

**Maa-57.270, Fotogrammetrian, kuvatulinnan ja kaukokartoituksen seminaari**

## **3D-mallintaminen konvergenttikuvilta**

**Anna Erving, 58394J**

**2005**

# Sisällysluettelo

<i>Sisällysluettelo</i> .....	2
<i>1. Johdanto</i> .....	3
<i>2. Erilaisia tapoja kuvata kohdetta</i> .....	3
2.1 Stereokuvaus .....	3
2.2 Konvergenttikuvaus .....	3
<i>3. Kuvakoordinaattien laskeminen yhden kameran tapauksessa</i> .....	4
<i>4. Kuvausgeometria kahden kameran tapauksessa</i> .....	5
<i>5. Kuvausgeometria usean kameran tapauksessa</i> .....	6
<i>6. 3D-mallintaminen konvergenttikuvilta</i> .....	7
6.1 Alkutoimenpiteet ennen kuvilta mittaamista .....	7
6.2 Kuvilta mittaaminen.....	7
6.3 Tapaus, jossa kamerat kohdistetaan samaan pisteeseen .....	9
6.4 Mallin visuaalisuuteen vaikuttavat tekijät .....	10
<i>7. Konvergenttikuvauksen etuja tavalliseen geometriaan verrattuna</i> .....	11
<i>8. Mallintamisen käyttökohteita</i> .....	11
<i>9. Mallinnusohjelmistoja</i> .....	12
<i>10. Konvergenttikuvien tarkkuus</i> .....	12
<i>11. Yhteenveto</i> .....	14
<i>Viitteet</i> .....	14

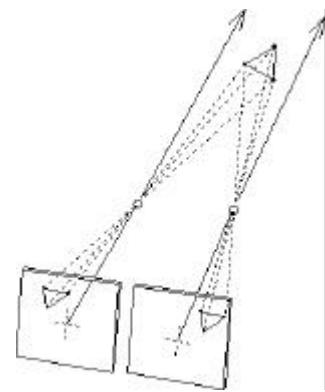
# 1. Johdanto

Kohteen kolmiulotteista mallinnusta käytetään nykyään monissa eri sovelluksissa. Valokuvilta mallinnettaessa kohteesta on mahdollista saada tarkka fotorealistinen malli. Erilaisia kuvaustapoja ovat stereokuvaus ja konvergenttikuvaus. Stereokuvauksessa otetaan kaksi kuvaa samalta suunnalta ja yhtä kaukaa kohteesta. Vain kuvanottopaikkojen sijainti sivuttaissuunnassa eroaa hieman kuvien välillä. Konvergenttikuvauksessa kuvia otetaan ympäri kohdetta ja jopa eri etäisyyksiltä. Tässä esitelmässä syvennytään tarkemmin konvergenttikuvauksen geometriaan, kohteen koordinaattien mittaamiseen ja 3D-mallin muodostamiseen. Lisäksi tarkastellaan kohteesta saatavan mallin visuaalisuuden vaikuttavia tekijöitä, kohdekoordinaattien tarkkuutta ja mallinnuksen käyttömahdollisuuksia.

## 2. Erilaisia tapoja kuvata kohdetta

### 2.1 Stereokuvaus

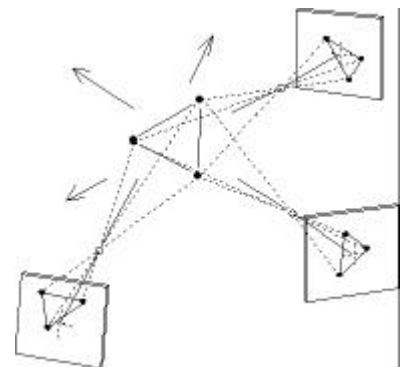
Stereokuvaus (Kuva 1) mahdollistaa kohteen stereoskooppisen tarkastelun. Stereokuvausta kutsutaan myös normaalikuvaukseksi. Siinä kuvat otetaan kahdesta eri perspektiivistä ja kuvausakselit ovat yhdensuuntaiset sekä kohtisuorassa kuvakantaan nähden. Kuvat otetaan yhtä kaukaa kohteesta. Kuvakanta tarkoittaa kuvanottopaikkojen välistä etäisyyttä. Mitä pidempi kuvakanta on, sitä pienempi osa kohdetta kuvautuu molemmille kuville. Myöskin stereokuvan syvyysvaikutelma korostuu sitä enemmän (tiettyyn pisteeseen saakka) mitä suurempaa kuvakantaa käytetään. Esimerkiksi mittaus- ja kartoitustehtävissä käytetään melko suurta kuvakantaa (jopa puolet kuvausetäisyydestä). Kuvakanta voi kuitenkin olla myös vain muutamia senttejä. (P. Rönholm 2004.)



**Kuva 1.** Stereokuvaus (P. Rönholm 2004)

### 2.2 Konvergenttikuvaus

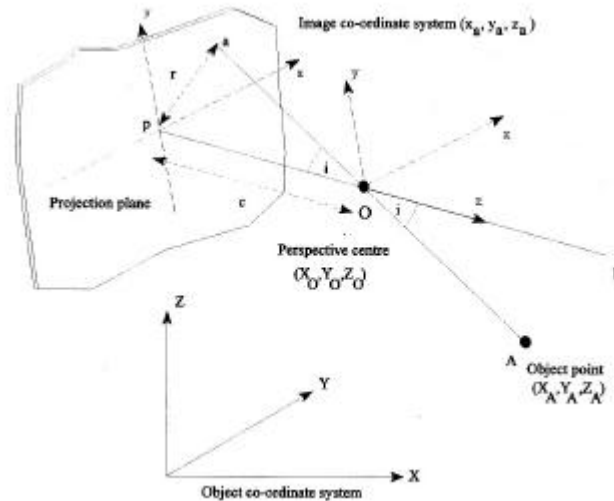
Konvergenttikuvauksessa (Kuva 2) kuvausakselit eivät ole samansuuntaisia. Kuvia voidaan siis ottaa joka puolelta kohdetta. Kohde voi näkyä kaikilla kuvilla kokonaan, sillä kuvanottopaikat voi valita mielivaltaisesti. Kuvat voi ottaa myös eri etäisyyksiltä kohteesta. Kohteen koordinaattien tarkkuus konvergenttikuvilta mitattuna on erittäin hyvä. (P. Rönholm 2004)



**Kuva 2.** Konvergenttikuvaus (P. Rönholm 2004)

### 3. Kuvakoordinaattien laskeminen yhden kameran tapauksessa

Yhden kameran tapauksessa geometria on seuraavanlainen:



**Kuva 3.** Kuvausgeometria yhden kameran tapauksessa (K. B. Atkinson, 2001, kuva 2.4)

Kun halutaan muodostaa kuva kolmiulotteisesta kohteesta, kohde projisoidaan tasolle. Kuva 3 esittää perspektiivistä keskusprojektiota, jossa kuva muodostetaan projektiokeskuksen ( $O$ ) kautta kulkevista säteistä. Piste  $A$  on jokin kohta kolmiulotteisessa kohteessa, ja se projisoidaan projektiokeskuksen kautta pisteeseen  $a$  kuvatasolle. Pisteet  $a$ ,  $O$  ja  $A$  ovat samalla suoralla ja projisoitaessa kuva kääntyy näin ollen ylösalaisin. Piste  $p$  on kuvatason pääpiste. Siitä lähtevä akseli projektiokeskuksen läpi on kohtisuorassa kuvatasoon nähden. Etäisyyttä pääpisteestä projektiokeskukseen kutsutaan kameravakioksi  $c$ . (K. B. Atkinson, 2001: 16-19)

Kolmiulotteisella kohteella on oma koordinaatistonsa ( $XYZ$ ) ja kuvataso sijaitsee koordinaatistossa ( $xyz$ ), jonka origo on projektiokeskuksessa.  $Z$ -akseli on saman suuntainen vektorin  $pOP$  kanssa ja  $x$ - ja  $y$ -akselit sijaitsevat kuvatasossa muodostaen oikeakätisen koordinaatiston. Näin ollen pisteen  $a$  koordinaatit kuvakoordinaatistossa ovat  $(x_a, y_a, -c)$ . Kun otetaan huomioon kuva- ja kohdekoordinaatiston välinen skaalaero, kierrot ja siirrot, saadaan kuvautumisyhtälöksi kohteesta kuvalle seuraavanlainen yhtälö. (K. B. Atkinson, 2001: 16-19)

$$\begin{pmatrix} x_a \\ y_a \\ -c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_O \\ Y_O \\ Z_O \end{pmatrix}$$

, jossa  $c$  on mittakaavaluku,  $r_{xx}$  muodostavat kiertomatriisin kohdekoordinaatistosta kuvakoordinaatistoon ja  $X_O, Y_O, Z_O$  jne. määrittävät siirrot kohdekoordinaatistosta projektiokeskuksesta kohteen pinnalle.

Yllä oleva matriisi voidaan esittää myös seuraavassa muodossa:

$$\begin{aligned}
 x_a &= \frac{1}{c} [r_{11}(X_O - X_A) + r_{12}(Y_O - Y_A) + r_{13}(Z_O - Z_A)] \\
 y_a &= \frac{1}{c} [r_{21}(X_O - X_A) + r_{22}(Y_O - Y_A) + r_{23}(Z_O - Z_A)] \\
 z_a &= \frac{1}{c} [r_{31}(X_O - X_A) + r_{32}(Y_O - Y_A) + r_{33}(Z_O - Z_A)]
 \end{aligned}$$

Mittakaavaluku saadaan alimmasta yhtälöstä seuraavalla kaavalla:

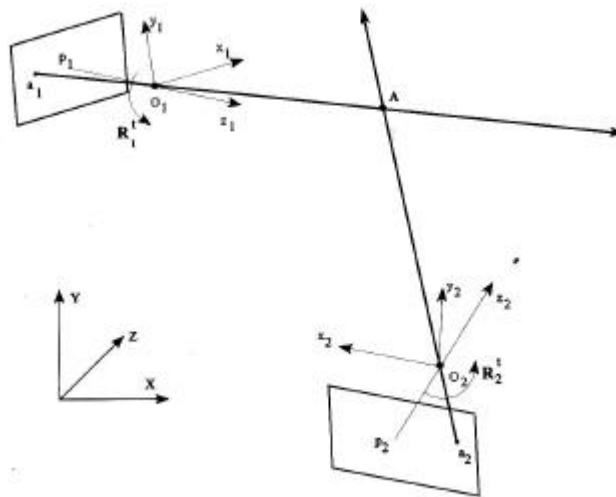
$$c = \frac{1}{z_a} [r_{31}(X_O - X_A) + r_{32}(Y_O - Y_A) + r_{33}(Z_O - Z_A)]$$

Kun yllä oleva mittakaavaluvun yhtälö sijoitetaan yhtälöryhmän kahteen ensimmäiseen yhtälöön, saadaan tunnetut kollineaarisuusyhtälöt, joista voidaan ratkaista kamerakordinaatit  $x_a$  ja  $y_a$ :

$$\begin{aligned}
 x_a &= \frac{c [r_{11}(X_O - X_A) + r_{12}(Y_O - Y_A) + r_{13}(Z_O - Z_A)]}{r_{31}(X_O - X_A) + r_{32}(Y_O - Y_A) + r_{33}(Z_O - Z_A)} \\
 y_a &= \frac{c [r_{21}(X_O - X_A) + r_{22}(Y_O - Y_A) + r_{23}(Z_O - Z_A)]}{r_{31}(X_O - X_A) + r_{32}(Y_O - Y_A) + r_{33}(Z_O - Z_A)}
 \end{aligned}$$

#### 4. Kuvausgeometria kahden kameran tapauksessa

Jos kahden kameran ulkoinen orientointi ja niiden projektiokeskukset ovat tunnettuja, voidaan kohteen avaruuskoordinaatit määrittää. Tätä kutsutaan eteenpäinleikkaukseksi (Kuva 4). (P. Rönholm 2004, luento 5)

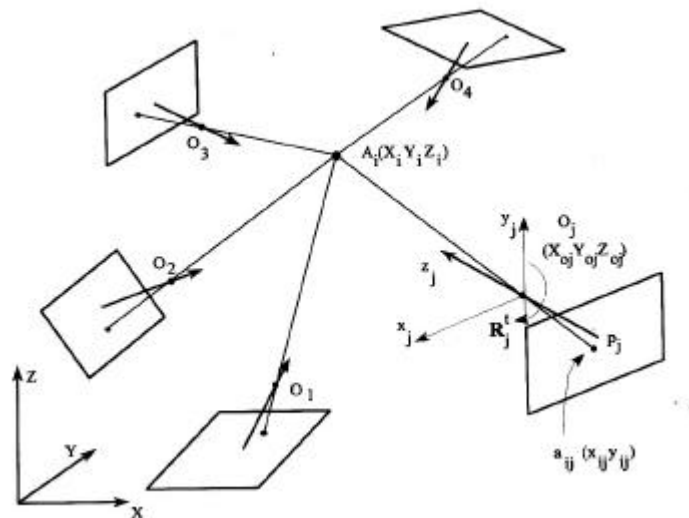


**Kuva 4.** Eteenpäinleikkaus kahden kuvan tapauksessa (K. B. Atkinson, 2001, figure 2.9)

Koska tuntemattomia ovat kohteen kolme koordinaattia  $(X_A, Y_A, Z_A)$  ja tunnettuina yhteensä neljä havaintoa kahdelta kuvalta  $(x_1, y_1)$  ja  $(x_2, y_2)$ , syntyy ylimääritystä. Jos kuvaan lisättäisiin useampia kuvia, olisi ylimääritys vielä suurempaa. Kun tunnettuja arvoja on enemmän kuin

tuloksena haluttavia, kohteen ja kuvien väliset avaruussuorat eivät leikkaa tarkasti samassa kohdassa. Siinä tapauksessa eteenpäinleikkauksen kohdepiste  $(X_A, Y_A, Z_A)$  lasketaan havaintoyhtälöistä tasoittamalla. Tällöin jännösvirheet tasoitetaan kolmen kohdekoordinaatin kesken. Ensinnä etsitään sellainen piste, joka on kuvaussäteiden yhteisellä normaalilla ja yhtä kaukana kummastakin kuvaussäteestä. Tasoitettaessa käytetään yleensä pienimmän neliösumman estimointia (PNS). Siinä kohdepisteen koordinaatit valitaan siten, että niistä laskettujen kamerakoordinaattien ja vastaavien kuvahavaintojen välisten jännösvirheiden neliösumma minimoituu. (P. Rönholm 2004, luento 5)

## 5. Kuvausgeometria usean kameran tapauksessa



**Kuva 5.** Kuvausgeometria usean kameran tapauksessa (K. B. Atkinson, 2001, kuva 2.13)

Esimerkkikuvassa (Kuva 5) kolmiulotteisen kohteen mitattavaa pistettä esittää piste  $A_i$ , jolla on koordinaatit  $X_i$ ,  $Y_i$  ja  $Z_i$ . Kohteen ympärillä on viisi kameraa, jotka osoittavat kohteeseen  $A_i$ . Tätä sanotaan konvergenttikuvaukseksi. Kuvalla kuvautuvalla pisteellä  $a_{ij}$  on koordinaatit  $x_{ij}$ ,  $y_{ij}$ , jotka saadaan laskettua seuraavien kollineaarisuusyhtälöiden avulla.

$$x_{ij} = \frac{c_j \cdot r_{j,11}(X_{Oj} - X_i) + r_{j,12}(Y_{Oj} - Y_i) + r_{j,13}(Z_{Oj} - Z_i)}{r_{j,31}(X_{Oj} - X_i) + r_{j,32}(Y_{Oj} - Y_i) + r_{j,33}(Z_{Oj} - Z_i)}$$

$$y_{ij} = \frac{c_j \cdot r_{j,21}(X_{Oj} - X_i) + r_{j,22}(Y_{Oj} - Y_i) + r_{j,23}(Z_{Oj} - Z_i)}{r_{j,31}(X_{Oj} - X_i) + r_{j,32}(Y_{Oj} - Y_i) + r_{j,33}(Z_{Oj} - Z_i)}$$

Näiden yhtälöiden avulla voidaan ratkaista kohteen pisteen koordinaatit  $X_i$ ,  $Y_i$  ja  $Z_i$ . Kun mitattava piste näkyy useammalla kuvalla, syntyy ylimääritystä. Siitä johtuen kohteen ja kuvien väliset avaruussuorat eivät leikkaa samassa pisteessä ja on tehtävä tasoitus, kuten on jo selitetty kahden kameran tapauksessa. Useamman kameran tapauksessa kyseessä kunnollinen tasoitus kolmiulotteisessa avaruudessa, sillä kahden kameran tapauksessa on vain löydettävä avaruussuorien väliseltä janalta piste, joka on yhtä kaukana kummastakin suorasta. Tasoituksen tuloksena saadaan

koordinaatit, joissa kaikilta kuvilta tulevat säteet leikkaavat tasoituksen tuloksena samassa kohdassa. (K. B. Atkinson, 2001: 16-19)

## **6. 3D-mallintaminen konvergenttikuvilta**

### **6.1 Alkutoimenpiteet ennen kuvilta mittaamista**

Kuvaukseen käytettävä kamera on kalibroitava ennen kuvien ottamista. Kalibroitaessa ratkaistaan sisäinen orientointi. Siinä tehdään koordinaatistomuunnos 2D-kuvahavainnoista 3D-kamerakoordinaatistoon. Kalibroinnin tuloksena saadaan kameran tarkat pääpisteen koordinaatit, kameravakio sekä ratkaistaan tangentiaaliset ja radiaaniset piirtovirheet. Kuvilta voidaan poistaa kalibroinnin jälkeen linssivirheet erillisellä ohjelmalla tai sitten sisällyttää virheiden poisto käytettävään mallinnusohjelmaan.

### **6.2 Kuvilta mittaaminen**

Tässä käytän esimerkkinä 3D-mallinnusohjelma PhotoModeler Pro:n avulla tehtävää mallinnusta. Yleensä konvergenttikuvat on otettu eri puolilta kohdetta siten, että kaikki kohteen osat näkyvät useammalla kuin yhdellä kuvalla. Kaikkia kuvia ei kuitenkaan ole suunnattu mihinkään tiettyyn samaan pisteeseen. Korjatut kuvat tuodaan aluksi ohjelmaan. Käsittelyä helpottaa, jos ensin ottaa käsittelyyn vain kaksi kuvaa, joilla näkyy yhteisiä pisteitä, ja lisää kuvia työn edistyessä. (PhotoModeler Pro 5, User Manual, 2004)

PhotoModeler:iin voi syöttää kalibroidun kameran tiedot, jotta mallinnus olisi tarkkaa. Myöskin useamman kameran lisääminen on mahdollista, jos saman mallin muodostamiseen käytetään usealla erilaisella kameralla otettuja kuvia. (PhotoModeler Pro 5, User Manual, 2004)

Seuraavaksi kuville merkitään vastinpisteitä. Vastinpiste tarkoittaa sitä, että sama piste näkyy useammalla kuin yhdellä kuvalla. Jotta pisteelle saataisiin 3D-koordinaatit, on se mitattava vähintään kahdelta kuvalta. Vastinpisteiksi kannattaa valita selvästi erottuvat yksilölliset kohteet, jotta toiseltakin kuvalta löytää saman kohdan. Tällaisia ovat tässä esimerkissä nurkat, kivien selvät reunapisteet jne. Pisteet kannattaa valita myös siten, että ne kuvaavat kohteen kolmiulotteisuutta ja että niistä luotu rautalankamalli on tarpeeksi havainnollinen. (PhotoModeler Pro 5, User Manual, 2004)

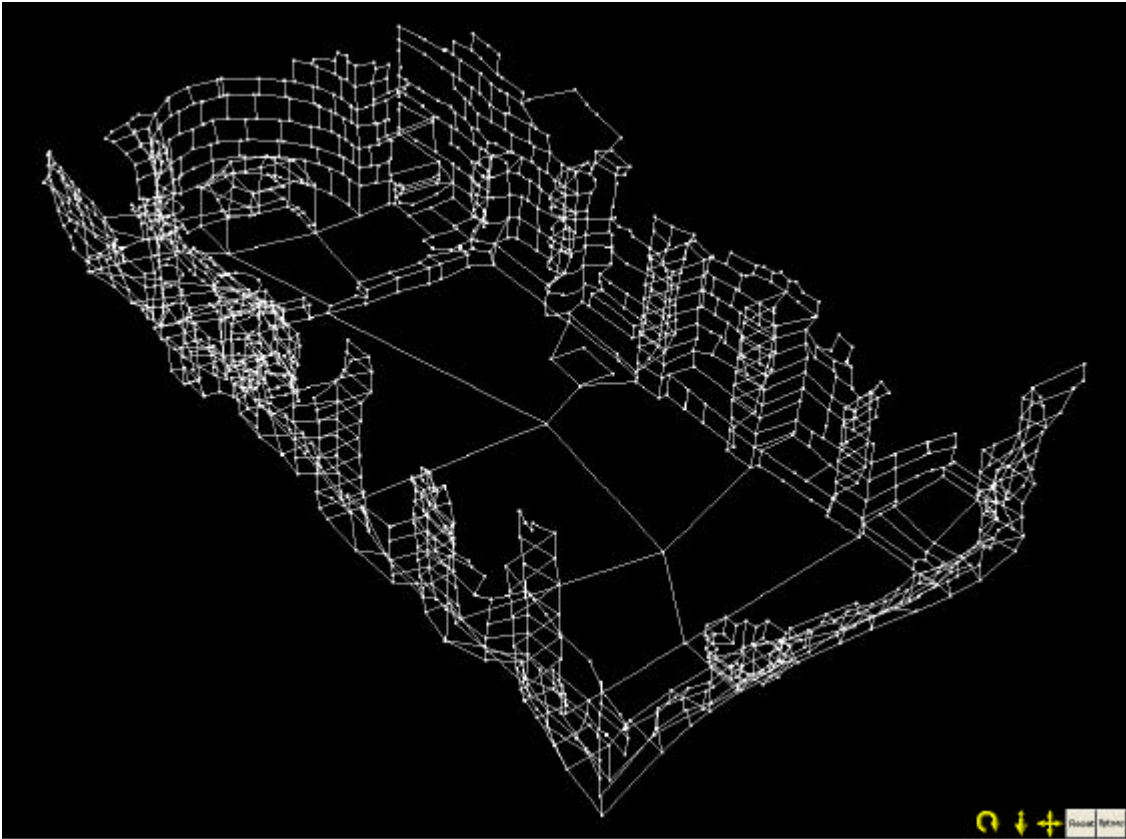


**Kuva 6.** Kahdelle kuvalle merkityjä vastinpisteitä

Esimerkkihjelman tapauksessa ensin toiseen kuvaan merkitään selvästi erottuvia kohteita (Kuva 6). Ohjelma voi myös käyttäjän halutessa liittää pisteet pinnan muodostavaksi kolmioverkoksi, tai käyttäjä voi määrätä, minkä pisteiden välille piirretään viiva tai vaikkapa käyrä. Tämän jälkeen näitä vastaavat kohdat merkitään toiseenkin kuvaan. Kaikkia pisteitä ei ole pakko näkyä kaikilla kuvilla. Tällöin vastinpisteen merkitseminen jätetään vain väliin. Kun halutut vastinpisteet on valittu, suoritetaan laskenta. Siinä kuvat orientoidaan keskinäisesti, eli kuvien asento toisiinsa nähden saadaan selville. Samalla selviää vastinpisteiden x, y ja z-koordinaatit. (PhotoModeler Pro 5, User Manual, 2004)

Kuvia lisätään malliin niin paljon, että saadaan kattava ja tarkka malli kohteesta (Kuva 7). Mitä enemmän kuvia keskinäiseen orientointiin ottaa mukaan, sitä tarkemman tuloksen saa aikaiseksi, kunhan vain kaikki pisteet ovat oikein merkitty ja tarkkoja. Orientoinnin jälkeen ohjelma ilmoittaa kokonaisvirheen suuruuden. (PhotoModeler Pro 5, User Manual, 2004)





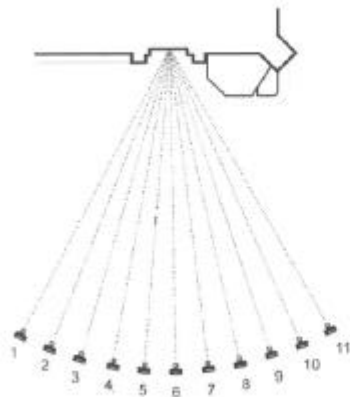
**Kuva 7.** Rautalankamalli kohteesta

Seuraavana on vuorossa kuvien ulkoinen orientointi, jos malli halutaan liittää esimerkiksi kohteen ympäristössä olevaan koordinaatistoon. Tämä voidaan tehdä kiintopisteiden avulla, joita ovat joko luonnolliset tai keinotekoiset selvästi erottuvat pistemäiset kohteet. Näitä ovat esimerkiksi geodeettiset kiintopisteet, joiden koordinaatit on mitattu vaikkapa takymetrillä. Kun niiden koordinaatit kuvilla tiedetään, voidaan malli liittää ulkoiseen koordinaatistoon. Geodeettisesti mitattuja pisteitä on hyvä olla ympäri kohdetta, jotta ulkoinen orientointi onnistuu. Eri ohjelmia käyttäessä on huomioitava, minkä suuntaista koordinaatistoa ohjelma käyttää. Esimerkiksi PhotoModellerin oikeakätisen koordinaatiston vuoksi y-koordinaatti on syötettävä vastakkaismerkkisenä, jos koordinaattitiedot tulevat vasenkätisestä järjestelmästä. (PhotoModeler Pro 5, User Manual, 2004)

Malli voidaan myös saattaa oikean kokoiseksi, vaikka ei olisi tiedossa ulkoista koordinaatistoa. Tällöin täytyy tietää esimerkiksi kahden pisteen välinen etäisyys, joka mallille annetaan samaksi kuin luonnossakin. (Photomodeler Pro 5, User Manual, 2004)

### **6.3 Tapaus, jossa kamerat kohdistetaan samaan pisteeseen**

Tämä tapaus sopii esimerkiksi rakennuksen julkisivun mallintamiseen. Kuvan 8 esimerkissä on käytetty yhtätoista kuvaa, jotka kaikki on otettu kohdistuen kamera samaan pisteeseen. Keskimäinen kuva on otettu kohtisuoraan kohdetta vasten, ja loput kuvat molemmilta sivuilta aina viiden asteen kulmalla edelliseen nähden. Koko julkisivu näkyy melkeimpä kokonaan kaikilla kuvilla. Jos kohde mallinnettisiin tavallisella geometrialla (stereoskooppisella), kuvia tarvittaisiin paljon enemmän, sillä julkisivu ei näkyisi kokonaan kaikilla kuvilla. (J. Garcia-Leon ym., 2003)



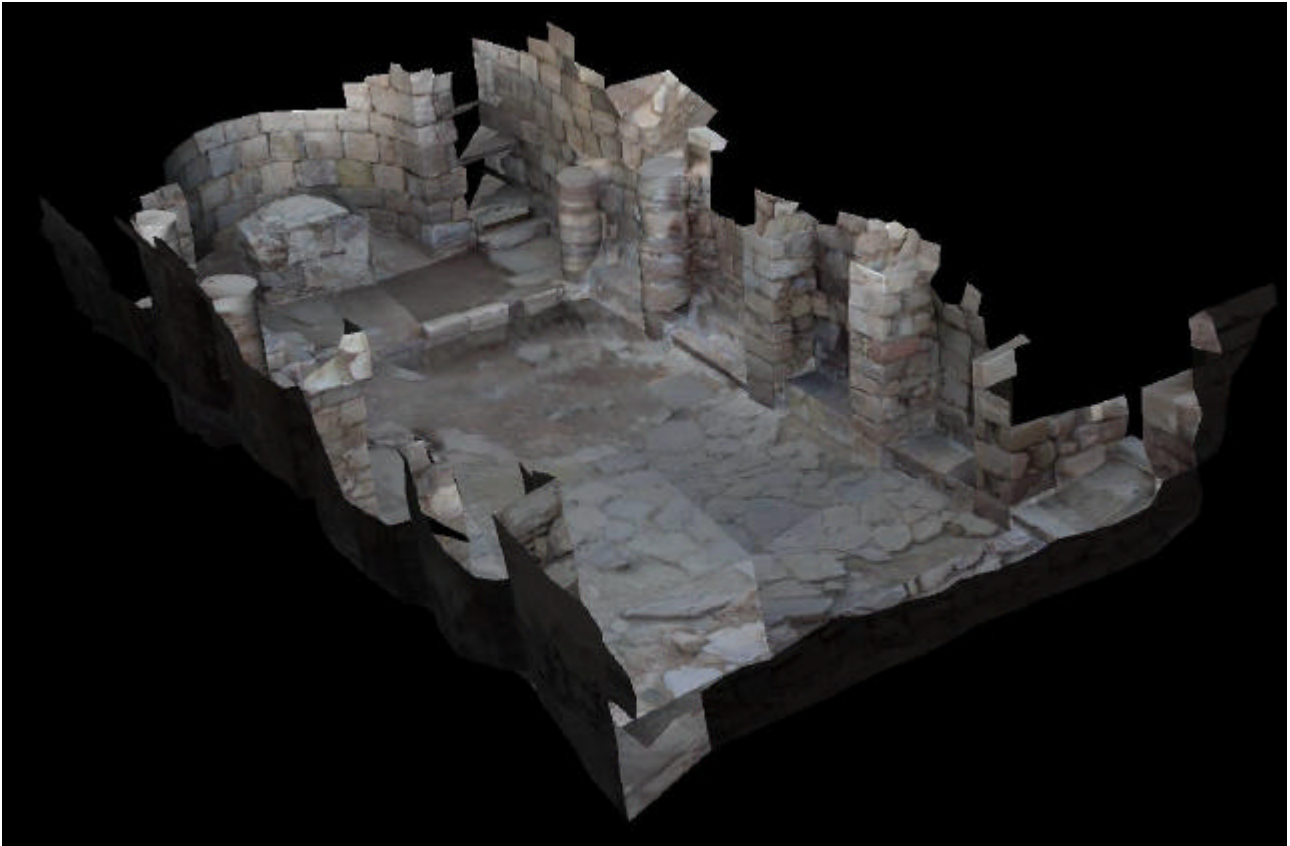
**Kuva 8.** Kuvauksen geometria ja seinässä olevia kiintopisteitä (J. Garcia-Leon ym., 2003)

Fotogrammetrisia tehtäviä prosessissa ovat sisäinen ja ulkoinen orientointi sekä pintamallin (DSM, Digital Surface Model) muodostaminen. Kohteen seinään on lisätty geodeettisesti mitattuja kiintopisteitä, joiden avulla mallin geometrian tarkkuus pystytään tarkistamaan. Konvergenttikuvat oikaistaan stereokuviksi ja pintamalli muodostetaan stereotarkastelun avulla. (J. Garcia-Leon ym., 2003)

#### 6.4 Mallin visuaalisuuteen vaikuttavat tekijät

Mitä enemmän vastinpisteitä kuville mitataan, sitä tarkempi mallista tulee. Jos vastinpisteiden välille piirretään esimerkiksi viivat, täytyy miettiä miten tiheään pisteitä on hyvä ottaa. Muuten jokin kuoppa tai uloke voi jäädä mallintamatta.

Fotorealistisen mallin (Kuva 9) aikaansaamiseksi mallin pinnalle liitetään tekstuuri valokuvista. Kuvien täytyy olla hyvälaatuisia ja melko saman sävyisiä, jos mallista haluaa todellisuutta vastaavan näköisen. Myöskin erilaisia valoeffektejä voidaan lisätä, jotta malli näyttäisi mahdollisimman realistiselta. (Z. Pereira ym., 2004)



**Kuva 9.** Esimerkki fotorealistisesta mallista

Mallinnetun kohteen voi liittää suurempaan kokonaisuuteen, esimerkiksi ympäristöönsä. Tällöin ympäristöstä täytyy olla jonkinmoinen malli saatavilla, esimerkiksi digitaalinen korkeusmalli. Jotkin ohjelmistot mahdollistavat mallissa liikkumisen. Tällöin käyttäjä voi kävellä esimerkiksi virtuaalisen kaupunkimallin katuja tai lentää sen yläpuolella. (Z. Pereira ym., 2004)

## ***7. Konvergenttikuvauksen etuja tavalliseen geometriaan verrattuna***

Konvergenttigeometria vaatii vähemmän kuvia kuin stereokuvilla tehtävä mallinnus. Lisäksi konvergenttikuvien geometria on parempi, sillä kuvia otetaan eri puolilta kohdetta, ei vain samasta suunnasta. Konvergenttikuvilta mallinnettaessa kohde voi näkyä kaikilla kuvilla kokonaan, sillä kuvia voidaan ottaa eri etäisyyksiltä ja eri puolilta kohdetta ja kaikki kuvat voidaan silti suunnata kohteen keskiosaan. Konvergenttigeometrialla on myös helpompi mallintaa vaikeasti näkyvät kohteet, kuten syvennykset jne.

## ***8. Mallintamisen käyttökohteita***

Kolmiulotteista mallinnusta voidaan käyttää moniin eri tarkoituksiin. Nykyaikainen kehittyvä tekniikka mahdollistaa entistä paremmat mahdollisuudet erilaisiin mallinnusmahdollisuuksiin ja käyttömahdollisuuksiin löytyy rajattomasti.

Mallinnusta käytetään usein kaupunkimallien teossa sekä arkeologisten ja arkkitehtuuristen kohteiden kuvaamiseen. Arkeologiassa mallinnusta tarvitaan löydettyjen kohteiden tallentamiseen ja kuvaamiseen, sillä näin niitä voidaan tutkia myöhemminkin jos esimerkiksi aito kohde joudutaan peittämään maan alle kaivausten päätyttyä. Myös semmoisia kohteita voidaan mallintaa, jotka eivät ole säilyneet kokonaan. (Z. Pereira ym., 2004)

Arkkitehtuurisesti arvokkaita rakennuksia mallinnetaan nykyään paljon. Kaupunkimallien avulla pystytään helposti suunnittelemaan uusia rakennuksia ja muita kohteita jo olemassa olevaan ympäristöön, sillä mallia on helppo muokata eri vaihtoehtojen mukaan. Näin voidaan muun muassa tutkia, sopiiko jokin suunnitteilla oleva kohde ympäristöönsä. Myös niin sanotut virtuaaliset museot ovat yksi 3D-mallintamisen käyttötapa. Tällöin ihmiset voivat esimerkiksi internetissä tutustua museoihin, jotka on mallinnettu kolmiulotteisiksi, jos eivät pääse paikanpäälle katsomaan. Lisäksi kohteita, joihin ei pääse esimerkiksi turvallisuussyistä, voidaan mallintaa ja näyttää ihmisille internetissä. (Z. Pereira ym., 2004)

Simuloitaessa kohteesta tehdään kolmiulotteinen malli, jonka avulla voidaan testata kyseisen järjestelmän toimivuutta. Tällöin vältetään turhaan esimerkiksi aidon kohteen rakentamista, jos se ei olekaan toimiva.

## **9. Mallinnusohjelmistoja**

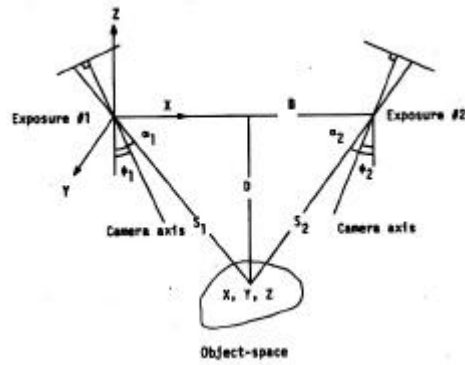
PhotoModeler Pro on mallinnusohjelmisto, jonka on tuottanut EOS Systems Kanadasta. Sen avulla voidaan valokuvista muodostaa kolmiulotteisia malleja. Myös ortokuvamallien teko on mahdollista. (Photomodeler Pro 5, User Manual, 2004)

Muita mallinnusohjelmia ovat Realviz ImageModeler (Realviz), Photo3D (Photo3D), Canoma (Canoma) ja Used Reality (Used Reality). Ohjelmilla pystyy mallintamaan kolmiulotteisia kohteita valokuvista. Tarkemmin en ole näihin muihin ohjelmiin perehtynyt.

## **10. Konvergenttikuvien tarkkuus**

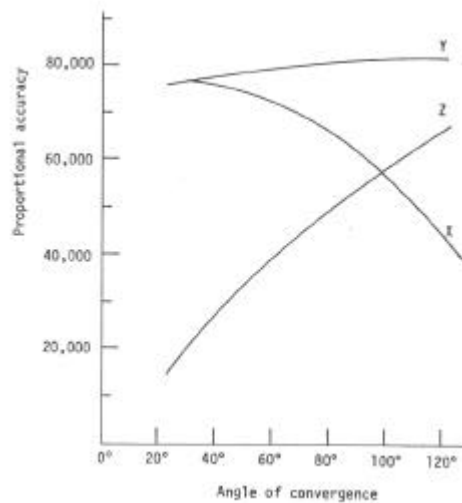
Minkä tahansa fotogrammetrisen systeemin tarkkuuden voi määritellä kohdeavaruuden koordinaattien tarkkuutena, jotka laskennasta saadaan. Konvergenttikuvien tapauksesta on olemassa useita ristiriitaisia väittämiä tarkkuudesta. Yleisesti hyvänä geometriana pidetään sitä, että kohteesta otettavien kuvien välinen kulma on noin  $90^\circ$ . (Abdel-Aziz ym., 1974)

Konvergenttikuvien avulla saatavien kohdekoordinaattien (X, Y, Z) tarkkuuteen vaikuttavat suureet B, D, C, F,  $m_x$  ja  $m_y$ . B on kuvakanta, D on keskimääräinen etäisyys kuvien ja kohteen välillä, C on kameravakio, F on konvergenssikulma ja  $m_x$  sekä  $m_y$  ovat kuvakoordinaattien x ja y keskivirheet. (Abdel-Aziz ym., 1974)



**Kuva 10.** Kohdekoordinaattien tarkkuuteen vaikuttavat suureet (Abdel-Aziz ym., 1974)

Eräissä tutkimuksissa Malhotra, Karara ja Kenefick tutkivat konvergenttikuvien välisiä kulmien vaihteluita, kun kuvien mittakaava pidettiin muuttumattomana. Etäisyydet kohteen keskipisteestä molempiin kameroihin pidettiin vakioina ja molemmat kamerat olivat suunnattuina kohteen keskipisteeseen. Alla oleva kuvio esittää, miten kohteen koordinaattien X, Y ja Z tarkkuus vaihtelee konvergenttikuvien välisen kulman vaihdeltaessa. (Abdel-Aziz ym., 1974)



**Kuva 11.** konvergenttikuvauksen kohdekoordinaattien tarkkuus (Abdel-Aziz ym., 1974)

X- ja Y-koordinaattien tarkkuudet ovat hyviä noin 40°:n kulmalla. Y-tarkkuus lähtee kulman suureudessa hienoiseen nousuun, kun taas X-tarkkuus laskee. Vastaavasti Z-koordinaatin tarkkuus on huono 40°:n kulmalla, mutta paranee kulman suureudessa. (Abdel-Aziz ym., 1974)

Toisessa tutkimuksessa pidettiin kuvakanta B ja etäisyys D muuttumattomina. Tuloksena saatiin selville, että suurentamalla kuvien välistä kulmaa kohdekoordinaattien tarkkuus joko paranee tai heikkenee riippuen siitä, miten B- ja D-arvot vaihtelevat. Edellä kuvattujen suureiden avulla on muodostettu kaavat, joiden avulla kohdekoordinaattien tarkkuudet voidaan laskea erilaisissa olosuhteissa. (Abdel-Aziz ym., 1974)

Mitä enemmän kuvia systeemiin otetaan mukaan, sitä tarkemman mallin kohteesta saa aikaiseksi. Myöskin kameras kalibrointi (sisäinen orientointi), linssivirheiden poisto ja mittausolosuhteet vaikuttavat tarkkuuteen.

## 11. Yhteenveto

Verrattaessa stereokuvausta ja konvergenttikuvausta, on konvergenttikuvauks tarkempaa paremman geometriansa takia. Stereokuvilta on kuitenkin helpompi muodostaa kolmiulotteinen malli, kun taas konvergenttikuvilta täytyy tehdä monimutkaisempia laskelmia kolmiulotteisen mallin aikaansaamiseksi. Tosin konvergenttikuvilta on helpompi mallintaa kohteen jokainen sopukka, kun kuvia voi ottaa mielivaltaisen paljon eri suunnista. Nykyään digikameroiden avulla konvergenttikuvauks on lisääntynyt, sillä kuvia voidaan ottaa enemmän ilman että filmiä kuluu turhaan. 3D-mallinnusta käytetään useissa eri sovelluksissa. Tämän ovat mahdollistaneet hyvä tarkkuus ja mallin visuaalisuus, sekä tietokoneiden ja erilaisten ohjelmien kehittyminen.

## Viitteet

(K. B. Atkinson, 2001)

M.A.R. Cooper & S. Robson, Chapter 2. Theory of close range photogrammetry in a book Close Range Photogrammetry and Machine Vision, Edited by K. B. Atkinson, 2001, 2th edition, Whittles Publishing, Scotland, UK.

(J. Garcia-Leon ym., 2003)

J.Garcia-Leon, A.M.Felicisimo, J.J.Martinez, 2003, First experiments with convergent multi-images photogrammetry with automatic correlation applied to differential rectification of architectural facades, Commission VI, WG VI/4

(Z. Pereira ym., 2004)

Z. Pereira, A. Morgado, L. Gomes Pereira, Comparison of different approaches to create architectural archives, Commission V, WG 4

<http://www.isprs.org/istanbul2004/comm5/papers/615.pdf>

(Abdel-Aziz ym., 1974)

Abdel-Aziz, Youssef I., 1974, Photogrammetric Engineering, Expected accuracy of convergent photos, Volume 40, Issue n. 11, Issue date Nov, Pages 1341-1346

(P. Rönholm 2004)

Maa-57.301, Fotogrammetrian yleiskurssin luentomonisteet, Petri Rönholm, päivitetty 8.10.2004, <http://foto.hut.fi/opetus/301/luennot/luennot.html>, sivu luettu 6.4.2005

(Photodeler Pro 5, User Manual, 2004)

PhotoModeler Pro 5, User Manual, Eos Systems Inc., 30<sup>th</sup> Edition, Jan. 2004

(Realviz)

[http://www.realviz.com/3d\\_modeling.htm](http://www.realviz.com/3d_modeling.htm), sivu luettu 4.4.2005

(Photo3D)

<http://www.photo3d.com/eindex.html>, sivu luettu 4.4.2005

(Used Reality)

<http://www.usedreality.com/>, sivu luettu 4.4.2005

(Canoma)

<http://www.metacreations.com/products/canoma/>, sivu luettu 4.4.2005