

## Luento 1: Opintojakson järjestäytyminen. Motivointia. Kertausta. Kuvamittauksen vaihtoehdot.

### Mitä pitäisi oppia?

- Palauttaa mieliin peruskurssilla opitut asiat
- Innostua aiheesta
- Ymmärtää, miksi ja miten hyvällä kuvauksen suunnittelulla voidaan parantaa kuvamittauksen tarkkuutta
- Oppia erilaisia tapoja mitata kivilta

### AIHEITA

[Fotogrammetrian opintojaksot](#)

[Yleiskurssin sisällölliset tavoitteet](#)

[Fotogrammetrian sovelluksista yleisesti ja tulevaisuudessa](#)

[Luennot ja harjoitukset](#)

[Perusteiden pikakertaus](#)

[Tarkkuuden parantaminen kuvausgeometriaa muuttamalla](#)

[Stereokuvaus](#)

[Konvergenttikuvaus](#)

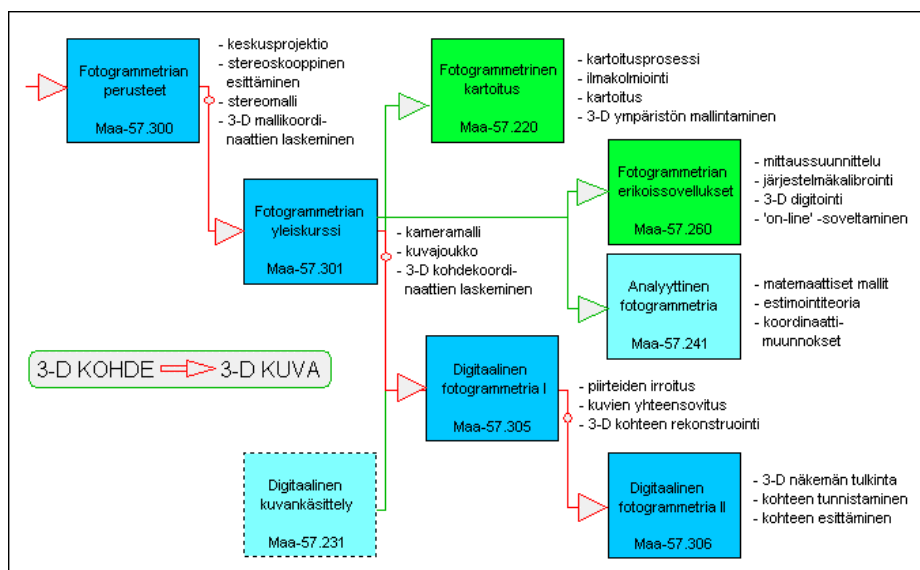
[Stereomittaus](#)

[Yksin pistein mittaus](#)

[Yksikuvamittaus](#)

[Monikuvamittaus](#)

### Fotogrammetrian opintojaksot



- Fotogrammetrian opintojaksoilla opitaan tekniikat, joita käytetään kolmiulotteisen ympäristön kolmiulotteiseen mallintamiseen sovellusalueista riippumatta.
  - Fotogrammetrian perusteissa, yleiskurssilla sekä digitaalisen fotogrammetrian kahdessa opintojaksossa hankitaan fotogrammetrian tieteenalalle ominaiset fysiikan ja matematiikan perustiedoista ne, jotka liittyvät erityisesti ympäristötiedon kolmiulotteiseen käsittelyyn.
  - Fotogrammetrisen kartoituksen ja erikoissovellusten opintojaksoissa pääpaino on ajankohtaisissa mittaus- ja kartoitustehtävissä.
  - Digitaalisen kuvankäsittelyn opintojakso tarjoaa perustiedot kuvamuotoisen signaalinkäsittelyn tekniikoihin. Vastaava opintojakso voidaan suorittaa myös lääketieteellisen fysiikan ja informaatiotekniikan koulutusohjelmissa.
  - Analyttinen fotogrammetria antaa syvälliset tiedot kolmiulotteista ympäristöä kuvaavien geometrinen ja radiometrinen suureiden estimointiin sekä havaintoihin sisältyvän epävarmuuden hallitsemiseen.
- Fotogrammetria sisältyy pääaineena geomatiikan koulutusohjelmaan:
  - [Geomatiikan koulutusohjelma](#)
- [Fotogrammetrian pääaineen](#) varsinaiset opintojaksot
  - [Maa-57.241](#) Analyttinen fotogrammetria (2,5 ov)
  - [Maa-57.305](#) Digitaalinen fotogrammetria I (2,5 ov)
  - [Maa-57.306](#) Digitaalinen fotogrammetria II (2 ov) [Esitiedot: [Maa-57.305](#)]
  - [Maa-57.260](#) Fotogrammetrian erikoissovellutukset (2 ov)
  - [Maa-57.270](#) Fotogrammetrian, kuvatulkinnan ja kaukokartoituksen seminaari (1,5 ov)
- Liittymät muihin koulutusohjelmiin
  - [Kuvatekniikan pääaineeseen](#) automaatio- ja systeemitekniikan koulutusohjelmassa sisältyvät digitaalisen kuvankäsittelyn, fotogrammetrian perusteiden ja yleiskurssin sekä digitaalisen fotogrammetria I:n opintojaksot.
  - [Informaatiotekniikan pääaine](#)

## Yleiskurssin sisällölliset tavoitteet - luennot ja harjoitukset

- Yleiskurssin sisällöllisiä tavoitteita
  - Fotogrammetrian yleinen soveltaminen
  - Kamera- ja kohdekoordinaatiston välinen 3-D kiertomatriisi
  - Projektiivinen oikaisu
  - Eteenpäin- ja taaksepäinleikkaus avaruudessa
  - 3-D kohteen kuvaamisen vaihtoehdot
  - Kuvablokin muodostaminen ja orientointi kohdekoordinaatistoon
  - Kohteen 3-D digitointi ja mallintaminen
- [Luennot](#)
- [Harjoitukset](#)

## Fotogrammetrian sovelluksista yleisesti - nyt ja tulevaisuudessa

- Sovelluksista on tällä hetkellä yleisimpänä **maastokartoitus**. Pääosa mittakaavaan 1 : 20.000 tai sitä suurempaan mittakaavaan tehtävistä maastokartoituksista tehdään ilmakuville tulkiten. Kuvaus tehdään jonoina, joissa peräkkäiset kuvat muodostavat stereokuvauksen normaalitapauksen mukaisen stereomallin. Stereomallit sovitetaan karttalehtijakoon ja tulkinta tehdään periaatteella: *"Mahdollisimman vähiltä kuvilta ja jokaiselta kuvalta mahdollisimman paljon tulkiten."*

- 1990-luvulla tutkimustyön pääpaino on ollut **3-D videodigitoinnin** kehittämisessä. Tämä muuttaa fotogrammetrian sovellusten pääpainoa vähitellen yleisiin 3-D mittaus- ja kartoitustehtäviin, ja maastokartoitusten osuus vähenee. Tavoitteena on kyetä muodostamaan mahdollisimman yksityiskohtaisia, geometrialtaan tarkkoja ja ilmiänsuhtaan todellisenkaltaisia tila- ja tuotemalleja mm. keinotodellisuuden tarpeisiin. Kartoitus toteutetaan periaatteella: *"Mahdollisimman useilta kuvilta, mutta jokaiselta kuvalta mahdollisimman vähän tulkiten."* Mitä useampia kuvia tulkintaan käytetään, sitä enemmän kuvilta voidaan kohdetta havaita. Toisaalta, mitä enemmän kuvia täytyy tulkita, sitä suurempi osa tulkinnasta täytyy voida automatisoida ja jättää tietokoneen tulkittavaksi.
  - Tulkittavien kuvien lukumäärän lisääntyessä ihmisen suorittaman tulkinnan osuus vähenee ja tietokoneen osuus lisääntyy. Ihmisen tekemä tulkinta kohdistuu prosessin alkuun ja kohteen likimääräiseen tulkintaan. Päätehtävänä on näkemän ymmärtäminen ja kohteen osoittaminen ja yksilöiminen. Kun kohde ja kuvaustilanne tunnetaan pääpiirtein, tietokoneen osuus tulkinnassa lisääntyy. Prosessin edetessä koneen ja ihmisen roolit vaihtavat paikkaansa. Prosessin loppuvaiheessa, jossa kyse on yhä enemmän jo kertaalleen tulkittujen tietojen tarkentamisesta, tietokone jatkaa tulkintaa yksin ja päättää työn, kun vaadittu tarkkuus todetaan saavutetuksi.
- Uuden piirteen fotogrammetrian kehitykseen ovat tuoneet **uudet kuvaustekniikat**, lähinnä laser- ja mikroaaltotutkat. Kummaankaan tekniikan käyttö ei edellytä päivänvaloa vaan ne valaisevat kohteen omalla mittausignaalillaan.
  - Lasertutkalla kuvataan kohteen geometriaa pyyhkimällä kodetta pistemäisesti fokusoidulla lasersäteellä. Kohde havaitaan siitä takaisin heijastuvien säteiden kasaamana pistepilvenä eli ns. etäisyyskuvana. Etäisyyskuvan pisteiden 3-D koordinaatit lasketaan heijastuneen säteen kulkuajasta ja lähetyssuunnasta. Ensimmäiset laserkeilaimet olivat teollisuuden mittauskäytössä 1980-luvulla ja 1990-luvun lopulla ne yleistyivät nopeasti ilmakuvaukseen ja maastomallien kartoitustehtäviin.
  - Mikroaaltotutkan käyttö on lisääntynyt maastokartoituksen tehtävissä, ensin satelliittikuvilta ja nyttemmin myös ilmakuvilta, koska mikroaaltotutkalla voidaan kuvata maanpintaa myös pilvisellä säällä. Tutkasignaalin koherenssia käytetään hyväksi kaksoisvalotuksiin perustuvissa interferenssikuvauksissa. Niillä havaitaan ja tulkitaan kohteen muotoa, sen liikkeitä ja pieniä muodonmuutoksia.
  - Tulevaisuudessa tulee sovelluksia, joissa yhdistetään tutkatekniikalla saatua tietoa ja valokuvia. Erityisesti kohteen luokittelussa ja tunnistamisessa yksi tiedonlähde on usein riittämätön, jotta saataisiin kovin hyviä tuloksia.

## Perusteiden pikakertaus

K: Mikä mahdollistaa kuvien mittauskäytön?

V: Kuvan tunnettu geometria. Esimerkiksi ideaalisella valokuvalla toteutuu keskusprojektiio.

K: Onko valokuva yleensä keskusprojektiokuva?

V: Valitettavasti ei! Esimerkiksi linssivirheet vääristävät kuvaa ja pilaavat geometrian.

K: Mitä sitten voi tehdä?

V: Korjataan kuvaa tai huomioidaan virheet laskennassa.

K: Mikä on sisäinen orientointi?

V: Tunnetaan kameran sisäinen geometria: kameran projektiokeskuksen etäisyys kuvatasosta eli polttoväli sekä kuvan pääpisteen sijainti. Pääpisteessä projektiokeskuksen kautta kulkeva kuvausvektori leikkaa kuvatason kohtisuorasti.

K: Minulla on yksi sisäiseltä orientoiniltaan tunnettu kuva. Joko pääsen mittaamaan?

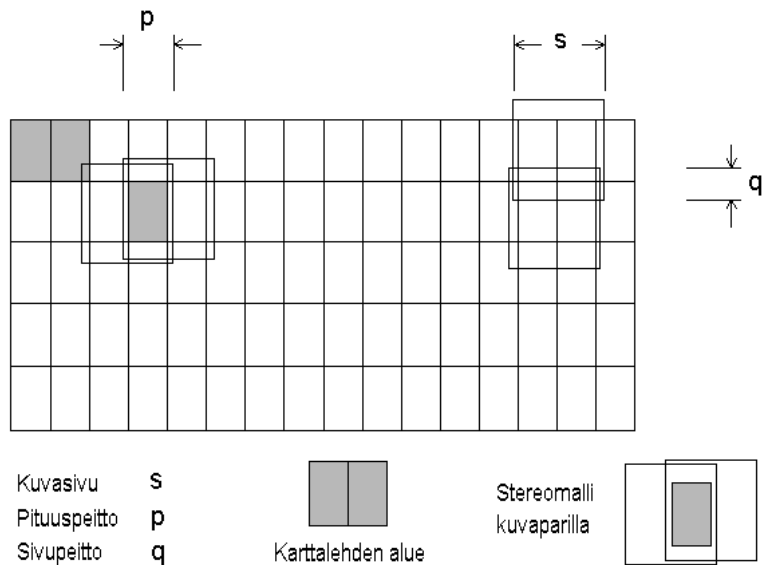
V: Ei onnistu, ellei kohteesta ole jotain ennakkotietoa: tiedetään kohde tasomaiseksi tai tunnetaan kohteen

maastokorkeus tai etäisyys projektiokeskuksesta. Kun projektiokeskuksen ja kuvapisteen kautta piirretään vektori kohteeseen, ratkaisuja on ääretön määrä, jos ei tiedetä, missä vektorin pitäisi osua kohteeseen.

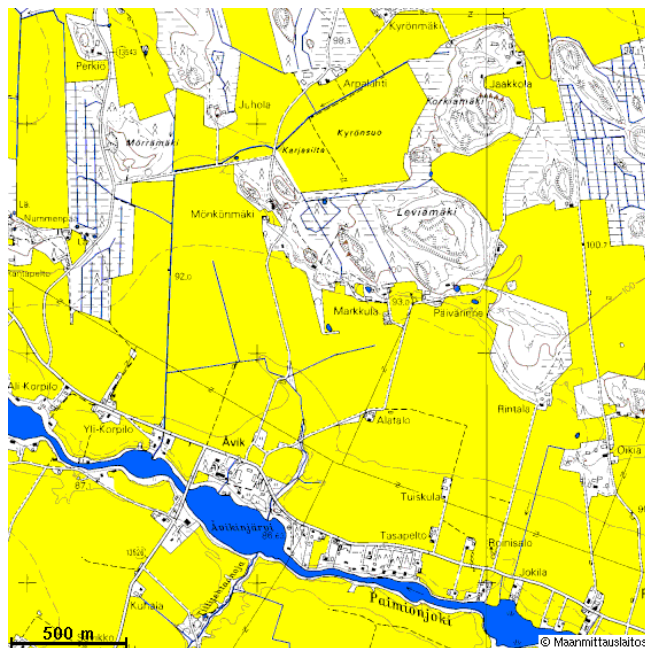
K: Haluan mitata kuvilta kolmiulotteista tietoa! Miten se onnistuu?

V: Otetaan kohteesta kaksi tai useampi kuva, orientoidaan ne ja aletaan mittaamaan. Jos kuvat ovat stereokuvauksen normaalitapauksessa, voidaan kuvia myös katsella stereona.

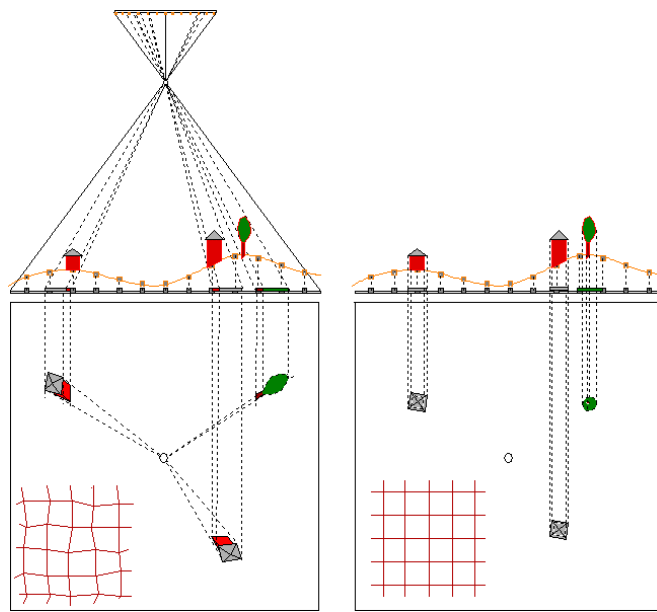
## Kertauskuvia peruskurssista



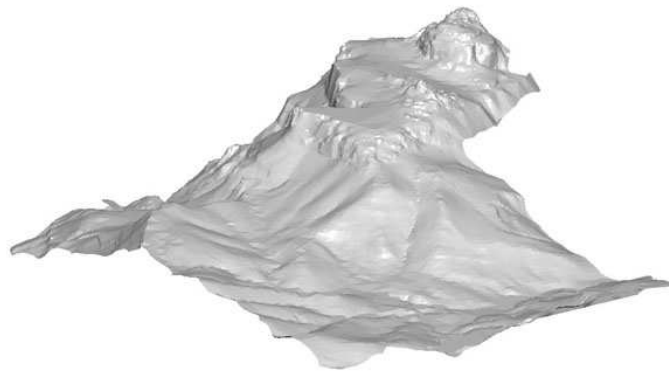
Stereokuvauksen suunnittelu karttalehtijaon mukaan.



2-D peruskartta 1 : 20'000 korkeuskäyrin (Maanmittauslaitos).



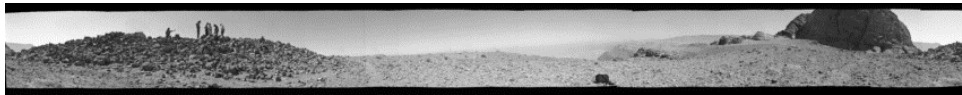
Keskusprojektio ja kartta.



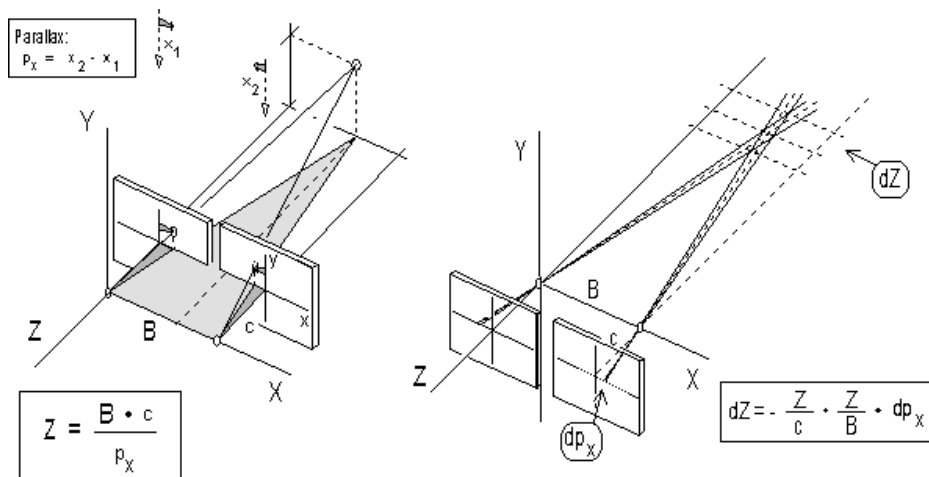
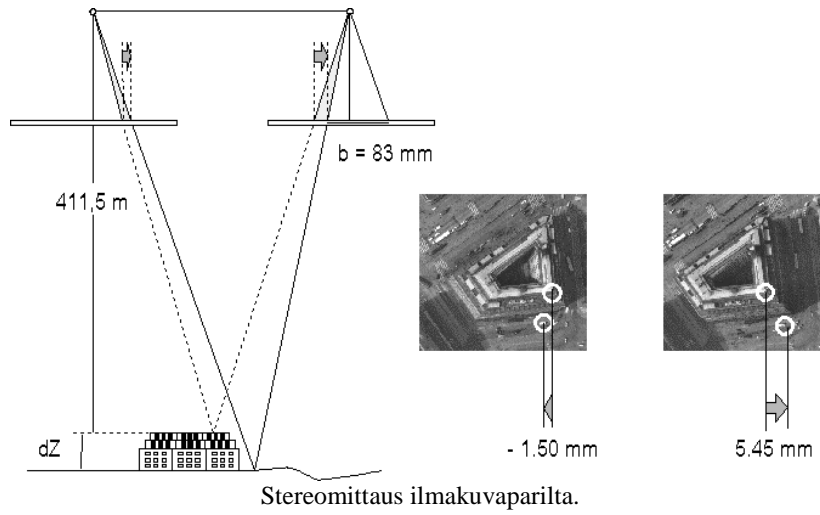
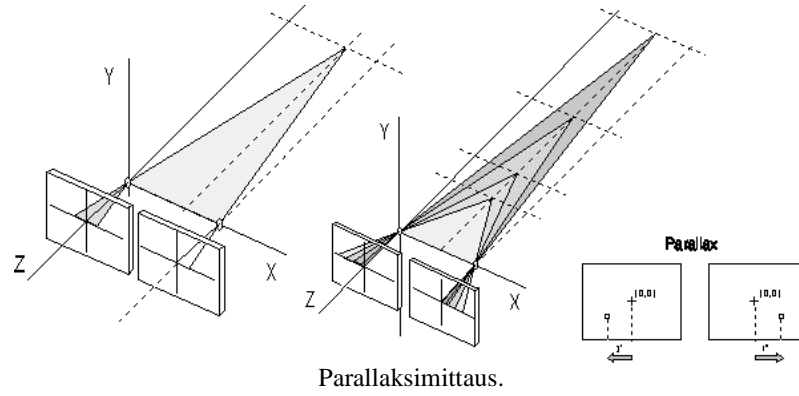
3-D pintamalli (K. Koistinen, Finnish Jabal Haroun Project 1998).



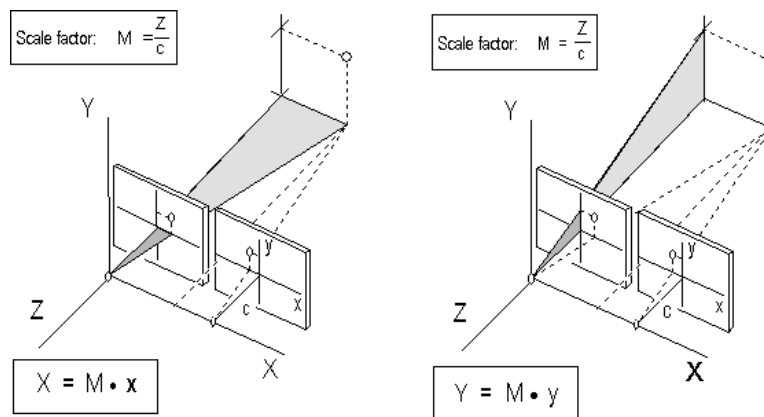
Viistoilmakuvaus (Lentokuva Vallas Oy).



Videokuvaus (P. Pöntinen, Finnish Jabal Haroun Project 1998).



Parallaksikaavat etäisyyden laskemiseen ja siihen vaikuttavan havaintoepävarmuuden arvioimiseen.



Parallaksikaavat tasokoordinaateille.

Lähteitä

[Moniulotteisuus tieteenalana](#)

[3-D videodigitoinnin kehittäminen](#)

[Fotorealistisen pintamallin muodostaminen stereokuvaparin avulla](#)

## Tarkkuuden parantaminen kuvausgeometriaa muuttamalla

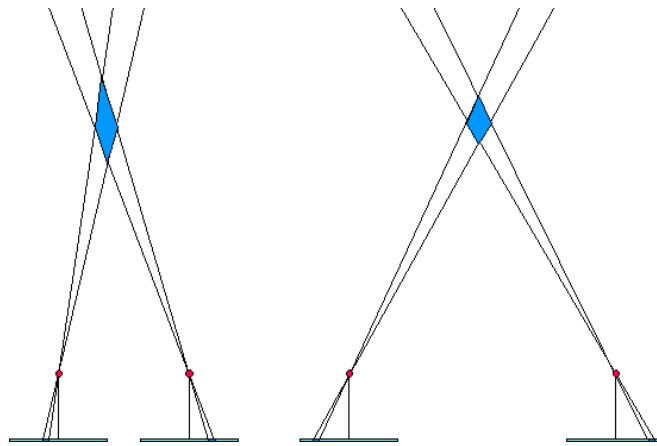
- Kuvamittauksen tarkkuutta arvioidaan likimäärin parallaksikaavoista.

$$dZ = - \frac{Z}{c} \cdot \frac{Z}{B} \cdot dp_x$$

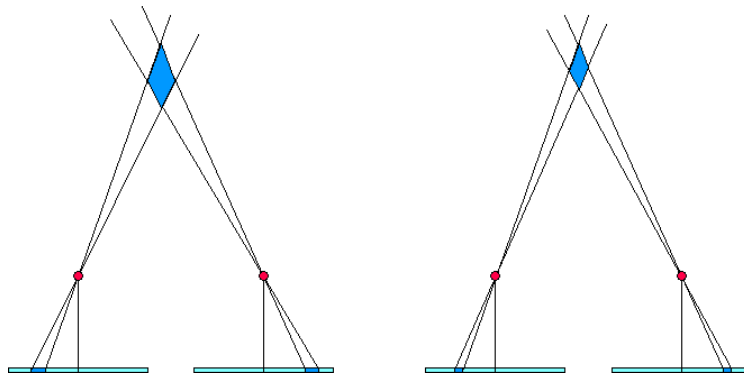
$$dX = \frac{Z}{c} \cdot dx$$

$$dY = \frac{Z}{c} \cdot dy$$

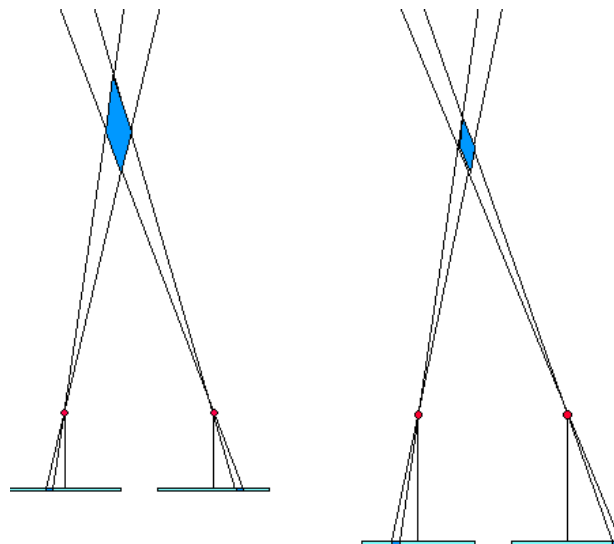
- Kuvamittauksen tarkkuutta voidaan parantaa sopivalla kuvausgeometrialla. Kuvausgeometria suunnitellaan kuitenkin aina mittaustehtävän mukaan, ja vain hyvin harvoin on tarpeen käyttää hyväksi kaikki seuraavassa luetellut mahdollisuudet.
- Kuvausgeometria on hyvä, kun
  - kantasuhde on suurempi kuin 1 : 1,
  - kuvaamiseen käytetään mahdollisimman suurta polttoväliä ja kuvakokoa,
  - kuvia otetaan useasta suunnasta ja eri puolilta kohdetta (**konvergenttikuvaus**),
  - mittauspisteet havaitaan kivilta mahdollisimman tarkasti,
  - kivilta tehdyt mittaushavainnot toistetaan tai samasta paikasta otetaan useampia kuvia.
  - Kuvatulkinnan kannalta on hyvä, jos toistetut kuvat otetaan pienellä kantasuhteella, esimerkiksi luokkaa 1 : 10 ... 20, koska tällöin tulkinta voidaan tehdä stereoskooppisesti (**stereokuvaus**).



Etäisyyssmittauksen tarkkuus paranee kuvakantaa suurentamalla (**stereokuvaus**). Kuvakantaa voi kuitenkin suurentaa vain kuvakulman sallimissa puitteissa.

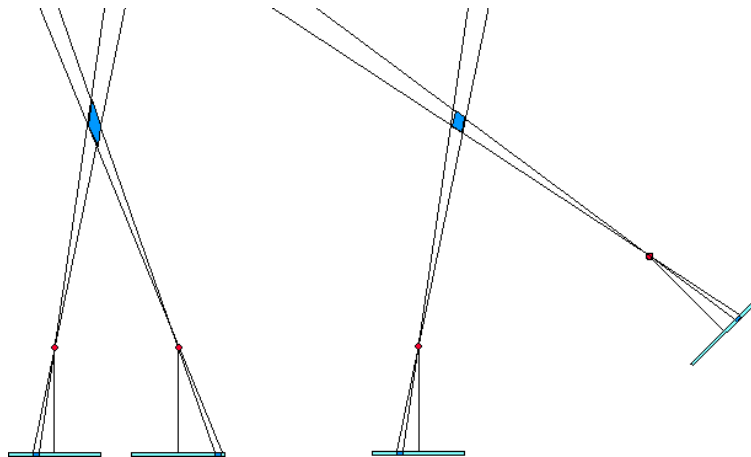


Pistehavainnon jokaisen koordinaatin tarkkuus paranee kuvahavainnon tarkkuuden parantuessa. Kuvahavaintoa voi parantaa esimerkiksi kuvan erotuskykyä parantamalla tai lisäämällä havaittujen kuvien lukumäärää.



Kuvan erotuskykyä voi lisätä myös käyttämällä kuvaukseen pidempipolttovalista optiikkaa.

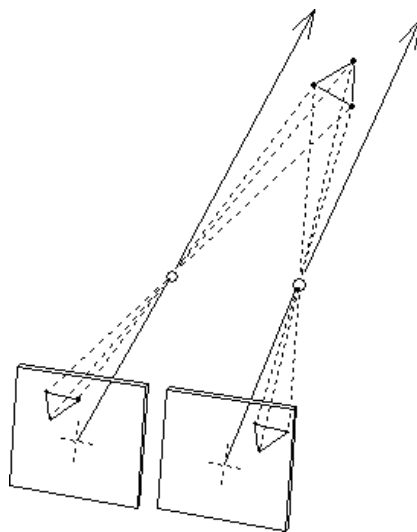




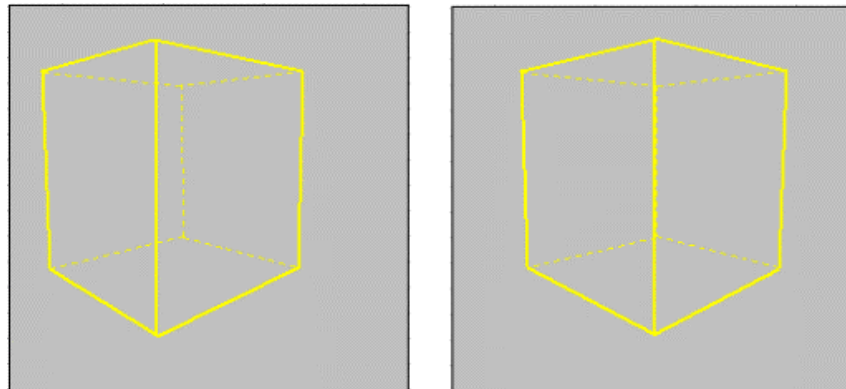
Pidemmillä polttovälillä kuvakulma kapenee. Jos mittaustarkkuutta tällöin parannetaan kuvakantaa pidentämällä, kameraa on käännettävä (**konvergenttikuvau**s). Konvergenttikuvauksella saadaan virhekuviota pyöristettyä eli mittaustarkkuus tasoittuu eri koordinaattisuuntien kesken.

## Stereokuvaus

- Stereokuvauksessa kuvausakselit ovat yhdensuuntaiset ja kohtisuorassa kuvakantaan nähden (myös: **normaalikuvau**s).
- Stereokuvauksen tärkein merkitys on siinä, että se mahdollistaa kuvien käytön kohteen stereoskooppiseen tulkintaan ja visualisointiin.
- Koska kuvausakseleita ei voi kääntää kohteen suuntaan, kohde kuvautuu vain osalle kuvaa, sitä pienemmälle osalle, mitä pidempi kuvauskanta on.
- Mittaustarkkuus on yleisesti ottaen hyvä. Etäisyshavaintojen osalta on huomattava, että epätarkkuus kasvaa etäisyyden neliön suhteessa. Stereomittauksen kannalta kelvollisena mittausetäisyyden rajana voidaan pitää kantasuhdetta (B/Z) luokkaa 1 : 10...20.



Stereokuvaus.



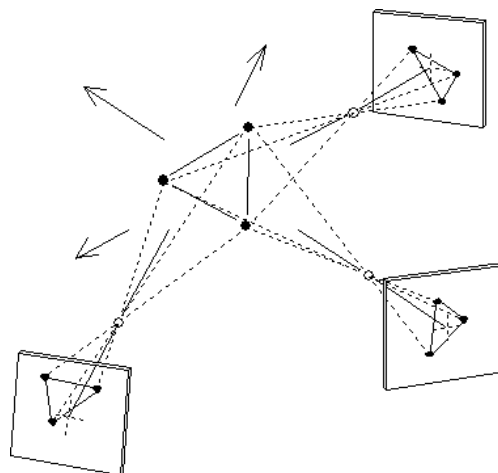
Stereokuvapari.

### Harjoitus

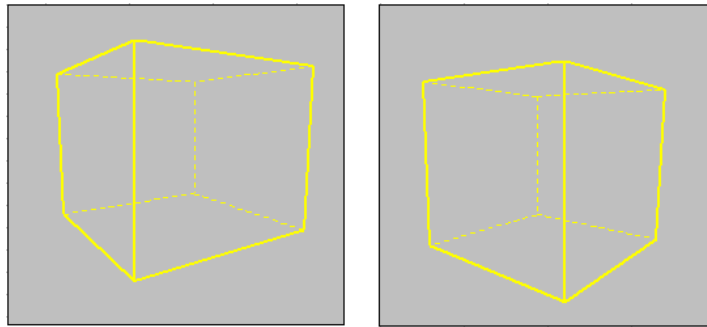
- stereokuvaus
  - [stereo\\_photography\\_pr.zip](#)
- stereomallin kokonaisplastiikka
  - [opetus/300/luennot/2/2.html](#)

## Konvergenttikuvaus

- Konvergenttikuvauksessa kuvausakselit suunnataan kohteeseen. Tällöin kuvausakselien sanotaan konvergoivan.
- Stereotulkinta on mahdollista vain, mikäli kuvat oikaistaan jälkikäteen normaalitapauksen mukaisiksi (epipolaarioikaisu). Suuri kantasuhde vaikeuttaa kuitenkin stereotulkintaa, koska kuvasisältö muuttuu sitä enemmän mitä kauempaa toisistaan kuvat otetaan.
- Konvergenttikuvauksissa koko kuva-ala voidaan hyödyntää hyvin, koska mittauskohde voi täyttää koko kuvan.
- Konvergenttikuvilta mitattujen kohdekoordinaattien tarkkuus on erittäin hyvä.



Konvergenttikuvaus.

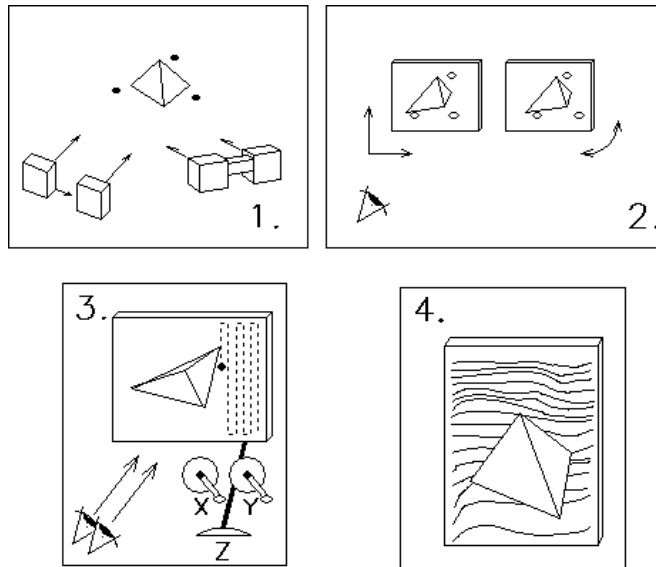


Konvergentti kuvapari.

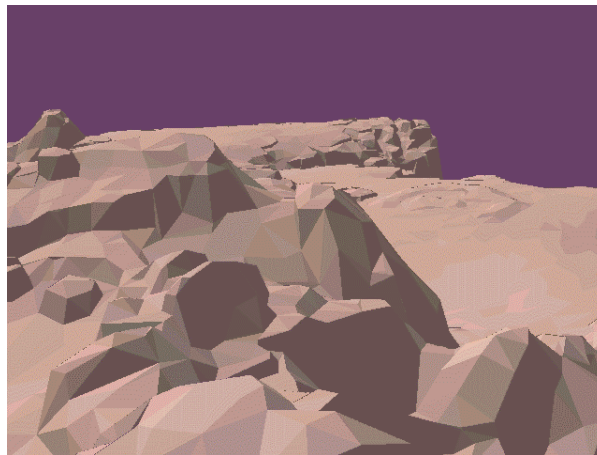
- Harjoitus
  - konvergenttikuvaus
    - [convergent photography\\_pr.zip](#)

## Stereomittaus

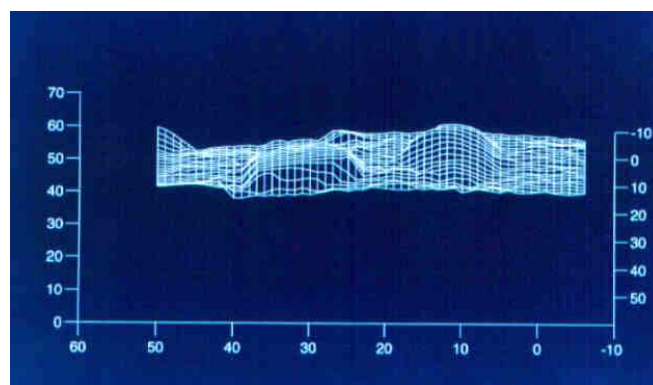
- Stereomittaus perustuu stereokuvaukseen. Kuvaus tehdään joko kiinteäkantaisella ns. stereokameralla tai yhdellä kameralla, mutta kahdesta asemasta.
- Stereomittaus perustuu kohteen tulkitsemiseen kuvilta eli käytännössä usein kuvauksen jälkeen. Sen takia kaikki tulkinnan kannalta oleellinen sellainen tieto, joka ei kuvilla tule näkymään, esimerkkinä lähtöpisteet, on näkyvöitettävä ennen kuvausta. Osa tulkinnasta voidaan tehdä kohteella kuvauksen jälkeen ja merkitään esimerkiksi kuvista tehdyille kopioille.
- Stereomittaus edellyttää stereomittauskojetta, jolla stereomalli muodostetaan ja orientoidaan mittauskoordinaatistoon. Mallin mittaus on jatkuvaa eli mallikoordinaatit lasketaan 'on line' ja kojeen mittamerkin liikkeitä voidaan ohjata numeerisesti 3-D koordinaatein.
- Malli digitoidaan stereotulkinnan perusteella. Mittaus voi olla valikoivaa, eli stereo-operatööri digitoi näkemänsä perusteella vain ne pisteet ja piirteet, jotka parhaiten kuvaavat kartoitettavaa kohdetta. Automaattisia työasemia käytettäessä yhä suurempi osa stereomittauksesta tehdään myös sokeasti ("bulkkina"), jolloin näytenotto perustuu pistetiheyteen tai vastaavaan kriteeriin. Tällöin näkemän tulkinta tehdään laskennallisin menetelmin.
- Kaksi kuvaa per stereomalli per yksityiskohta.
- Mittaustarkkuus hyvä.



Stereomittauksen työvaiheet.



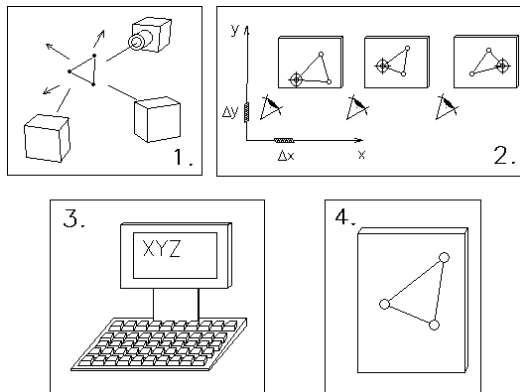
Ilmakuvilta digitoitu vuoren pintamalli.



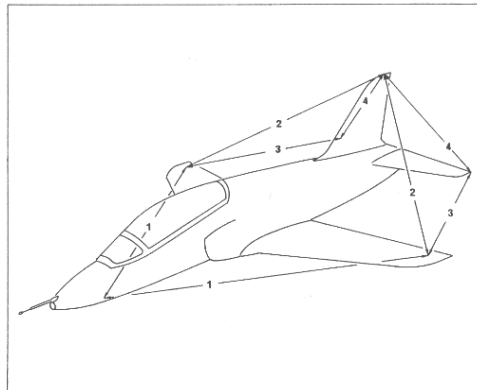
Profiloitu sora näyte.

## Yksin pistein mittaus

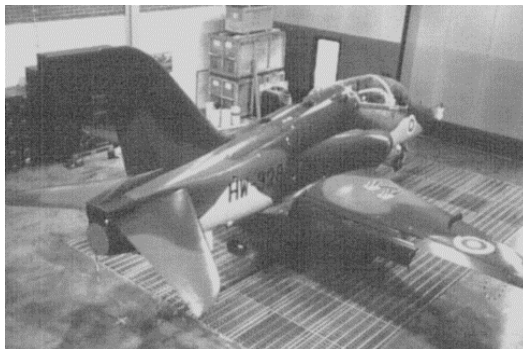
- Tulkinta ennen kuvausta
- Konvergenttikuvaus => monotulkinta
- Kaksi tai useampi kuva per yksityiskohta
- Kuvakoordinaattihavainnot
- Mallikoordinaatit lasketaan 'off line'
- Soveltuu yksin pistein kolmiointiin ja mittaamiseen
- Mittaustarkkuus erinomainen



Yksin pistein mittauksen työvaiheet.



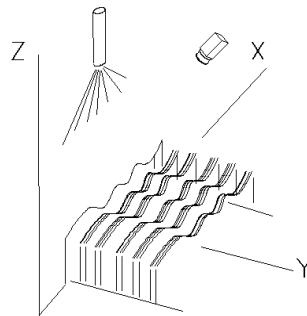
Lentokoneen deformaatiomittaus symmetriapisteistä.



Hawk.

## Yksikuvamittaus

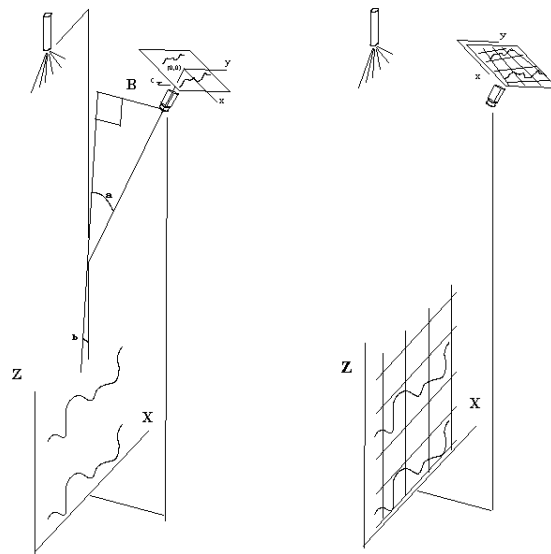
- Yksikuvamittaus on kohteen mittausta yhdeltä kuvalta.
- Yhdeltä kuvalta voi kohteen muodon mitata vain kaksiulotteisesti, 2-D koordinaatteina ja kuvan perspektiivistä. Kolmiulotteinen mittaaminen yhdeltä kuvalta edellyttää etukäteistietoa kohteen muodosta, kuten
  - kohde on taso,
  - kohde muodostuu tasoista, ja tasot ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan,
  - kohteen korkeusmalli on mitattu aiemmin,
  - kohde muodostaa pyörähdyspinnan jonkun symmetria-akselin ympäri, jne.
- Yksinkertaisimmillaan yksikuvamittaus soveltuu tasomaisille kohteille. Tällöin kuva voidaan oikaista suoraan kohteen päätason julkisivukuvaksi ja tulkita tämän tason osalta. Ne osat kuvalla, jotka eivät sijaitse tällä tasolla, kuvautuvat väärin.
- Jos kohteen pinnanmuoto tunnetaan, kuva voidaan oikaista kohtisuoraksi julkisivukuvaksi. Oikaistu kuva voidaan tulostaa myös muissa projektioissa.
- Jos kohteen pinnanmuotoa ei tunneta, muoto voidaan mitata kaksiulotteisina profiileina. Mittaus edellyttää profiilien näkyvöittämistä esimerkiksi valaisemalla kohdetta yhdensuuntaisin tasoin. Yksittäisen profiilin muoto tulkitaan oikaistulta kuvalta.
- Yksikuvamittauksen mittaustarkkuus on hyvä.
- Käyttö:
  - kaukokartoitus satelliittikuvilta
  - ortokuvat karttojen ajantasaistuksessa
  - projektiivisesti oikaistut tasokuvat
  - 3-D videoprofilointi
- Kuvia



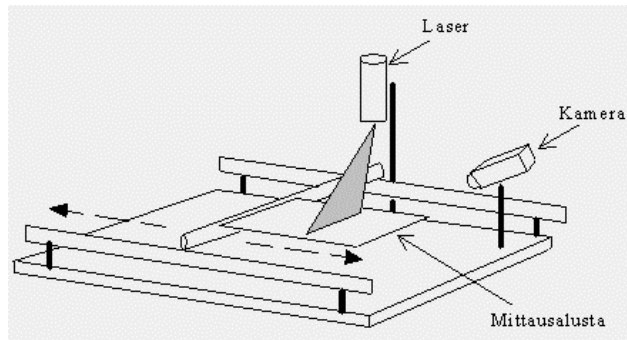
Yksikuvamittauksen periaate, kamera ja juovalaser.



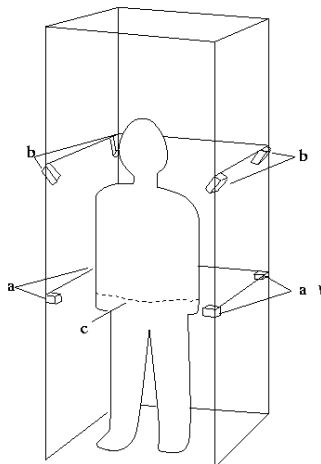
Yksikuvamittauksen periaate, esimerkkikuva.



Yksikuvamittauksen periaate, fysikaalinen malli vs. projektiivinen malli.



Pöytäskanneri.



3-D skanneri.

## Monikuvamittaus

- Kohteen mittausta kuvaparilta tai kuvablokissa
- Soveltuu kolmiulotteisille kohteille (myös tasoille)
- Mittaustarkkuus hyvästä erinomaiseen
- Käyttö:
  - ilmakolmiointi
  - stereokartoitus
  - 3-D videodigitointi
  - on line-tuotannonohjaus



Monikuvamittauksen periaate, yksi kamera, monta kuvaa.



Monikuvamittauksen periaate, monta kameraa, monta kuvaa.

---