

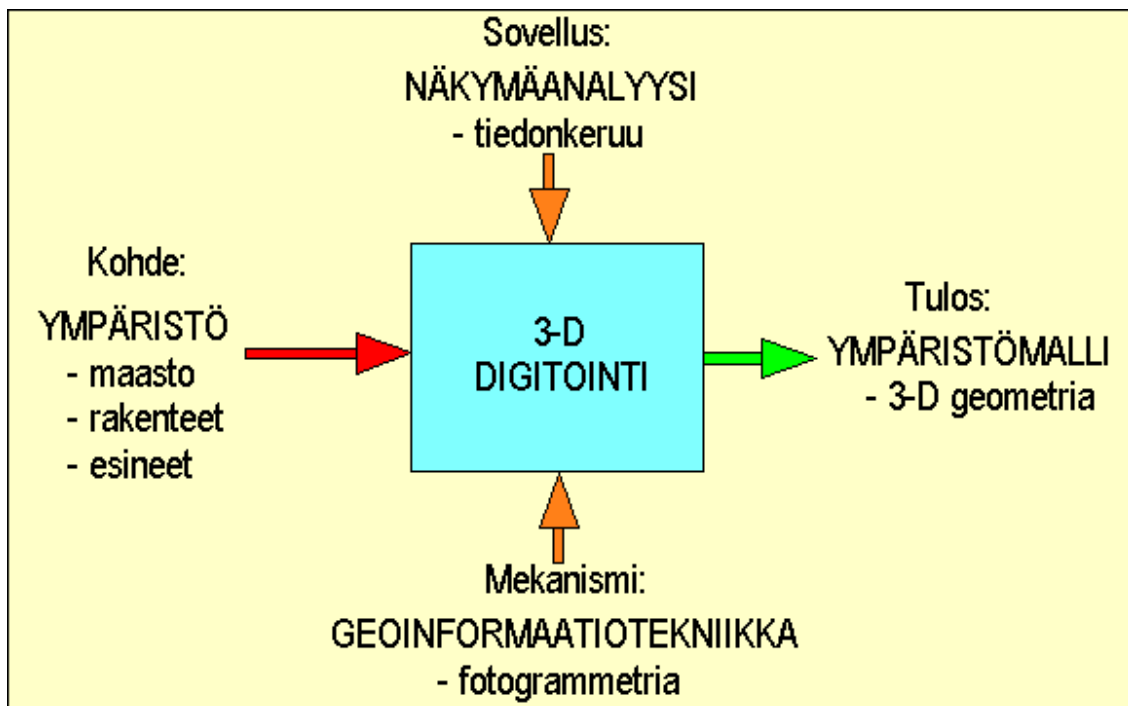
## Luento 10: Optinen 3-D mittaus ja laserkeilaus

### AIHEITA

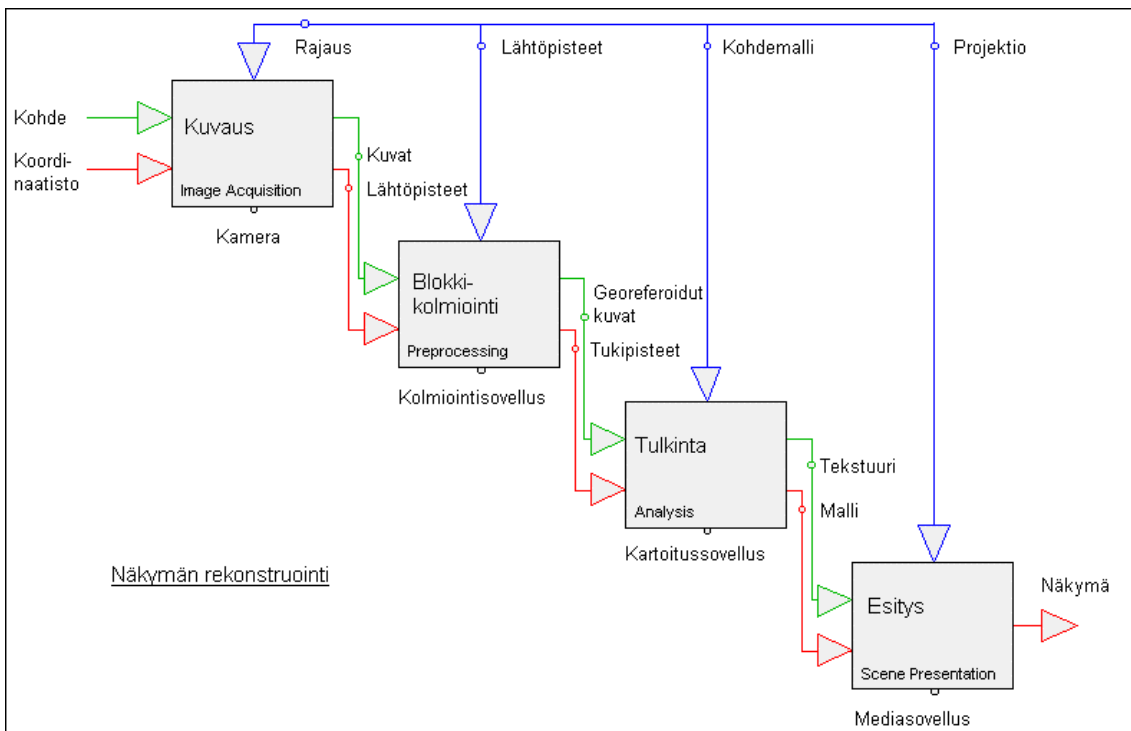
- [Optinen 3-D digitointi](#)
- [Etäisyydenmittaus laserkeilauksella](#)
- [Kuvan ja etäisyydsmittauksen yhdistäminen](#)
- [Kuvan ja etäisyydsmittauksen yhdistäminen tulevaisuudessa](#)

### Optinen 3-D digitointi

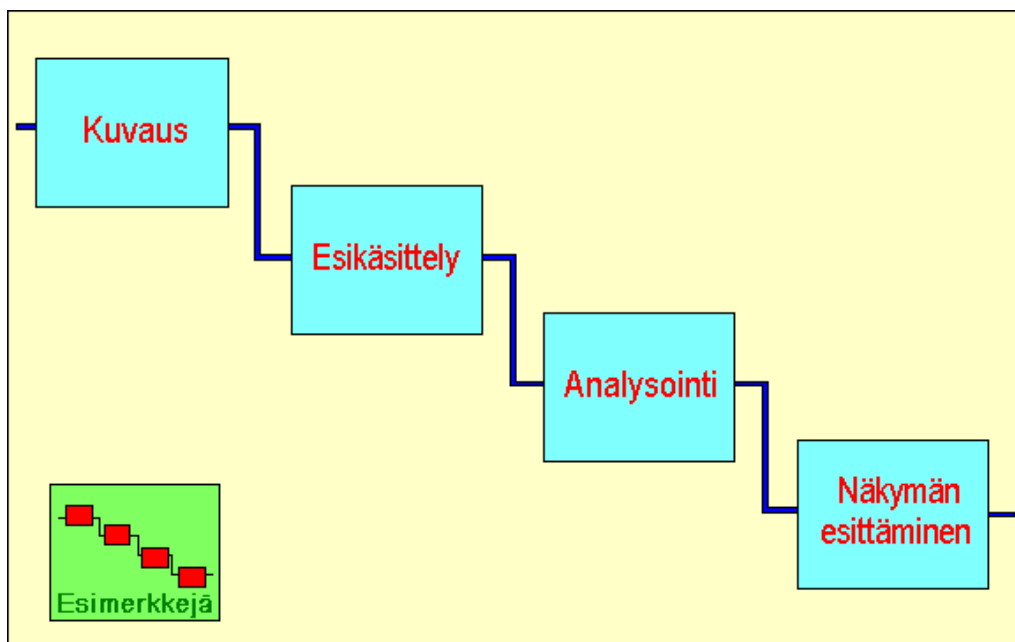
- Kohde: 3-D kappaleet ja 3-D tila
- Tulos: Digitaalinen 3-D malli
- Mekanismi: Digitaalinen fotogrammetria



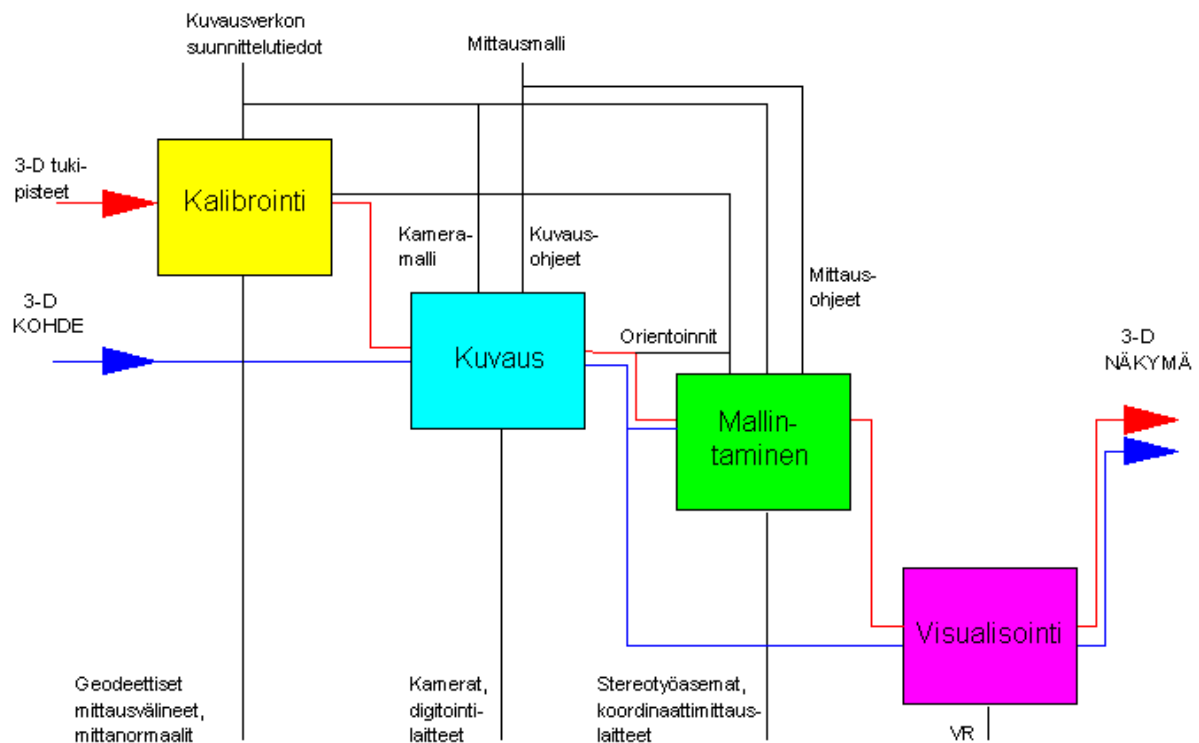
Optinen 3-D digitointi kaaviokuvana.



Fotogrammetrinen näkymän rekonstruointi (3-D digitointi). Tuloksena saadaan parhaimmillaan 3-D fotorealistinen virtuaalimalli.



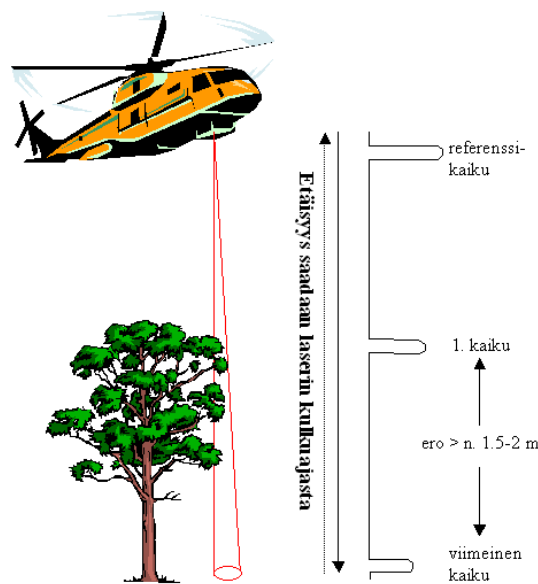
Yleiskaavio fotogrammetrisestä näkymän rekonstruoinnista.



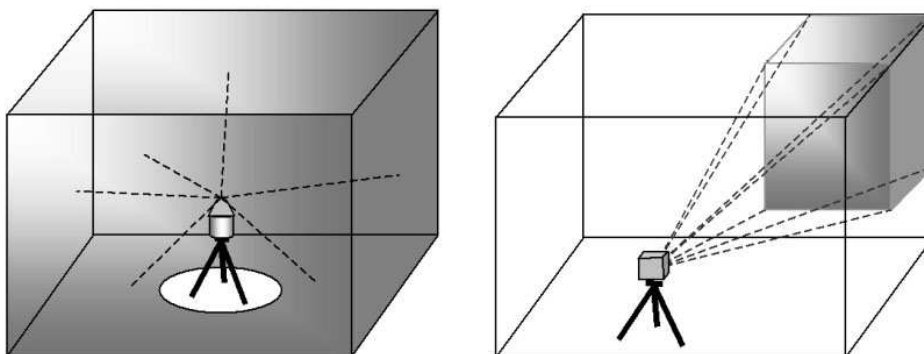
1. Tuki- ja kontrollipisteiden mittaaminen
2. Digitaalisten kuvien hankinta
  - o Kuvauksen suunnittelu
  - o kuvaus (analoginen tai digitaalinen)
  - o tarvittaessa kuvien muuntaminen digitaalisiksi
3. 3-D geometrinen mallinnus
  - o Kamerakoordinaattien mittaaminen
    - Sisäinen orientointi: kuva- ja koordinaatistovirheiden poisto (kalibroitu kamera)
    - Vastinpisteiden mittaaminen keskinäistä orientointia varten
  - o Kohdemallimittaukset
    - Kuvien keskinäinen orientointi
    - Kuvien oikaisu stereokuvauksen normaalitapaukseen
    - Kuvien ulkoinen orientointi
    - 3-D mallien stereokartoitus
    - Kohteen primitiivien mallinnus
  - o 3-D kohteen pinnan digitointi
    - Kuvakorrelaatio (kuvien yhteensovitus)
    - Profilointi
    - Proiifin keilaus
    - Pinnan mallinnus
4. 3-D fotorealistinen mallinnus
  - o Tekstuurin liittäminen 3-D malliin

## Etäisyydenmittaus laserkeilauksella

LIDAR (Light Detection and Ranging) on optinen tutka, joka toimii näkyvän valon, lähi-infran tai ultraviolettin alueella. Laserkeilain tuottaa kohteesta kolmiulotteista informaatiota tekemällä etäisyyshavaintoja. Kohteen ja laserin välinen etäisyys mitataan laserpulssin kulkuajan perusteella ja tuloksena saadaan valtava joukko kolmiulotteisia pisteitä. Useat laserskannerit kykenevät vastaanottamaan yhdelle havainnolle useampia kaikuja. "First pulse"-kaiut palaavat ensimmäisestä esteestä, joka tulee vastaan kuten rakennuksista, tien pinnasta, autoista, paljaasta maanpinnasta, kasvillisuudesta, lehvästöstä ja sähköjohdista (myös linnuista). "Last pulse"-kaiut vastaavat (lähes) ensimmäisen pulssin kaikua, jos vastassa on kiinteä kohde. Sen sijaan läpäisevissä kohteissa, kuten kasvillisuus, viimeinen kaiku voi suotuisissa olosuhteissa läpäistä lehvästön ja antaa etäisyyshavainnon maanpinnasta. Pisteet muodostavat digitaalisen korkeusmallin (DEM=digital elevation model) tai pintamallin (DSM=digital surface model=DEM+rakennukset ja puiden lehvästöt). DEM joudutaan muodostamaan DSM:stä suodattamalla pois kaikki maanpinnan tasosta poikkeavat kohteet.

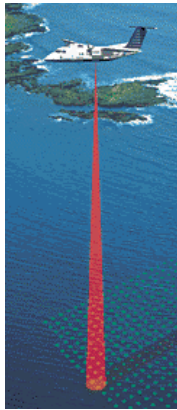


Laserkeila läpäisee puiden latvukset.



Panoramalaserkeilain ja "kamera"-laserkeilain

- maasta tehtävät laserkeilaukset -> yleensä paikallaan pysyvä mittalaite
  - laitteiston sijainti on mitattavissa
- ilmasta tehtävät laserkeilaukset -> yleensä liikkuva mittalaite
  - GPS (Global Positioning System) -havainnoilla mitataan lentokoneen sijainti
  - IMU (Inertial Measurement Unit) -järjestelmällä mitataan lentokoneen asento
  - etäisyysmittaus kiinteään suuntaan (altimetri, korkeusmittari)
  - etäisyysmittaus mittaussuuntaa muuttaen
    - kartiomaisesti keilaava
    - linjoittain keilaava
  - etäisyysmittaus kuvaamalla (profilometri)



Laserkeilauksen tarkkuus on monien tekijöiden summa. Tarkkuuteen vaikuttavat esimerkiksi:

- lentokorkeus (mittausetäisyys)
- laserkeilan leviäminen (divergence)
- lentonopeus
- keilaimen taajuus eli keilaustiheys
- GPS/IMU-järjestelmän tarkkuus tai muilla menetelmillä hankitun orientoinnin tarkkuus
- laitteiston etäisyysmittauksen tarkkuus
- ilmakehän vaikutus
- keilauskulma
- kohteen ominaisuudet

Palaavasta kaiusta voidaan tallentaa myös voimakkuus eli intensiteetti. Kohteen intensiteettiarvoon vaikuttavat esimerkiksi:

- kohteen muoto
- kohteen väri
- kohteen sijainti ja asento
- kohteen tekstuuri
- kohteen valaistusolosuhteet (suora vai epäsuora valo)
- kohteen erityisominaisuudet (esim. retrotähykset)

Laserkeilaus on tehokas menetelmä korkeusmallien hankintaan. Sen sijaan tarkkojen taiteviivojen löytäminen pistepilvestä on haasteellista. Taiteviivat löytyvät sitä luotettavammin mitä tiheämpää laseraineisto on.

Laserkeilaus soveltuu hyvin:

- Maastomallin (onnistuu myös peitteisillä alueilla) sekä pintamallin mittaamiseen

- Pinnanmuotojen massalaskentaa varten
- Linjamaisten kohteiden kuten teiden, rautateiden mittaamiseen ja muuhun johto- ja linjasuunnitteluun
- televerkkosuunnitteluun
- lentoestekarttojen tuotantoon
- Joki- ja rannikkoalueiden tulvakartoitukseen
- Metsien inventointiin
- Kaupunkimallien mittaukseen

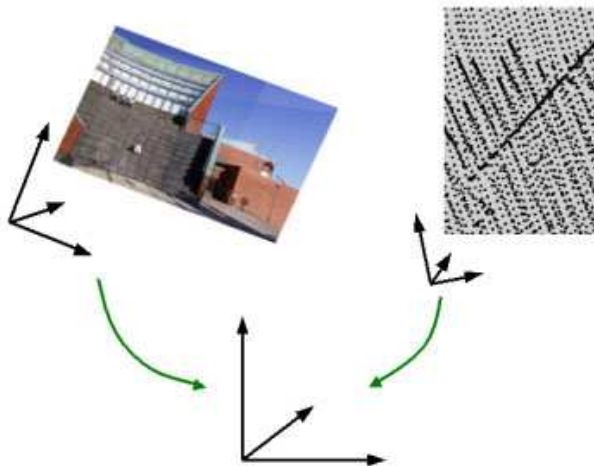
Lisää aiheesta: [www.foto.hut.fi/opetus/220/luennot/13/13.html](http://www.foto.hut.fi/opetus/220/luennot/13/13.html)

## Kuvan ja etäisyysmittauksen yhdistäminen

Fotogrammetrisilla mittauksilla ja laserkeilauksella on toisiaan täydentäviä ominaisuuksia. Käytännössä laserkeilaimella saadaan parempi korkeusmalli kuin mittaamalla ilmakuvilta. Erityisesti peitteisillä alueilla ero on huomattava, koska kuvilta ei nähdä lehvästön. Toisaalta tasotarkkuus on parempi fotogrammetrisissa mittauksissa. Lisäksi taiteviivat löytyvät luotettavammin ja värisävyt auttavat kohteen tulkittavuudessa.

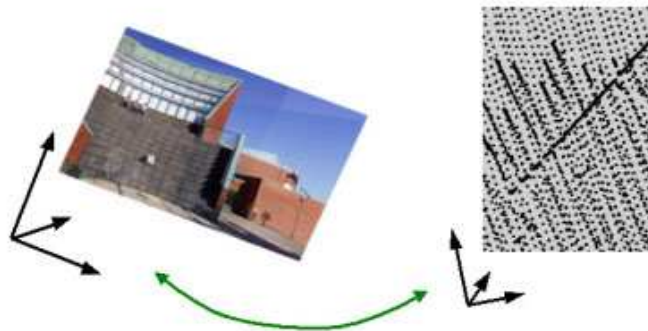
Jotta kuvia ja laserin tuottamia pistepilviä voitaisiin yhdistää, molemmat aineistot tulee saada samaan koordinaatistoon -> orientointi. Menetelmät orientointien selvittämiseksi voidaan jakaa kahteen ryhmään:

### 1. Datat orientoidaan erikseen yhteiseen koordinaatistoon



- GPS/INS tarkkuus ei välttämättä riitä, jos kuva on otettu läheltä kohdetta -> joudutaan turvautumaan tunnettuihin maastopisteisiin
- ilmasta keilattaessa on hankala signaloida tarkasti maastoon laserissa näkyviä pisteitä
- maanpäällisissä keilauksissa tilanne on parempi, koska keilaustiheys on suurempi: retrotähykset, prismat, kohdostuspallot, reikätaulu tai muut muodoltaan tunnetut ja ympäristöstään erottuvat kohteet (esim. katumerkinnyt) soveltuvat signalointiin
- kuvat voidaan orientoida käyttämällä tunnettuja maastopisteitä (mielellään signaloituja)
- sisältää kaksi erillistä orientointia -> virheet orientoinnissa voivat kasautua epäedullisesti -> datat eivät ole tarkasti samassa koordinaatistossa

## 2. Data orientoidaan keskinäisesti

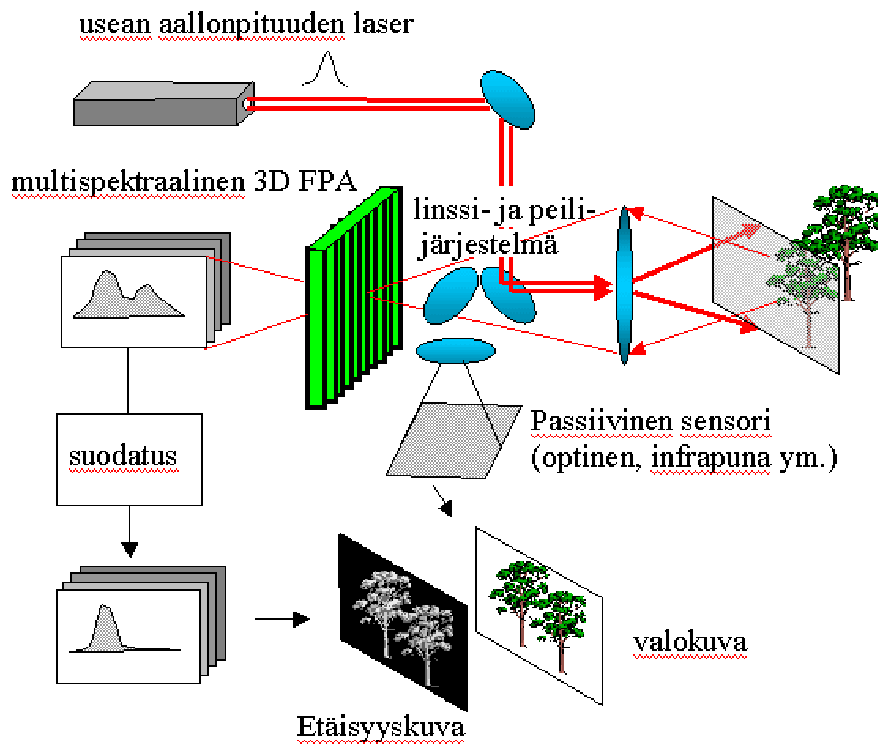


- vaatii vain yhden muunnoksen -> datat todennäköisesti saadaan paremmin samaan koordinaatistoon
- ei vaadi tunnettuja maastonpisteitä
- Kiinteä systeemikalibrointi
  - vaatii kameran ja keilaimen integroimista yhteen kuvaus- ja mittausjärjestelmään
  - kalibrointi testikentällä
  - soveltuu (toistaiseksi) lähinnä maanpäällisiin laserkeilaimiin, jolloin laserkeilain tuottaa pistepilven liikkumattomasta kuvauspaikasta
- mitataan stereokuvilta korkeusmalli, joka vastaa laserista saatua pistepilveä. Korkeusmallit sovitetaan yhteen käyttämällä ICP (Iterative Closest Point)-menetelmiä
- yhteensovitetään kuvilta ja laserilta irrotettuja piirteitä
  - vaatii tiheän laserkeilauksen
  - tarkkojen taiteviivojen irrottaminen laserpistepilvestä on haasteellista
- interaktiivisella menetelmällä, jossa visuaalisesti sovitetaan pistepilvi kuvan päälle muuttamalla kuvan orientointiparametreja

## Kuvan ja etäisyysmittauksen yhdistäminen tulevaisuudessa

Tulevaisuudessa voidaan tuottaa kertamittauksella etäisyyskuva keilauksen sijaan. Lasersäde hajautetaan linssien avulla siten, että koko kohde valaistetaan kerralla (hyvin lyhyeksi aikaa). 3D FPA (focal plane array) rekisteröi kohteesta palaavien signaalien kulkuajat pikseleittäin. Näin saadaan laskettua jokaiselle pikselille etäisyys (etäisyyskuva). Jos optinen kuva saadaan otettua samaan aikaan tai jälkikäteen rekisteröityä tarkasti etäisyyskuvan kanssa, saadaan jokaiselle pikselille sekä etäisyys että sävyarvo.

- Etäisyyskuva antaa kollineaarisuusyhtälöön yleensä puuttuvan mittakaavatermin -> 3-D malli saadaan yhdeltä kovalta
- Mahdollistaa lähes reaaliaikaisen 3-D fotorealistic mallin hankinnan -> malli on heti valmis
- Nopeuttaa kartoittamista oleellisesti
- Kohteen automaattinen tulkinta helpottuu
- Tiedonsiirron määrä aiheuttaa ongelmia
- Jotta kohde saadaan valaistua, laserin on oltava kohtuullisen voimakas. Tämä on ongelma, koska silmät vahingoittuvat, jos laser on liian voimakas
- systeemin kalibrointi on ongelmallista



Konsepti tulevaisuuden mittausjärjestelmälle. Pikselipohjainen etäisyyskuva ja optinen tai multispektraalinen kuva otetaan yhtäaikaan.