päätettiin käyttää MVC-suunnittelumallia paremman päivitettävyyden ja laajennettavuuden takia. Tällöin ohjelmassa erotetaan omiksi osikseen sisältö, käyttöliittymä ja kontrolleri. Tämän seurauksena yhden osan muuttaminen ei vaikuta toisiin

osiin ja toisaalta ohjelmalle voidaan helposti lisätä uudenlaisia käyttöliittymiä muuttamatta mitään muuta osaa ohjelmasta.

Liitteessä 1 on nähtävissä ohjelman luokkakaavio. Siinä DemoModel-luokka on ohjelman sisältö ja GUI-luokka toimii ohjelman näkymänä. Ohjelman kontrollerina toimivat Setting-Panel- ja TargetSettingPanel-luokkien sisällä olevat anonymit tapahtumakäsittelijät, joita ei näy kuvassa. Käytännössä ne ovat jostakin tapahtumakäsittelijä-luokasta perittyjä luokkia, joihin on ohjelmoitu aina yhdelle käyttöliittymäkomponentille tulevien tapahtumien käsittely.

4.2 Järjestelmävaatimukset

Ohjelma vaatii ajoympäristöltään toimivan Java-virtuaalikoneen, ja se toimii normaalissa, suhteellisen uudessa PC-tietokoneessa. Koska kyseessä on 3D-grafiikkaa tuottava ohjelma, tarvitsee se myös 3D-kiihdytetyn näytönohjaimen, joka tukee ainakin OpenGL-rajapintaa (vähintään versio 1.2) /14/. MS Windows-ympäristössä on mahdollista käyttää myös DirectX-rajapintaa /7/.

Ohjelmisto itsessään ei aseta levytilalle kovinkaan suuria rajoituksia. Levytilan tarpeen määrää lähinnä ohjelmistolla käytettävä mallikirjasto. Demonstraatiokäytössä mallikirjasto tulee olemaan alle kymmenen mallia, jolloin levytilan tarve jää alle 100 megatavun. Lopulliset mallit ja niiden tarkkuus sekä teksturit määräävät lopullisen tilantarpeen.

Koska ohjelmisto on toteutettu Javalla, se ei aseta käyttöjärjestelmälle muita vaatimuksia kuin olemassa olevan Java-tuen. Tällä hetkellä tällaisia käyttöjärjestelmiä ovat ainakin: Microsoft Windows, Linux/Unix ja Mac OS X.

4.3 Ominaisuudet

Muodostettavaan 3-ulotteiseen kuvaan liittyvät käyttöliittymän ominaisuudet voidaan jakaa kolmeen osaan: 3D-malliin, olosuhteisiin ja kameraan liittyviin toimintoihin.

Kameran etäisyyttä, korkeutta ja suuntaa suhteessa tarkasteltavaan malliin voidaan muuttaa vastaamaan tiedustelulennoilta saatua kuvaa. Lisäksi kameraa voidaan zoomata, eli sen linssin avauskulmaa/polttoväliä voidaan säätää. Kameran asetukset on kuvattu tarkemmin kohdassa 4.4.2.

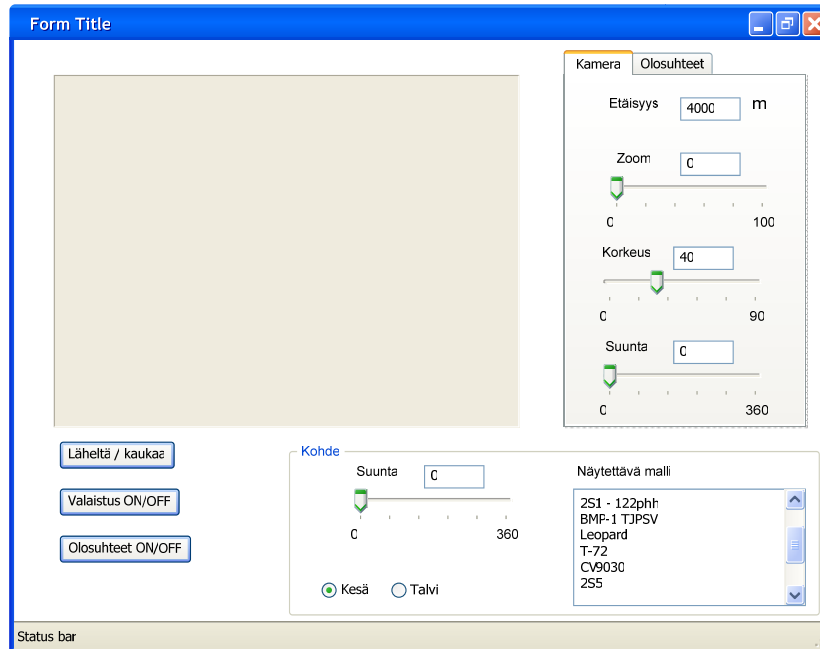
Piirrettävän kuvan olosuhteisiin voidaan vaikuttaa vuodenajan, pilvisyyden ja auringon osalta. Olosuhteiden asetukset on kuvattu tarkemmin kohdassa 4.4.3.

Ohjelma lataa näytettävän 3d-mallin tiedostosta ja piirtää sen käyttöliittymässä sille varattuun ikkunaan. Näytettävän mallin teksturointia voidaan vaihtaa kesän ja talven välillä, ja

sen keulan osoittamaa suuntaa voidaan säätää. 3d-malliin liittyvät toiminnot on esitetty kohdassa 4.4.4.

4.4 Suunnittelu

Ohjelman käyttöliittymän (Kuva 4) suunnittelussa on otettu huomioon asiakkaan tarpeet ja ohjelman käyttötapa. Käyttötavan perusteella ohjelman ominaisuudet on jaettu osiin: usein, harvemmin ja harvoin tarvittavat ominaisuudet.

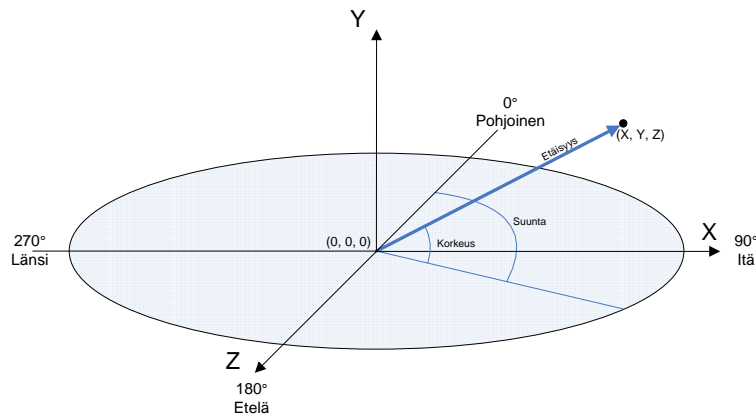


Kuva 4. Käyttöliittymän suunnitelma

Useimmin tarvittu ominaisuus on mallin vaihto, joten sen on oltava aina esillä. Hieman harvemmin tarvittuja ominaisuuksia ovat kameran asetukset, olosuhteet ja mallin asetukset, joten ne voivat olla parin näppäimen takana. Kaikkein vähiten tarvittuja ominaisuuksia ovat esimerkiksi järjestelmän asetukset, joihin pääsee käsiksi valikon kautta.

4.4.1 Koordinaatisto

Ohjelma käyttää 3D-grafiikassa suorakulmaista oikean käden koordinaatistoa, jolloin positiivinen x-akseli suuntautuu oikealle, positiivinen y-akseli ylöspäin ja positiivinen z-akseli kohti katselijaa (Kuva 5).

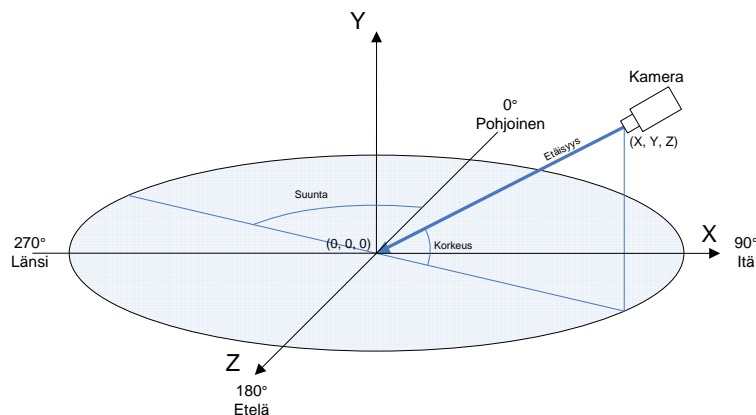


Kuva 5. Ohjelman käyttämä koordinaatisto

Ohjelman luonteesta johtuen joitakin asioita on ilmaistu myös pallokoordinaatistossa, jonka suunnat ($0^\circ - 360^\circ$) menevät kompassisuuntia vastaavasti; negatiivinen z-akseli vastaa pohjoista (0°), positiivinen x-akseli itää (90°), positiivinen z-akseli etelää (180°) ja negatiivinen x-akseli länttä (270°). Korkeuskulma on välillä ($-90^\circ - +90^\circ$), tässä positiivinen kulma on xy-tason yläpuolella ja negatiivinen alapuolella. Etäisyys on mitattu suoraan origosta ilmoitettuun pisteeseen.

4.4.2 Kameran asetukset

Kameran katselusuuntaa voidaan säätää asettamalla se tiedustelulennolta otetun kuvan suuntaa vastaavaksi. Käytännössä sen etäisyyttä ja katselusuuntaa (Kuva 6) voidaan muuttaa suhteessa kohteeseen vastaamaan saatua kuvaa. Lisäksi kamerassa on zoomaus-toiminto, jolla säädetään kameras linssin avauskulmaa sekä erilaisia sensorimodeja (päivä- ja IR-moodi). Sensorimoodin vaihtaminen vaikuttaa sekä maalialkion että maanpinnan teksturointiin ja käytettyyn valaistukseen.



Kuva 6. Kameran parametrit

Kameran etäisyydellä tarkoitetaan sen suoraa etäisyyttä kohteeseen, mikä ilmaistaan metreinä. Vaikka teoreettisesti olisi mahdollista ottaa kuva hyvinkin kaukaa, käytännön syistä johtuen kameran maksimietäisyys voidaan rajoittaa muutamaan kymmeneen kilometriin.

Kameran suunta mitataan asteina ($0^\circ - 360^\circ$), ja se on kompassisuunta, johon kamera osoittaa. Myös korkeus mitataan asteissa ja siinä 0° vastaa maatasoa ja 90° on suoraan kohteen yläpuolella.

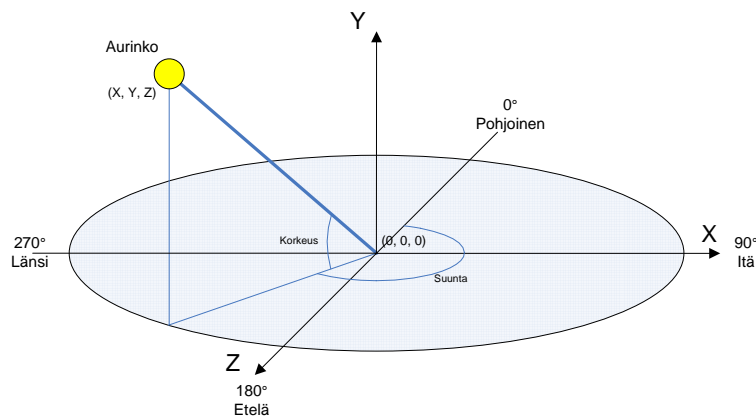
Kameran zoomilla ($0\% - 100\%$) säädetään sen linssin avauskulmaa. Sääto toimii välillä minimi- ja maksimi-avauskulma, ja ne riippuvat käytettävästä kamerasta sekä sen optiikasta. Alkuvaiheessa ne voidaan asettaa kiinteästi tunnettujen parametrien mukaan.

Myös kameran sensorimoodia voidaan muuttaa. Käytettäviä sensorimooodeja ovat: päivä- ja IR-kamera. Käytännössä tällä on vaikutusta mallin ja maaston teksturointiin sekä valaistuksen toteuttamiseen.

4.4.3 Olosuhteet

Vuodenaikojä ohjelmassa on tässä vaiheessa kaksi: kesä ja talvi. Käytännössä vuodenajan vaihtaminen tarkoittaa maaston teksturin vaihtamista, jolloin maastolla on erikseen tekstuuri kesälle ja talvelle.

Ohjelmassa auringon ominaisuuksia ovat suunta, korkeus, kirkkaus sekä väri. Suunnalla tarkoitetaan tässä ilmansuuntaa ($0^\circ - 360^\circ$) josta aurinko paistaa, jos sitä katsottaisiin kohteesta (Kuva 7). Myös korkeus mitataan asteissa ($-90^\circ - +90^\circ$) ja siinä 0° vastaa maatasoa ja 90° on suoraan kohteen yläpuolella. Tässä miinusmerkkisellä korkeudella tarkoitetaan sitä, että aurinko on horisontin alapuolella.



Kuva 7. Auringon suunta ja korkeus

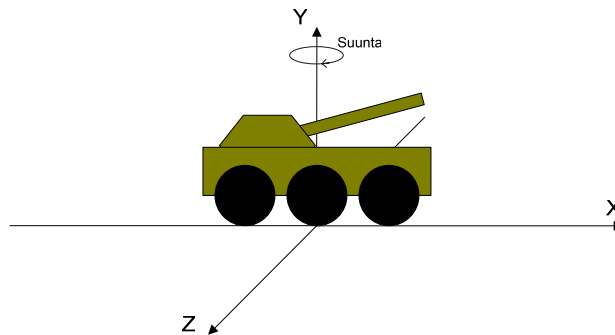
Auringon kirkkautta (0% - 100%) säätämällä voidaan vaikuttaa siihen, kuinka kirkkaasti se valaisee kohdetta. Auringon kirkkaus laskee automaattisesti auringon mennessä horisontin alapuolelle. Auringonvalon väriä voidaan myös säätää sopimaan paremmin vertailtavan tiedustelukuvan olosuhteisiin.

Pilvisyyttä voidaan säätää muutamalla tasolla täysin pilvettömästä täysin pilviseen säähän. Tällä on vaikutusta 3D-mallin luoman varjon intensiteettiin ja mallin varjostuksen laskemiseen. Täysin pilvisellä säällä tulee kohteeseen ainoastaan hajavaloa, jolloin malli ei varjosta maata tai itseään. Toisaalta taas täysin pilvettömällä säällä kohteen synnyttämä varjo on tummimmillaan ja auringon puoli kirkkaasti valaistu.

4.4.4 3d-malliin liittyvät asetukset

Ohjelmistolla voidaan näyttää kerrallaan yhtä 3D-mallia valituissa olosuhteissa. Se myös listaa kaikki järjestelmästä löytyvät mallit ja näytettävä malli voidaan vaihtaa näytölle nopeasti. Kaikilla 3D-malleilla pitäisi olla erikseen tekstuuri sekä talvelle että kesälle. Näytettävän mallin teksturointia voidaan vaihtaa ajonaikana.

Malli voidaan asettaa osoittamaan oikeaan suuntaan kääntämällä sitä pysty akselinsa ympäri, jolloin sen keula saadaan osoittamaan haluttua kompassisuuntaa kohti (Kuva 8). Suunta ilmoitetaan asteissa (0° - 360°) ja suunnat määräytyvät ohjelmiston käyttämän koordinaatiston mukaisesti.



Kuva 8. 3D-mallin akselit ja suunta

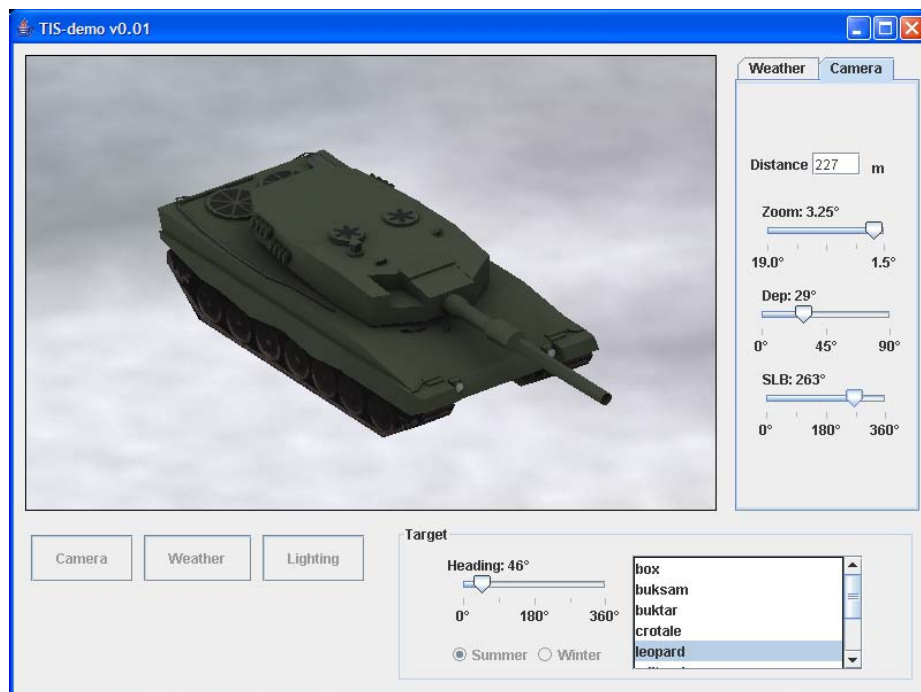
4.4.5 Ohjelman käyttämä formaatti 3d-malleille

Ohjelman käyttämäksi 3d-mallien tiedostoformaattiksi valittiin Autodeskin 3ds Maxin käyttämä formaatti (.3ds). Kyseinen formaatti valittiin sille valmiiksi löytyvien 3d-mallien takia ja myös siksi, että vaikka se on suljettu formaatti, sille löytyy paljon valmiita 3d-mallin lataajia Java3d:lle. Lisäksi yrityksen sisällä oli jo valmiiksi tuotettuna joitakin malleja tässä formaatissa käytettäväksi myös tässä projektissa.

Tiedostoformaatin yksi looginen mittayksikkö vastaa yhtä metriä ohjelman sisällä ja mallin keula on kohti positiivista x-akselia. Yksittäisen käytettävän 3D-mallin polygonimäärä on syytä rajoittaa suurimmillaan noin 5000 polygoniin, jotta ohjelma pystyy piirtämään kuvaa hieman vanhemmallakin koneella ja näytönohjaimella. Ohjelmiston käyttötarkoituksen huomioon ottaen ei tämän suuremmalle tarkkuudelle ole toisaalta tarvettakaan.

4.5 Käyttöliittymä

Ohjelman käyttöliittymä (Kuva 9) toteutettiin Javan Swing-kirjastolla, ja se koostuu kolmesta osasta: asetukset (kamera ja olosuhteet), 3d-malli sekä ikkuna, johon kuva piirretään. Jokainen näistä osista on toteutettu omana luokkanaan ja lisäksi ohjelmasta löytyy yksi luokka, joka toteuttaa käyttöliittymän luonnin ja sen eri osien päivittämisen.



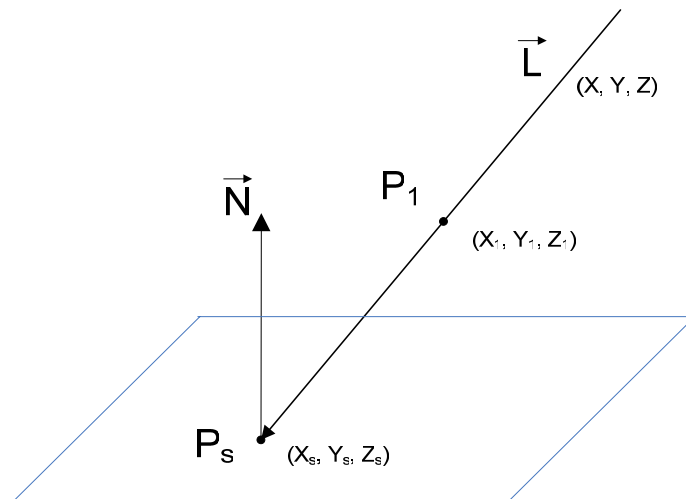
Kuva 9. Lopullinen käyttöliittymä Swingillä toteutettuna

4.6 Toteutus

Demonstraattorin toteutus lähti liikkeelle jo projektin alkuvaiheessa Java3D-laajennokseen tutustumalla. Kun perusasiat, eli 3d-piirtopinnan luonti ja sen upotus Javan Swing-käyttöliittymään oli saatu toteutettua, ryhdyttiin toteuttamaan ohjelman käyttöliittymää. Samaan aikaan oli jo tehty paljon tutkimus- ja suunnittelutyötä ohjelman ja sen käyttöliittymän suhteen, joten tämä osa ohjelmaa saatiinkin valmiiksi nopeasti.

Suurimmat ongelmat demonstraattorin kanssa tulivat eteen varjojen piirtoa toteutettaessa. Ongelmia aiheutti se, että Java3d on korkean tason graafinen kirjasto, eikä se vielä tässä vaiheessa tue suoraan varjojen piirtoa. Koska se on korkean tason kirjasto, ei se myöskään anna käyttäjälle pääsyä matalan tason tekniikoihin, kuten erilaisiin piirtopuskureihin. Kaikki vähänkään kehittyneemmät varjojenluontitekniikat vaativat pääsyn käsittelemään jotakin puskuria (esimerkiksi z- tai stencil-puskuria).

Tällöin ainoaksi vaihtoehdoksi jäi toteuttaa varjo projisoimalla malli tasaiselle pinnalle valon tulosuunnan mukaan (Kuva 10). Kuvassa vektori L tarkoittaa valon suuntaa, P_1 on 3d-mallin päätepiste (vertex), joka projisoidaan maatasoon pisteeksi P_s . Kun koko 3d-malli piirretään näin maatasoon projisoituna, saadaan sille luotua varjo. Tällöin malli joudutaan kuitenkin piirtämään kahdesti, jolloin prosessorin ja näytönohjaimen kuormitus kasvaa kaksinkertaiseksi. Kun auringon paikka muuttuu tai 3d-malli kääntyy, joudutaan laskemaan jokaiselle varjon päätepisteelle uusi paikka. Lisäksi varjon reunat ovat aina teräviä, eikä tällä tekniikalla pystytä luomaan myöskään varjoja toisen objektin tai objektin itsensä päälle (self-shadowing) (Kuva 11).



Kuva 10. Päätepisteen projisointi maatasoon

Edellä mainittuun ongelmaan saattaisi löytyä ratkaisu käyttämällä ohjelmoitavia varjostimia (programmable pixel- ja vertex shaderit), joita Java3d:n nykyinen versio jo tukee. Aikataulun takia tätä mahdollisuutta ei lähdetty selvittämään. Seuraavassa Java3d:n versiossa on luvattu olevan mukana myös varjojen luomiseen liittyviä komponentteja, joten sen ilmestyttyä tähänkin osioon saataneen parannuksia.



Kuva 11. Varjonpiirto maahan

Muilta osin demonstraattorin toteutus eteni hyvää vauhtia, eikä suurempia ongelmia esiintynyt. Java oli ohjelmointikielenä hyvä valinta sekä sen korkean tason että valmiiden komponenttien (Swing ja Java3d) johdosta.

5 TULOKSET

5.1 Sopivat formaatit

Sovelluksen käyttöön sopiviksi formaateiksi osoittautuivat sekä Wavefront Technologiesin obj että Autodeskin 3ds Maxin käyttämä 3ds. Molemmat formaatit tukevat kaikkia tarvittavia ominaisuuksia (kärkipisteen koordinaatit, värit, normaalit, tekstuurien koordinaatit ja tekstuurit). Lisäksi molemmat formaatit on laajalti tuettuja eri 3d-mallinnusohjelmissa ja niille löytyy valmiina mallien lataajat Java3d:lle. Molemmille formaateille löytyy myös paljon valmiita 3d-malleja käytettäväksi mallikirjastossa.

MultiGen Inc. Databasesin OpenFlight Scene Description –formaatti (.flt) päätettiin jättää pois, koska sille ei pystytty löytämään ollenkaan lataajaa Java3d:lle. Lisäksi se on kolmikosta heikoimmin tuettu eri 3d-mallinnusohjelmissa.

Demonstraattorin käyttämäksi formaatiksi valittiin lopulta 3ds Maxin käyttämä 3ds –formaatti. Valintaan vaikutti sen erityisen laaja valmiiden 3d-mallien tarjonta ja myös se, että kyseisessä formaatissa oli jo valmiiksi yrityksen sisällä tuotettuja malleja käytettäväksi.

5.2 Löydetyt mallit ja mallikirjastot

Kohdassa 3.3.1 esitetyt vaihtoehdot sopisivat kyllä jokainen jollakin tapaa käytettäväksi ohjelmiston mallikirjastona, mutta yksikään niistä ei ole todella ylivertainen vaihtoehto muihin nähden. Kaikissa mallikirjastoissa on paljon tavaraa, jota ei tässä käytössä tarvitse ollenkaan, eikä mikään niistä ei ole niin laaja, että siinä olisi kaikki tarvittavat 3d-mallit. Toisaalta kokonaisen mallikirjaston kokoaminen yksittäisistä malleista tulee myös kohtuuttoman kalliiksi, sillä samat mallit, joita löytyy mallikirjastosta satoja kappaleita, saattavat maksaa yksittäin ostettuna useita satoja dollareita.

Toinen huomionarvoinen seikka on mallien polygonimäärä ja tarkkuus. Vain reaaliaikasovelluksiin tarkoitetuissa mallikirjastoissa kaikki mallit ovat varmasti sopivalla tarkkuudella juuri tähän käyttöön. Muissa kirjastoissa monet mallit ovat jopa kymmenientuhansien polygonien tarkkuudella, jolloin niitä on mahdotonta käyttää piirrettäessä kuvaa reaaliajassa. Toisaalta samoissa kirjastoissa osa malleista taas saattaa olla vain muutaman sadan polygonin tarkkuudella, jolloin niitä on taas mahdoton käyttää apuna tunnistuksessa, koska niistä ei yksinkertaisesti ole nähtävissä tarpeeksi tunnistamisen kannalta olennaisia yksityiskohtia.

Kolmas huomioitava asia on mallien teksturointi. Tässäkin vain reaaliaikasovelluksiin tarkoitettujen kirjastot sopivat kaikkien mallien osalta käytettäväksi. Muissa kirjastoissa mallit voivat olla tarkoitettu käytettäväksi vain sen luomisessa käytetyn 3d-mallinnusohjelman

kanssa, jolloin sen materiaalit ovat ohjelman käyttämässä muodossa, eivätkä ne välttämättä sisällä ollenkaan tekstuureita. Tällaisia malleja käytettäessä täytyy malleille vielä luoda tekstuurit ennen kuin ne ovat käyttökelpoisia.

Neljänneksi on huomioitava vielä mallikirjastojen lisenssiehdot. Tältäkin osin juuri reaaliaikasovelluksiin tarkoitettut kirjastot ovat yleensä parempia. Koska muut mallit ja mallikirjastot on yleensä tarkoitettu valokuvantarkkojen kuvien piirtämiseen, ei niiden lisenssiehdoissa aina tarjota mahdollisuutta mallin geometrian levittämiseen. Reaaliaikasovelluksissa taas on hyvin yleistä, että ohjelman mukana tulevat myös käytettävät 3d-mallit, joten tämä näkyy myös lisenssiehdoissa.

Pienellä varauksella voidaan kuitenkin suositella kappaleessa 3.3.1 esitettyä *Digimation Realtime Land & Sea Collection* –kokoelmaa. Tämän osalta voidaan ainakin olla varmoja siitä, että kaikki sen sisältämät mallit sopivat tähän käyttöön, koska ne ovat teksturoituja ja niissä on sopiva määrä polygoneja piirrettäväksi reaaliajassa. Ainoa selvitettäväksi jäävä asia tämän mallikirjaston osalta on sen sisältämät 3d-mallit ja niiden tarpeellisuus, koska kyseisen mallikirjaston sisältöä ei päässyt selaamaan yrityksen Internet-sivujen kautta. Tämän kirjaston lisenssiehdot sallivat myös geometrian levittämisen, kunhan se ei ole helposti purettavissa ja uudelleen käytettävissä levitettävästä ohjelmasta.

5.3 Mallikirjaston kokoaminen

Suurimmaksi ongelmaksi mallikirjastoa koottaessa muodostuu sopivan tarkkojen mallien löytäminen sopivaan hintaan. Suurin osa löydetystä malleista on tarkoitettu valokuvan tarkkojen kuvien piirtämiseen, jolloin niiden polygonimäärä on aivan liian suuri reaaliaikasovelluksen käyttöön. Tarkemmat mallit useimmiten myös maksavat enemmän, jolloin laajaa mallikirjastoa koottaessa koituu myös tästä turhia kustannuksia.

Esimerkiksi edellisen kappaleen lopussa esitetty mallikirjasto voisi olla hyvä pohja lähdetäessä kokoamaan omaa mallikirjastoa, jota sitten voisi laajentaa hankkimalla jokin toinen mallikirjasto tai yksittäisiä malleja tarvittavista kohteista.

Monet 3d-malleja kauppaavat yritykset tarjoavat myös räätälöityjä palveluja 3d-mallien tuottamiseksi asiakkaan tarpeiden mukaan. Tässä työssä ei kuitenkaan lähdetty selvittämään räätälöityjen ratkaisujen kustannuksia.

Mallikirjaston voi koota myös itsetuotetuista 3d-malleista, mutta tämä vaatii osaamista ja kohtalaisen kalliita ohjelmia, jolloin myös tällä tapaa tuotetulle mallikirjastolle tulee kohtalaisen paljon kustannuksia. Jos osaamista ja ohjelmia löytyy jo valmiiksi, ei tällä tavoin mallikirjaston kokoaminen ole mahdoton tehtävä. Tällöin säästytään myös mallien ja malli-

kirjastojen lisenssiehtojen selvittämiseltä ja kaikki tuotetut mallit ovat vapaasti omassa käytössä.

Lähdettäessä kokoamaan omaa mallikirjastoa kannattaa siis miettiä, löytyykö jostakin kaupallisesta mallikirjastosta tarpeeksi hyödyllisiä malleja pohjaksi kirjastolle ja tämän jälkeen miettiä tapaa, jolla sitä lähdetään laajentamaan. Mallikirjastoa voidaan laajentaa ostamalla yksittäisiä malleja, teettämällä ne räätälöidysti tai tekemällä ne itse.

5.4 Testaus asiakkaalla

Ohjelmaa käytiin näyttämässä asiakkaalla yhden päivän ajan. Sen tarkempi testaus todellisissa käyttöolosuhteissa tapahtuu muutaman viikon päästä tämän raportin palauttamisesta, joten siitä saatu palaute ei ehdi tähän mukaan.

5.5 Asiakkaan palaute

Lyhyen demo-tilaisuuden jälkeen asiakkaalta saatiin kommentteja lähinnä ohjelman käyttöliittymään ja toimintaan liittyen. Asiakkaan mukaan käyttöliittymä vaikutti hyvältä ja toimivalta. Lisäksi kiitosta sai se, että kaikki muutokset päivittyivät heti myös kuvaan ja näin ollen ohjelmankäyttö tuntui jouhevalta.

Koska ohjelmaa ei päästy vielä testaamaan todellisessa tilanteessa, ei sen todellista hyötyä tunnistamiselle pystytä vielä määrittämään.

5.6 Jatkokehitys

Ohjelman mahdollinen jatkokehitys on vielä tässä vaiheessa auki, mutta joitakin ideoita sen jatkokehittämiseksi on kuitenkin projektin aikana jo tullut. Osa ideoista jätettiin toteuttamatta aikataulun kireyden takia ja osa ideoista on sellaisia, jotka vaativat hieman jalostamista ennen niiden toteuttamista.

Koska ohjelmalla on tarkoitus käyttää suhteellisen suurta mallikirjastoa, olisi siihen hyvä saada jonkinlainen lajittelu eri tyyppisille malleille. Tämä voitaisiin toteuttaa yksinkertaisesti lajittelemalla eri tyyppiset mallit eri alihakemistoihin tai vaikka tietokannan avulla. On myös mahdollista laittaa hakemistoihin mukaan jonkinlainen tekstitiedosto, jossa olisi joi-tain malliin liittyviä tietoja ja joiden mukaan voitaisiin sitten suorittaa lajittelua. Tähän vaikuttaa toki paljolti myös ohjelman lopullinen käyttötapa, joka selviää vasta kunhan asiakas ensin testaa ohjelmistoa.

Koska saatu tiedustelukuva on yleensä mustavalkoista, olisi ohjelman tuottaman kuvankin hyvä olla mustavalkoista. Tämä voitaisiin toteuttaa ottamalla käyttöön ohjelmoitavat varjos-

timet (programmable shader) ja käsittelemällä jokainen piirretty kuva jälkikäteen (post-processing). Tällöin näytönohjaimen tulisi tietysti olla tarpeeksi uusi ja tukea kyseistä tekniikkaa. Samalla tekniikalla voitaisiin kuvaan lisätä myös muita tehosteita, kuten kohinaa.

Lisää ideoita ja parannuksia ohjelmaan saadaan varmasti myös asiakkaalta, kun sitä ensin ehditään kunnolla testaamaan. Esimerkiksi ohjelman käyttöliittymää voi olla tarvetta muuttaa asiakkaan palautteen perusteella.

Ohjelman tämä versio jää kuitenkin tällaisenaan asiakkaan käyttöön. Sen suunnittelussa on kuitenkin otettu huomioon mahdollinen jatkokehitys ja näin ollen sitä voidaan tarvittaessa helposti hyödyntää.

6 YHTEENVETO

Tutkintotyössä selvitettiin 3d-mallien soveltamista lentotiedustelun tunnistustehtävissä. Työ koostui sekä saatavilla olevien kaupallisten 3d-mallien ja mallikirjastojen tutkimisesta sekä tutkimusta tukevan demonstraattori-ohjelman suunnittelemisesta ja toteuttamisesta.

Tutkimuksessa käytiin läpi Internetistä löytyviä 3d-malleja myyviä kauppapaikkoja. Niistä löytyviä 3d-malleja ja mallikirjastoja arvioitiin yksittäisten mallien soveltuvuuden, hinnan, laadun sekä tarpeellisuuden perusteella. Soveltuvuuteen vaikutti mallin tarkkuus ja formaatti. Lisäksi tehtiin selvitystä mallien ja mallikirjastojen lisenssiehdoista. Lopuksi valittiin käytettäväksi sopiva tiedostoformaatti ja mallikirjasto pohjaksi oman 3d-mallikokoelman keräämiselle.

Tutkimuksessa ei löydetty ylivertaisesti juuri tähän tarkoitukseen sopivaa mallikirjastoa. Kuitenkin pienellä varauksella voidaan suositella *Digimation Realtime Land & Sea Collection* –kokoelmaa. Tämä kokoelma on tarkoitettu juuri reaaliaikasovelluksien käyttöön ja näin ollen sen sisältämien 3d-mallien polygonimäärä on tähän käyttöön sopiva. Lisäksi kaikki mallit ovat valmiiksi teksturoituja. Ainoana negatiivisena puolena oli se, ettei kirjaston sisältöä päässyt selaamaan, joten sen sisältämien mallien tarpeellisuutta ei voitu arvioida.

Yleisenä huomiona mallikirjastojen soveltuvuudesta voidaan kuitenkin sanoa, että yleensä juuri reaaliaikasovelluksiin tarkoitetut kirjastot sopivat hyvin tunnistuskäyttöön, sillä niiden sisältämät mallit ovat sopivalla tarkkuudella, mallit ovat teksturoituja ja lisäksi niiden lisenssiehdot sallivat geometrian levittämisen ohjelman mukana. Muissa mallikirjastoissa mallit olivat yleensä liian tarkkoja piirrettäväksi reaaliajassa, eivätkä ne läheskään aina olleet teksturoituja. Niiden lisenssiehdoissa myös monesti kiellettiin geometrian edelleen levittäminen kokonaan.

Suosittelaviksi tiedostoformaateiksi 3d-malleille löydettiin Wavefront Technologiesin .obj ja Autodeskin 3ds Maxin käyttämä .3ds. Molemmat edellä mainituista formaateista on hyvin tuettu eri 3d-mallinnusohjelmien keskuudessa, ne tukevat kaikkia tarvittavia ominaisuuksia ja niille löytyy paljon valmiita 3d-malleja. Kaikki löydetyt mallikirjastot olivat tarjolla ainakin Autodeskin 3ds Maxin .3ds-formaatissa ja suurin osa myös Wavefront Technologiesin .obj-formaatissa.

Käytettäessä 3d-malleja apuna tunnistuksessa suurimmaksi ongelmaksi muodostuikin juuri tarpeeksi kattavan mallikirjaston kokoaminen. Paras tapa lähteä kokoamaan omaa mallikirjastoa lienee ostaa jokin valmis kirjasto pohjaksi ja lähteä laajentamaan sitä tarvittavilla malleilla. Malleja voi ostaa yksittäin, teettää räätälöidysti tai tehdä itse, jos tarvittavat ohjelmat ja osaamista löytyy.

Työn toisessa vaiheessa suunniteltiin ja toteutettiin aihetta tukeva demonstraattori. Ohjelmalla oli tarkoitus pystyä selaamaan käytettävän mallikirjaston 3d-malleja ja katselemaan kerrallaan yhtä valittua mallia halutusta paikasta ja halutuissa olosuhteissa. Kameran paikka voidaan asettaa saatua tiedustelukuvaa vastaavaksi (katselusuunta, etäisyys ja linssin avauskulma). Olosuhteita puolestaan voidaan muuttaa auringon (suunta, korkeus ja kirkkaus), pilvisyyden ja vuodenajan (kesä ja talvi) osalta.

Auringon asetuksilla on vaikutusta mallin valaisun laskemiseen sekä sen luoman varjon muotoon ja tummuuteen. Pilvisuus vaikuttaa myös mallin valaisuun ja varjoon siten, että mitä pilvisempää on, sitä vähemmän syntyy kontrastia mallin kirkaammin valaistun puolen ja varjopuolen välillä. Vuodenajalla on vaikutusta ainoastaan maaston teksturiin.

Ennen raportin palauttamista ohjelmaa ehdittiin näyttämään pikaisesti asiakkaalle. Palautetta saatiin ohjelman käyttöliittymästä ja toiminnasta yleisesti ja se oli rohkaisevaa. Ohjelman käyttöliittymä oli looginen ja ohjelma toimi jouhevasti.

Demonstraattorin lopullinen testaaminen tapahtui tämän raportin palauttamisen jälkeen, joten siitä saatu palaute ei ehtinyt tähän mukaan. Tästä syystä demonstraattorin todellista hyötyä tunnistamiselle ei pystytä tässä vaiheessa arvioimaan.

LÄHTEET

- 1 3d02.com. [www-sivu]. [viitattu 27.4.2006] Saatavissa:
<http://www.3d02.com>
- 2 3D ModelWORKS. [www-sivu]. [viitattu 27.4.2006] Saatavissa:
<http://www.3dmodelworks.com/>
- 3 Aechelon Technology, Inc. [www-sivu]. [viitattu 27.4.2006] Saatavissa:
<http://www.aechelon.com>
- 4 Autodesk. [www-sivu]. [viitattu 27.4.2006] Saatavissa:
www.autodesk.com
- 5 Defense World. [www-sivu]. [viitattu 6.4.2006] Saatavissa:
<http://www.defenseworld.net/html/Graphical%20Reports/uav.htm>
- 6 Digimation. [www-sivu]. [viitattu 27.4.2006] Saatavissa:
<http://www.digimation.com>
- 7 DirectX. [www-sivu]. [viitattu 20.3.2006] Saatavissa:
www.microsoft.com/directx
- 8 Exchange3D USA. [www-sivu]. [viitattu 27.4.2006] Saatavissa:
<http://www.exchange3d.com>
- 9 Java3d. [www-sivu]. [viitattu 20.3.2006] Saatavissa:
<http://www.j3d.org>
- 10 Lentotiedustelupatteri. [www-sivu]. [viitattu 6.4.2006] Saatavissa:
<http://www.mil.fi/maavoimat/joukot/tykpr/tiedsk.dsp>
- 11 Mesh Factory. [www-sivu]. [viitattu 27.4.2006] Saatavissa:
<http://www.meshfactory.com>
- 12 Model Bank. [www-sivu]. [viitattu 27.4.2006] Saatavissa:
<http://www.modelbank.com>
- 13 MultiGen-Paradigm Incorporated. [www-sivu]. [viitattu 27.4.2006] Saatavissa:
<http://www.multigen.com>
- 14 OpenGL. [www-sivu]. [viitattu 20.3.2006] Saatavissa:
<http://www.opengl.org>
- 15 The Programmer's File Format Collection. [www-sivu]. [viitattu 4.4.2006] Saatavissa: <http://www.wotsit.org>
- 16 Real DB Inc. [www-sivu]. [viitattu 27.4.2006] Saatavissa:
<http://www.realdb.qc.ca>

- 17 Turbo Squid, Inc. [www-sivu]. [viitattu 27.4.2006] Saatavissa:
<http://www.turbosquid.com>
- 18 Wavefront Technologies. [www-sivu]. [viitattu 27.4.2006] Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Wavefront_Technologies
- 19 Wikipedia, the free encyclopedia. [www-sivu]. [viitattu 20.3.2006] Saatavissa:
[http://en.wikipedia.org/wiki/Swing_\(Java\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Swing_(Java))
- 20 Wikipedia, the free encyclopedia. [www-sivu]. [viitattu 20.3.2006] Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle

LIITTEET

- 1 Ohjelmiston luokkakaavio
- 2 Java3d-maailman tietomalli (Scene graph)

