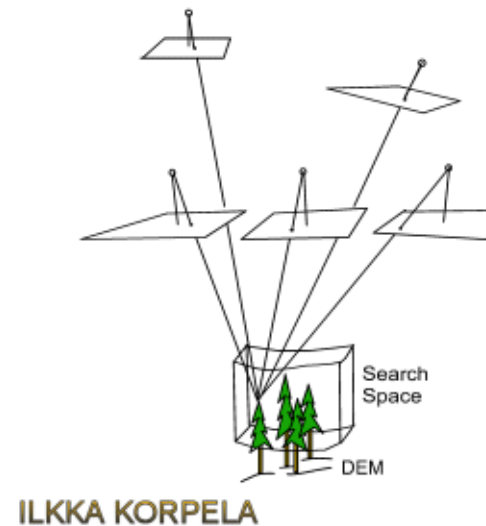


Fotogrammetris-geodeettinen menetelmä metsäalueen tarkkaan kartoittamiseen – sekä syitä ja muuta keinoja maastoaineiston tarkkaan paikantamiseen

- .. Fotogrammetrian perusteet
- .. LiDARin perusteet
- .. STRS-menetelmät
- .. Aluepohjaiset menetelmät
- .. Tulosten validointi
 - maasto-otoksen paikantaminen
- .. Yhteenveto

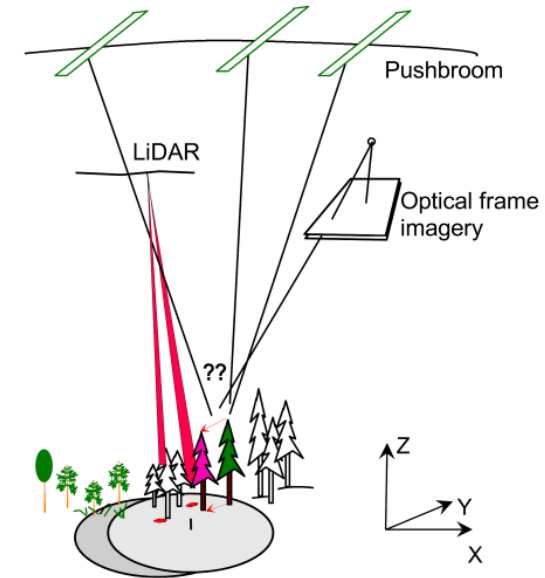


<http://joyx.joensuu.fi/~korpela/kaukokartoitus3/>

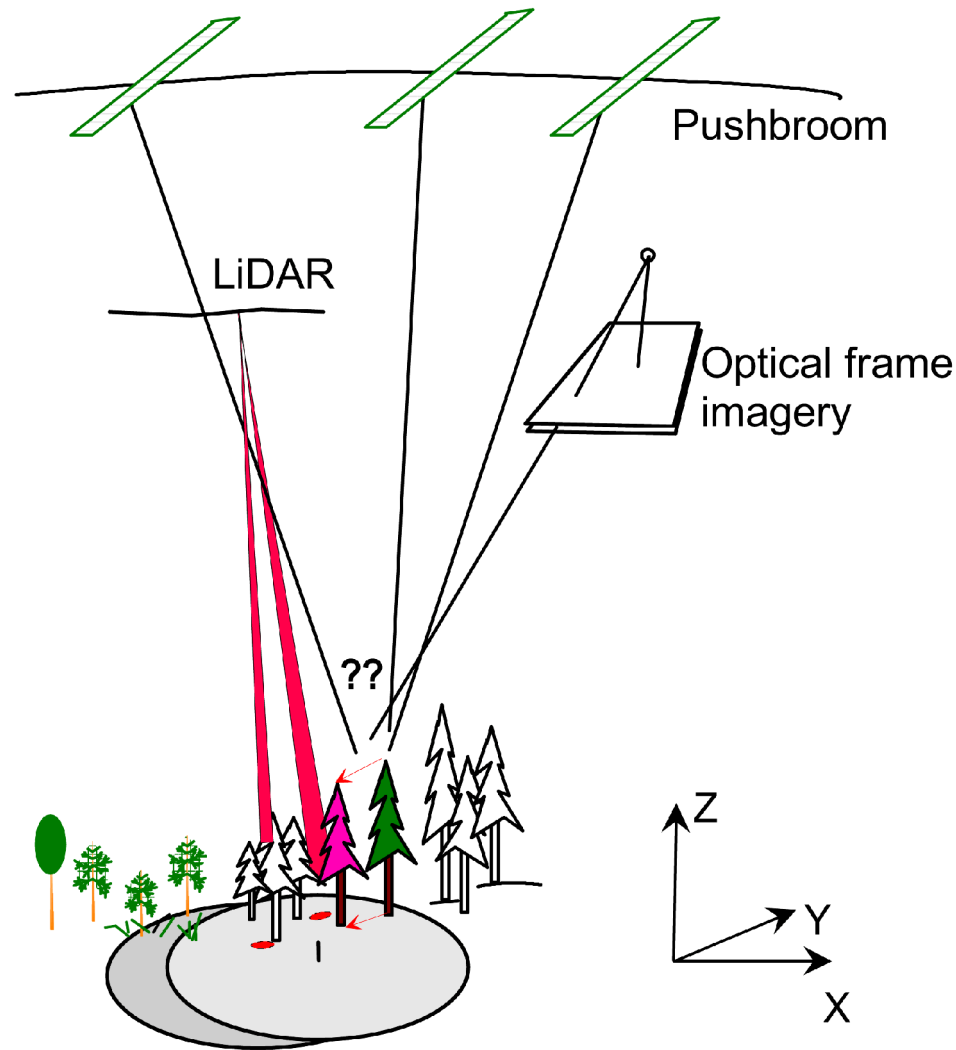
<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf41/sf413457.pdf>

Esimerkkiongelmamat (Sisältö):

1. Meillä on kaukokartoitushavaintoja passiivisella optisella sensorilla ja/tai laserkeilaimella ja haluaisimme tarkasti tietää mistä kohteista havaintomme ovat. **Geometrinen epävarmuus vaikuttaa analyysihimme.** Minimoidaan maastohavaintojen geom. virheet.
2. Meillä on tarkka kaukokartoitus, mutta vain yksi maastomittaja, jolle on 500€ mittavälineet. Haluaisimme kartoittaa ja mitata suurialaisen metsäalueen/koealan suoraan "globaaliin" koordinaatistoon (metsikkökoeala, pysyvä inventointiala) s.e. geom. tarkkuus on hyvä lokaalisti ja globaalisti.



1. Geometrinen epävarmuus – mallinnus/validointi



Havaintotaso: Puu – Piste/Koeala – Metsikkö/Alue

Puu → kartoituksen tarkkuuden tulisi olla < 0.3 m, lokaalisti ja globaalisti

Koeala → tarkkuusvaatimukseen vaikuttaa tunnusten autokorrelaatio annetulla koealakoolla, sisäistä kartoitusta ei tarvita.

$Y = f(\mathbf{X})$, esim. $V = f(\text{kuvapiirteet})$,

$Y = Y + \varepsilon(\text{mittaus, sijainti, malliv.})$

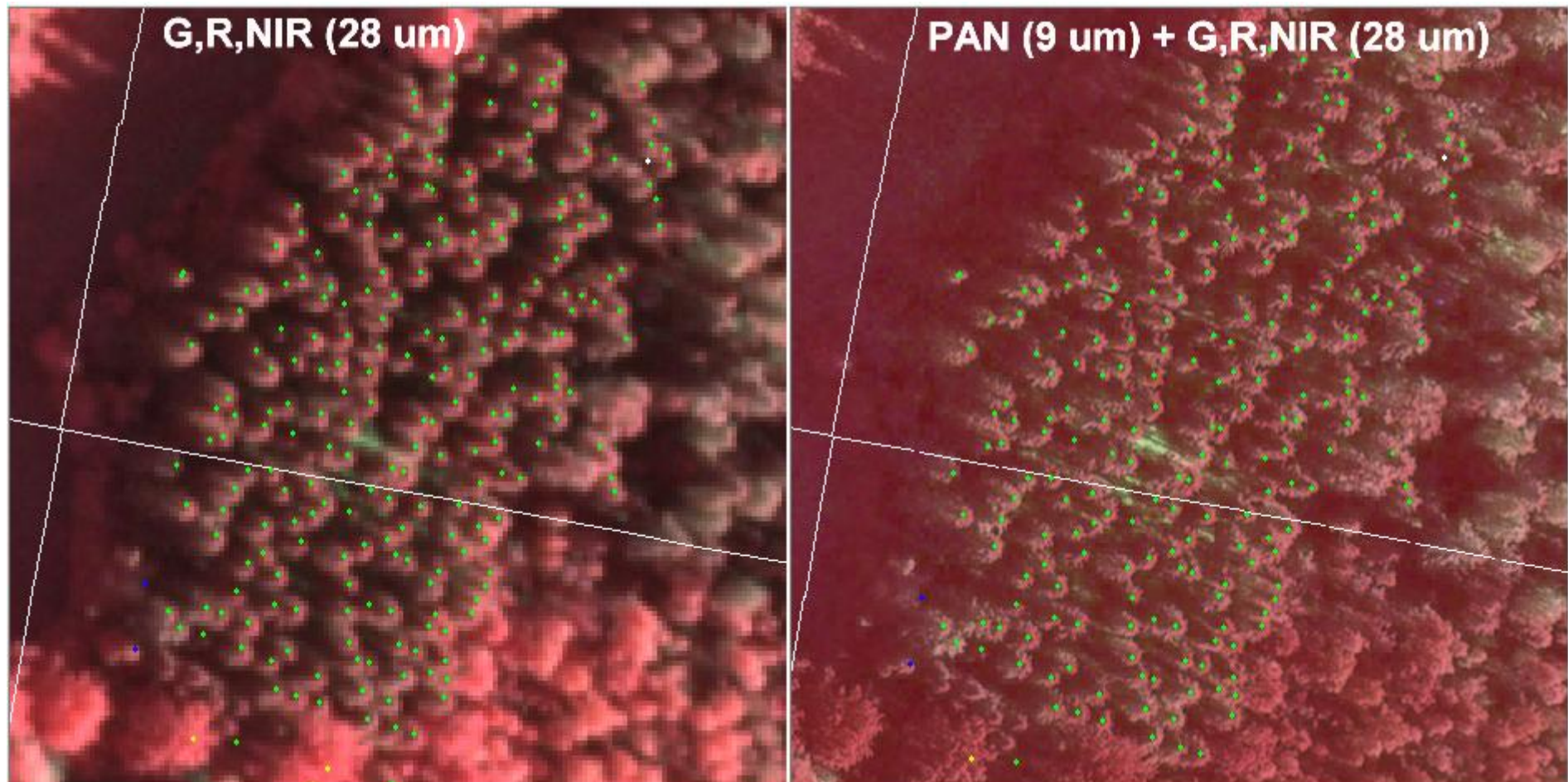
$X = X + \varepsilon(\text{sijaintiv.,...})$

Kaukokartoitushavainnot – 2D vai 3D? Näiden tarkkuus?

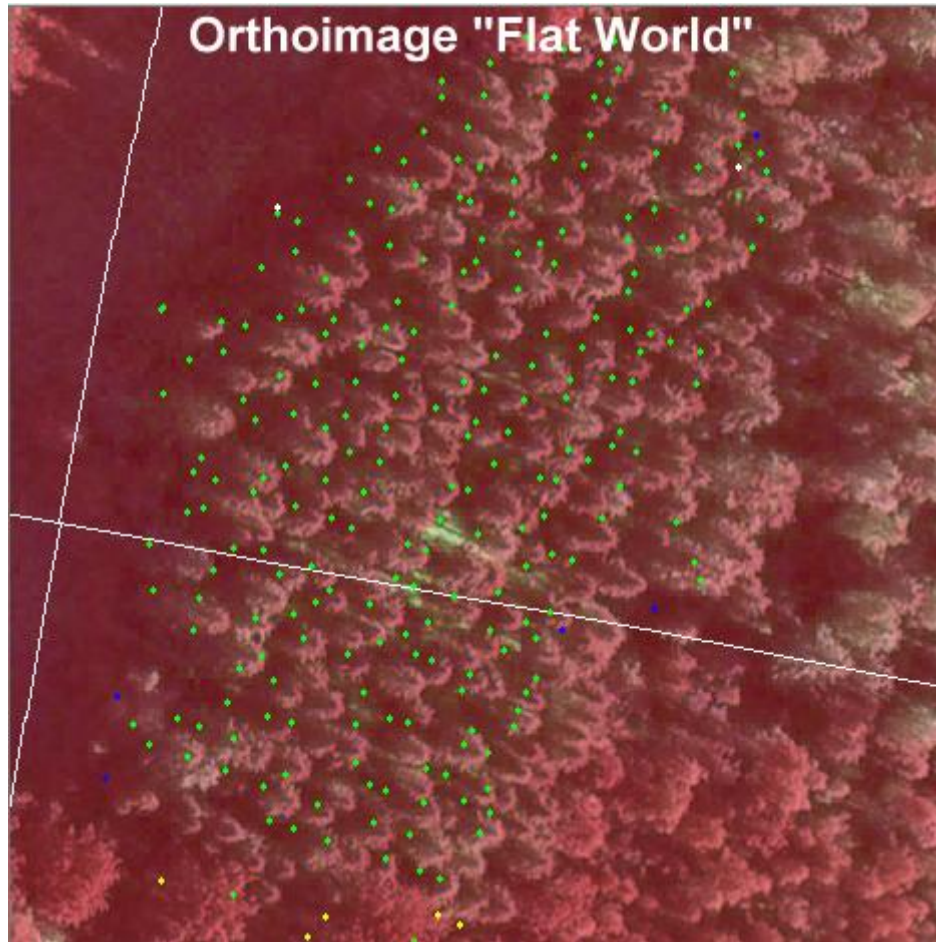
"Geometrinen kohina + harha"

MINIMOI / EVALUOI VAIKUTUS

Puutaso, "Kun kaikki on $\pm$ kunnossa"

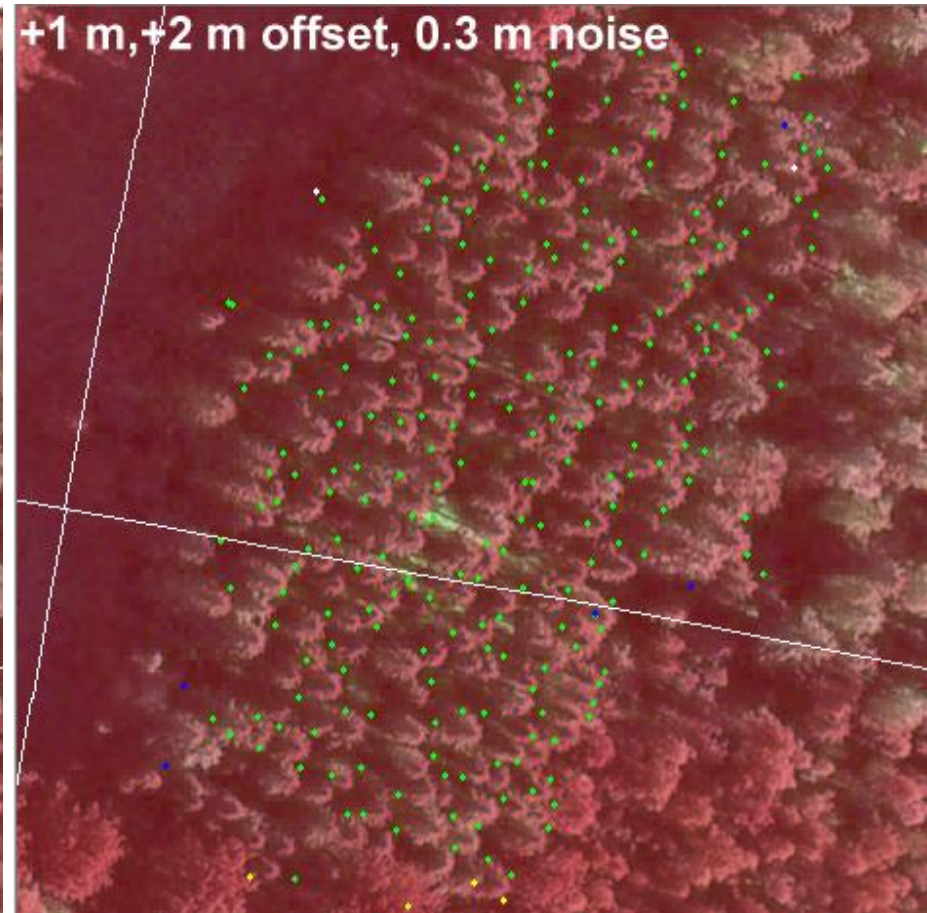
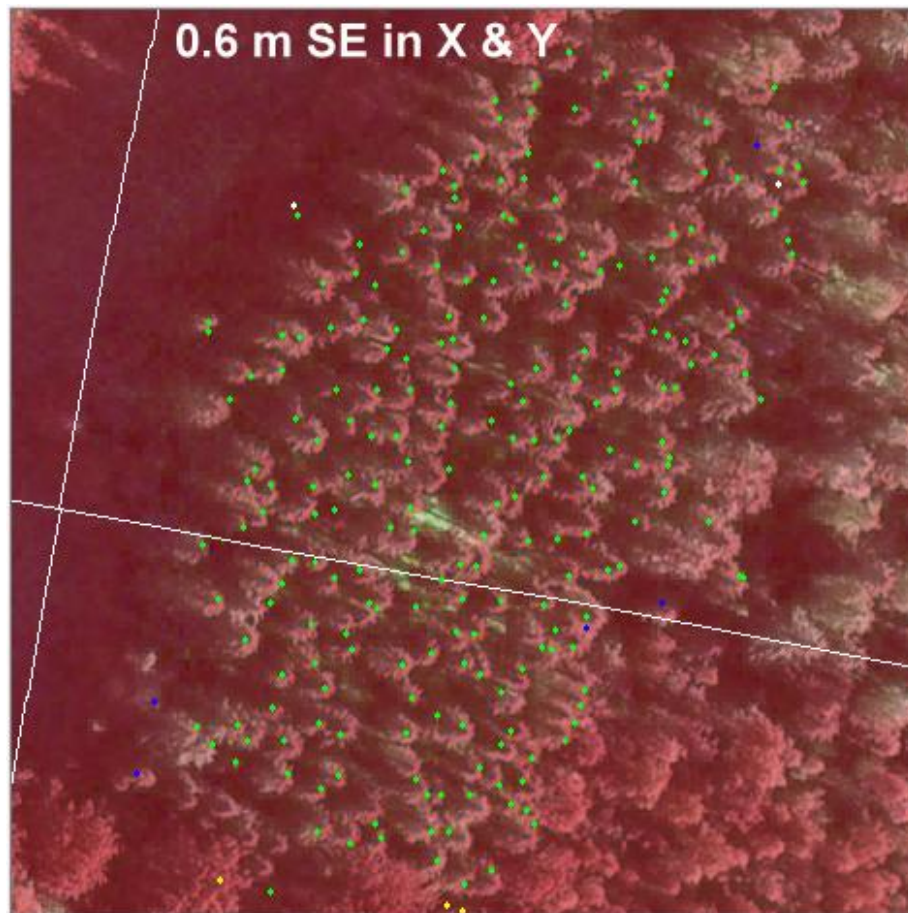


Oikaisu vai orientointi?

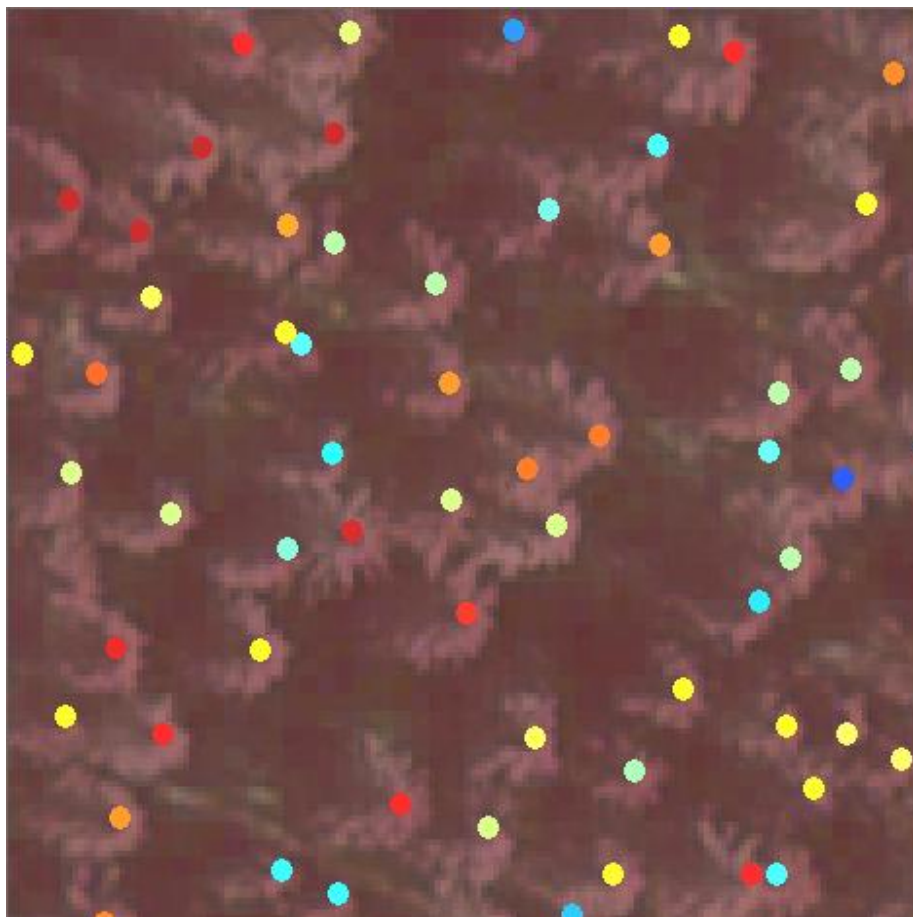


Orto-oikaisu toimii vain nadirissa
tai pinnanmyötäisille kohteille

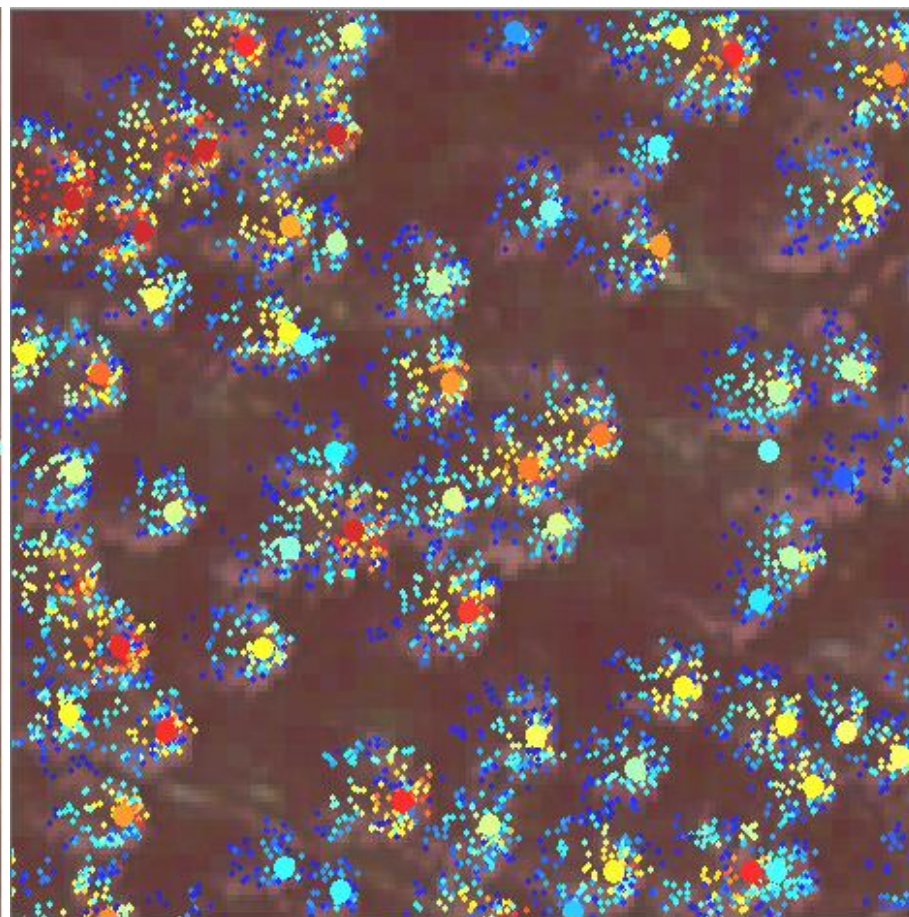
Maastoaineiston virheet, XY



Eri aineistojen geometria, XYZ



Maastoaineisto, latvat, teema (h)
20...28 m



Maastoaineisto, latvat, teema (h)
Kaksi LiDAR-aineistoa, teema (Z-DEM)

2. Vain yksi maastomittaja...



500€ välineet... s.e. tarkkuus on hyvä lokaalisti ja globaalisti. "Hyvä" $\cong$ $SE(XY) < 0.3$ m.



RTK paikannus - taimikoissa

- jos puusto < 4 m
- ei pahoja katveita
- $SE(X,Y,Z) < 0.1$ m, 5 sek/hav
- 100€/pvä + muut kulut
- Antennin saa lähelle kohdetta

GNSS Latvuston alla

- alhainen signaalikohinasuhde
- korkea #DOP
- monitieheijastuksia
- jatkuvasti muuttuva satelliittijoukko

Kunnon vastaanottimella (>5000€) ja jälkikorjauksella, $SE(XY)$ 0.5-1.0 m, pitkät havaintojaksot, satelliittisää.

Antennin sijoittaminen?

”Lokaalisti ja globaalisti tarkka kartoitus” latvuston alla

Kartta metsästä takymetrillä → lokaalisti tarkka → GPS:llä paikka ja orientaatio

Yksin hankalaa, suuret tai peitteiset alat ongelmallisia.
Pienet alat napakoordinaatistossa, jos laser-EDM toimii.

Tukipisteille GPS-havaintoja N kpl. Orientoidun kartan tarkkuus on $\sim \#/\sqrt{N}$, jossa $\#$ on GPS:n satunnaisvirhe. Systemaattiset virheet?

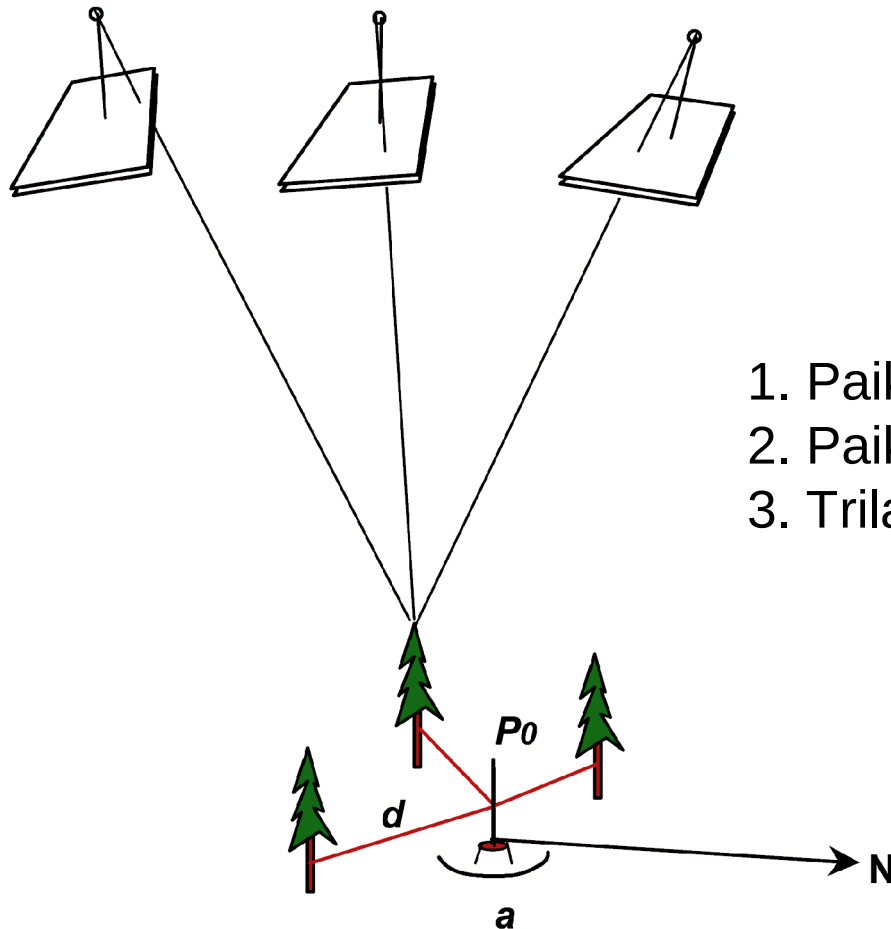
Paikka ja orientaatio: esim. $xy = f(XY)$, jossa f on esimerkiksi 6-parametrinen affiini tasomuunnos, olettaen takymetrillä saadut xy -koordinaatit tarkoiksi, eli OLS-estimointi järjestyksessä $XY = g(x,y) + \varepsilon$

[Affiini.xls](#)

VAIHTOEHTO

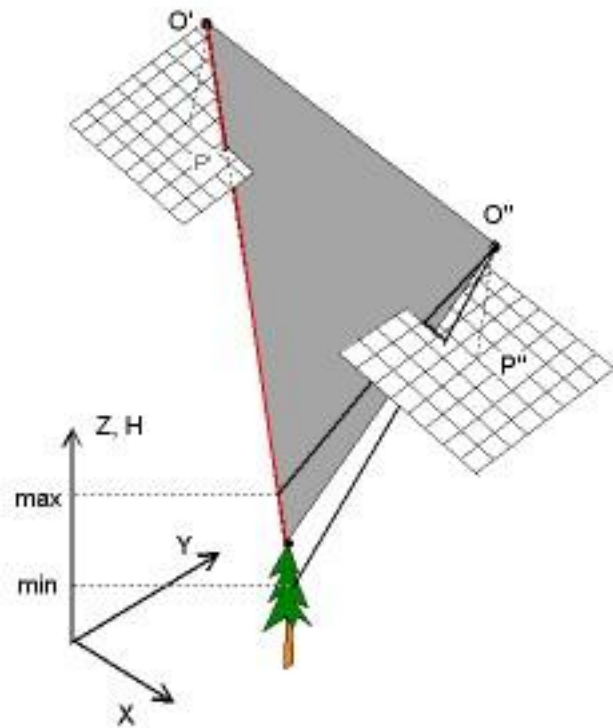
Jos käytössä on ilmakuvia/LIDAR, käytetään niiltä mitattuja puita GPS:llä mitattujen tukipisteiden korvikkeena ja kartoitetaan muu näillä tukipisteillä →
Fotogrammetris-geodeettinen menetelmä

Fotogrammetris geodeettinen menetelmä - Kaukokartoituspuut XY-tukipisteinä. Muiden kohteiden kartoitus niiden avulla

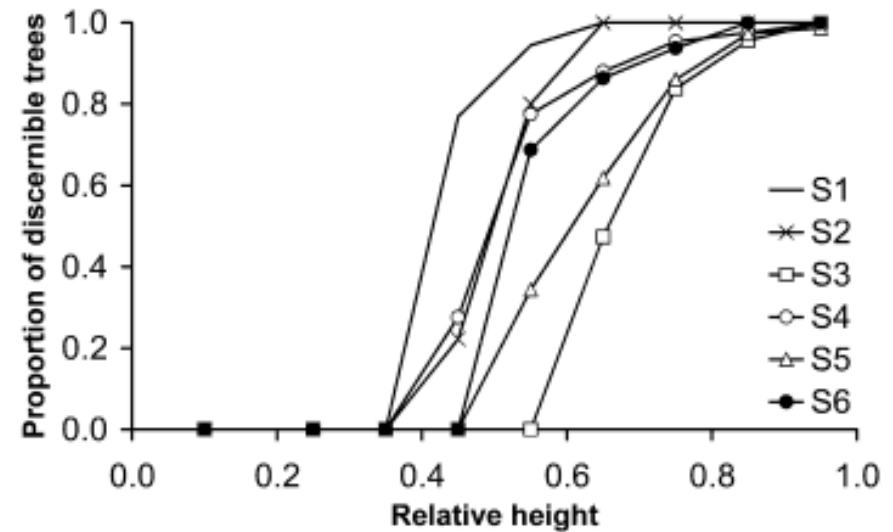


1. Paikanna latvapisteet ilmakuvilta
2. Paikanna samat puut maastossa
3. Trilateroi ja/tai kolmioi uusia pisteitä

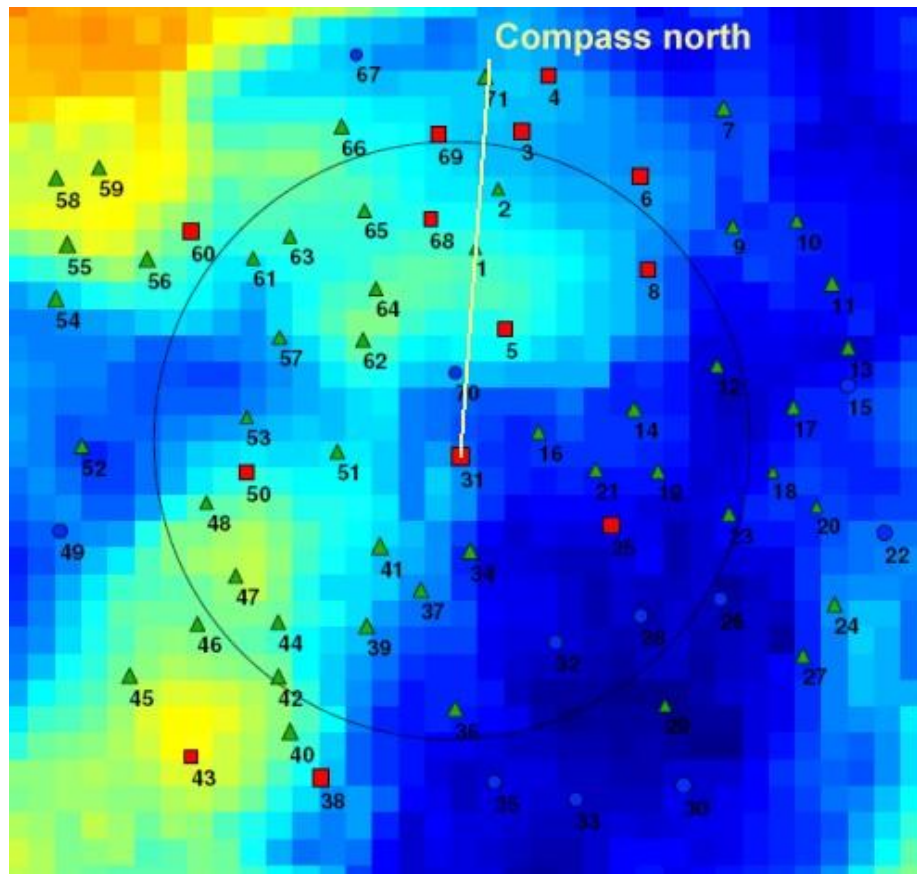
1. Paikanna latvapisteet (ilmakuvilta/LiDAR)



Manuaalista – puoliautomaattista.
Tarkkuus = $f(\text{kuvien mittakaava, lukumäärä, kuvasäteiden geometria, latvapisteiden yksikäsitteisyys})$



2. Paikanna (kiintopiste-) puut maastossa



sn:o 1 Plot: 101 Dist: 9.9 m Azim: 25.3 degr

3

*70,299 *72,312 *2,350

*71,281
*68,269
*67,242
*64,219 *4,207,184
*13,171 *12,151 *11,128

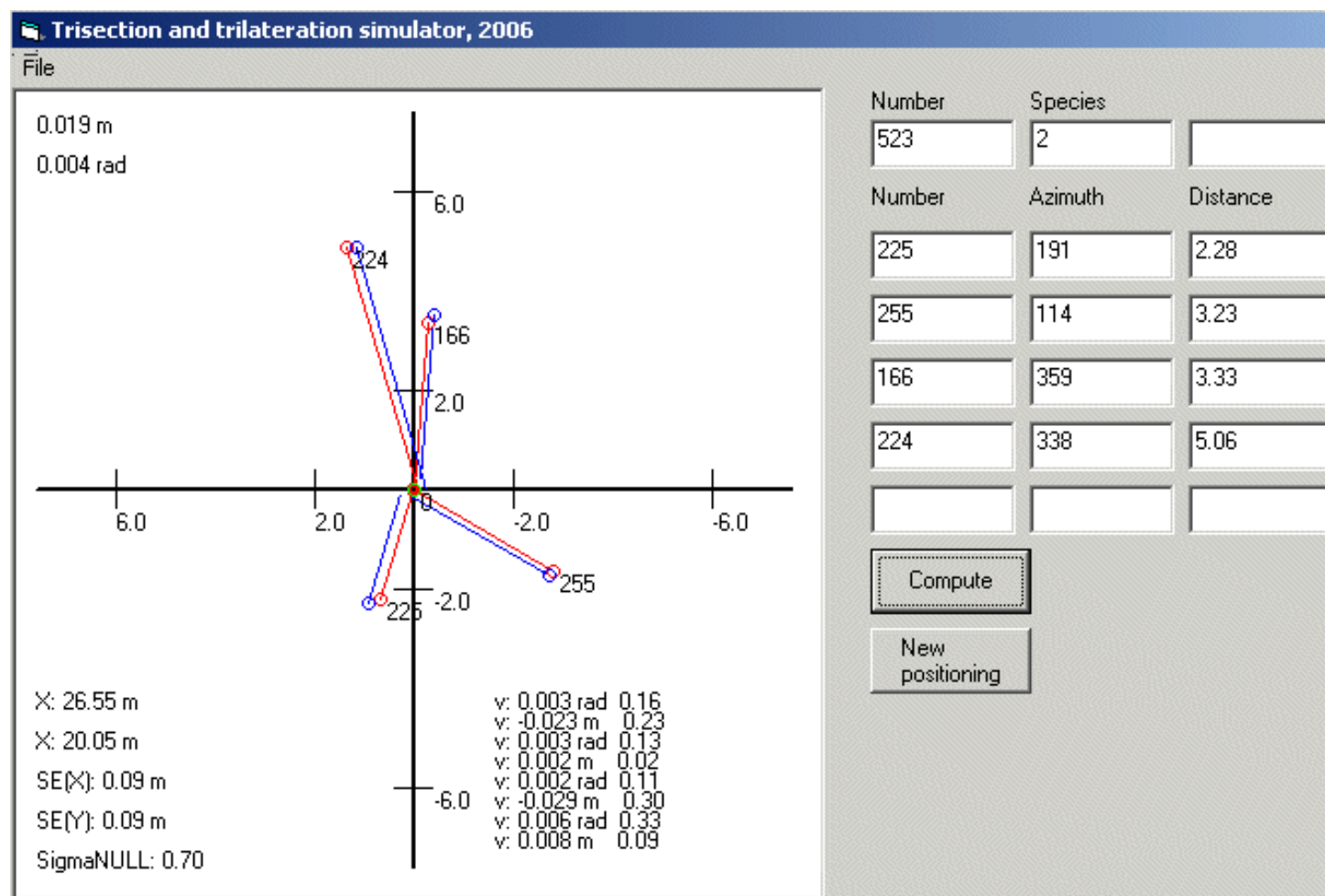
SP: 2

H: 8.1 m

GPS:llä paikalle. Puiden identifiointi - apuna ennakkoon lasketut suuntimat / etäisyydet, metsässä kolmioidaan.

3. Trilateroi ja/tai kolmioi uusia pisteitä

Havaitse vaakaetäisyyksiä (d) ja/tai bussolisuuntia (atsimuutteja, α) tuntemattomalta (P_O) pisteeltä tunnetuille (P_A). Laske tasoituslaskulla tuntemattomien estimaatit ja virhe-estimaattorit, heti kun redundanssi sallii.



Tasointuslaskennan matematiikkaa

$$\text{Distance between } P_O \text{ and } P_A: \sqrt{(X_0 - X_A)^2 + (Y_0 - Y_A)^2} - d_{(obs)} = 0 \quad (1)$$

$$\text{Azimuth between } P_O \text{ and } P_A: \arctan\left(\frac{(Y_0 - Y_A)}{(X_0 - X_A)}\right) - \alpha_{(obs)} = 0 \quad (2)$$

$$\text{Coordinates of points } P_A: X_A - X_{A(obs)} = 0 \quad (3)$$

$$Y_A - Y_{A(obs)} = 0 \quad (4)$$

Tuntemattomia

- Uuden pisteen X_0 ja Y_0
- Kiintopisteiden X_A ja Y_A
- (Bussolikorjaus, BK)

Havainnot

- Kiintopisteiden X_A ja Y_A , $\varepsilon_{X,Y} \sim N(0, \sigma^2)$
- Atsimuutit, α_i , $\varepsilon_\alpha \sim N(0, \sigma_\alpha^2)$
- Etäisyydet, d_j , $\varepsilon_d \sim N(0, \sigma_d^2)$

(1) – (4) ovat havaintoyhtälöt (ilman bussolikorjausta)

Havaintoyhtälöistä lasketaan virhevektori (havaintojen poikkeamat ratkaisusta): metrejä, radiaaneja ja metrejä.

Tuntemattomien arvot ratkaistaan painotetulla epälineaarilla regressiolla, tasointuslaskuna.

Tasoituskaskun vaiheet

6. Tarkkuusestimaattorit ja virheiden haku

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{y}^T \mathbf{P} \mathbf{y}}{r}}$$

$$\mathbf{Q}_{xx} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1}$$

$$\sigma_{xi} = \sigma_0 \sqrt{\text{diag}(\mathbf{Q}_{xx})}$$

Keskivirheet

$$\text{eig}(\mathbf{Q}_{xx})$$

Virhe-ellipsit

Ominaisvektoreista kierto

Ominaisarvoista puoliakselit

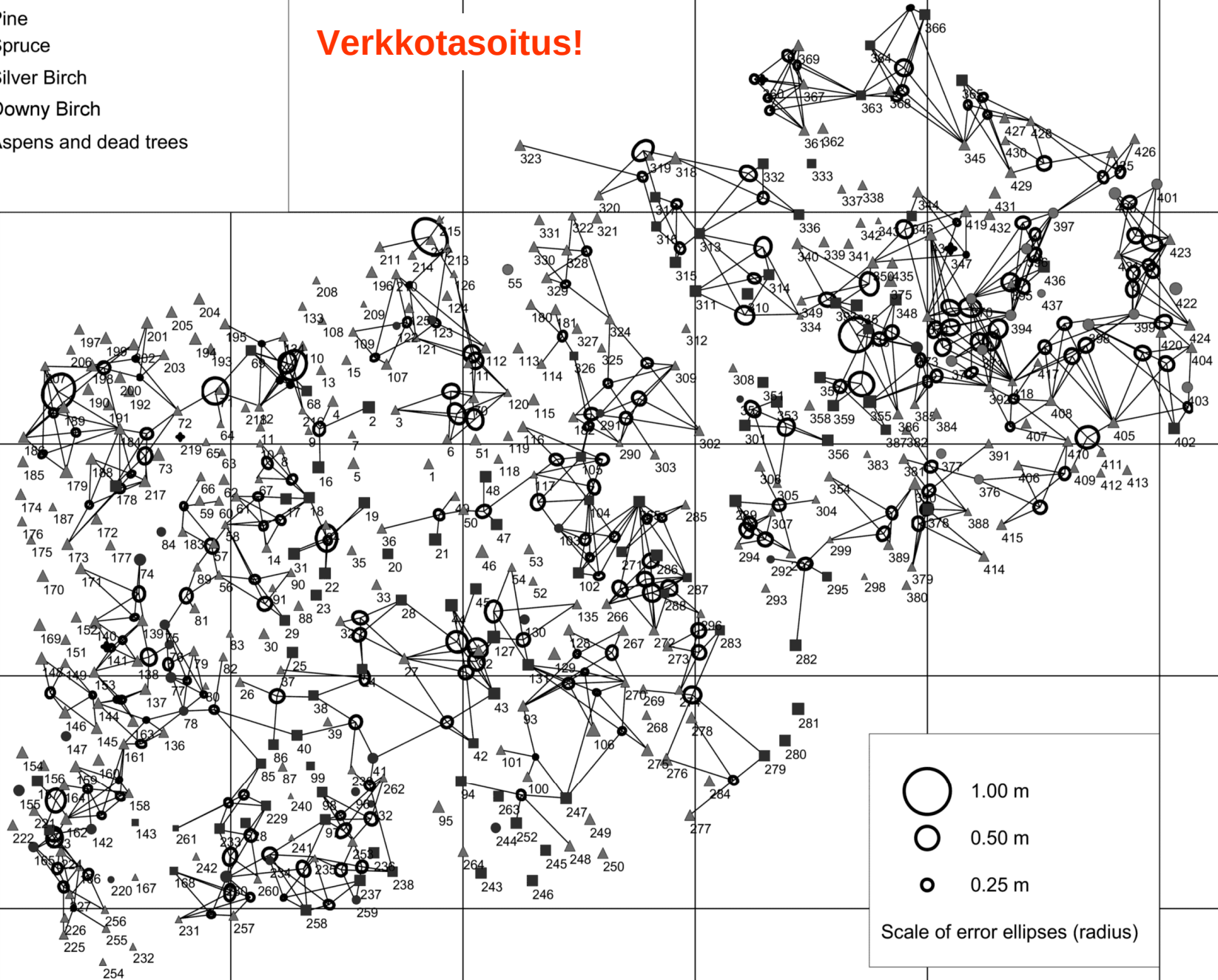
$$\mathbf{Q}_{vv} = \mathbf{P}^{-1} - \mathbf{A} \mathbf{Q}_{xx} \mathbf{A}^T$$

$$w_j = \frac{y_j}{\sigma_0 \sqrt{q_j}}$$

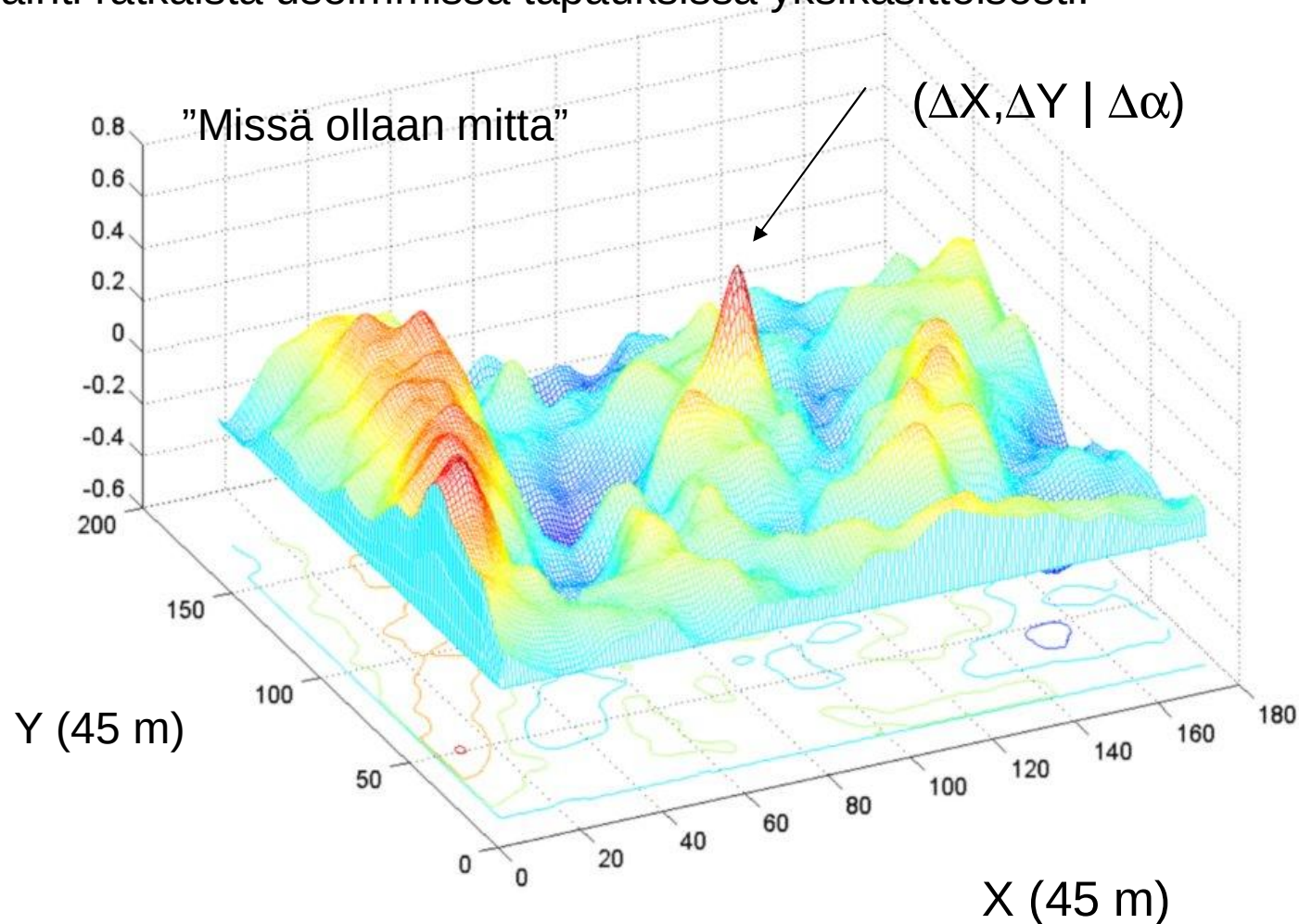
**Karkeiden virheiden
etsintä ja eliminointi**

- Pine
- ▲ Spruce
- Silver Birch
- Downy Birch
- ◆ Aspens and dead trees

Verkkotasoytus!



Puiden identifiointi on työläs vaihe. Jos ilmakuvilta / LiDARilta on päävalta-lisävalta- ja välipuiden kartta (X, Y, h, Sp) ja maastossa mitataan (laserrelaskoopilla) napakoordinaatistossa puukartta (d, α , dbh, Sp) - GPS-pisteen (X_{GPS}, Y_{GPS}) ympäriltä, voidaan koealan tarkka sijainti ratkaista useimmissa tapauksissa yksikäsitteisesti:



Yhteenveto

Geometrinen kohina ja harha tulisi tuntea ja minimoida mahdollisuuksien mukaan, jos vaikutus tuloksiin (hyöty) on merkittävä.

Metsä on kompleksi 3D kohde

Satelliittipaikannuksen tarkkuus ei riitä puutason analyysiin latvuston alla.

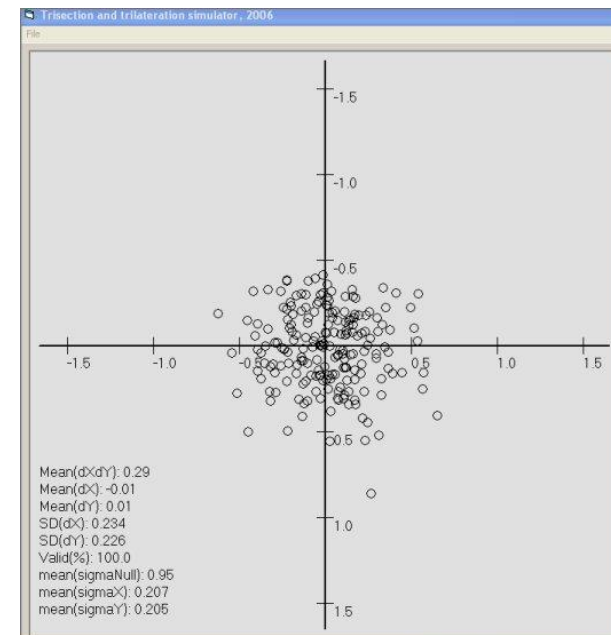
Ilmakuvilla ja LiDARilla voidaan tuoda geometria lasvuston alle käyttämällä puita tukipisteinä, kunhan puut ovat sopivia.

Redundanteilla mittauksilla voidaan tarkkuutta parantaa ja mitata kohteet ”halutulla tarkkuudella”.

Labra

Tutkitaan (taso) trilateroinnin ja kolmioinnin perusteita [simulaattorin](#) avulla. [Ohjeet](#) tietokoneluokassa.

Tutkitaan takymetrillä perustetun koelan orientointia GPS-havainnoin. [Affiini.xls](#)



Labra. Vastaa (simulaattoria käyttäen), seuraaviin kysymyksiin 1-7

1. Mikä on harhaisen etäisyysmittauksen vaikutus tuloksiin,
Kun kiintopisteitä on kaikissa suunnissa?
Kun kiintopisteitä on vain jostain puolitasosta?
Miten suuntimien mukanaolo vaikuttaa?
2. Paljonko 10 asteen harha bussolissa siirtää pisteitä,
Kun mukana on/ei ole etäisyyksiä?
Miten kiintopisteiden geometria vaikuttaa?
3. Jos ilmakuvalta paikannettujen pisteiden koordinaattien tarkkuus on 0.3 m,
Kuinka monta pelkkää suuntahavaintoa tarvitaan, jotta uusien pisteiden tarkkuus olisi 0.3 m ja miten suuntahavaintojen tarkkuus vaikuttaa määrään?
Kuinka monta pelkkää etäisyshavaintoa tarvitaan 0.3 m tarkkuuteen?
4. Tutki, kuinka tarkkaan paikannukseen bussolilla pääsee, jos kiintopisteet ovat 30..50 m etäisyydellä. Jos käytössä on 0.05 m etäisyysmittari, onko 1 asteen suuntimista hyötyä?

Muokkaa Affiini.xls –tiedostoa ja lisää riippumattomia GPS-havaintoja 16:een. (Myös Helmert-muunnoksen saa toteuttaa)

Tutki tarkkuutta verratuna 4:ään havaintoon. Lisää GPS-havaintoihin trendi, xy-harha joka muuttuu ajan mukana. Miten se vaikuttaa tarkkuuteen.

Labra...

6. Fotogrammetris-geodeettisen menetelmästä esitettiin "visio versiosta", jossa kaukokartoituksella saatua puukarttaa, jossa on puille x ja y koordinaatit, puulaji ja pituustietoa, käytetään GPS:n ± 5 m virheen eliminointiin dm-tasolle, kun metsässä tehdään havaintoja puista.

Pohdi, minkälaiseen logiikkaan / algoritmiin tarkennus voisi perustua ja mitä ongelmia aiheutuu

- Kaukokartoituksen paikannusvirheistä
- Siitä, ettei puukartta "ilmasta" tai "maasta" ole täydellinen (esim. relaskooppi)
- Puuston tilajärjestyksestä

Kuinka maastossa tehtyjä rungon läpimitta ja puulajihavaintoja voisi hyödyntää?

7. Sinulla on RTK-GPS joka antaa taimikossa 3 cm tarkkuudella XYZ-sijainnin. Tarvitset sijainnin kuitenkin noin 70 m päässä kuviorajalta varttuneen puuston alla, jossa RTK-GPS ei toimi. Sinulla on bussoli ja laseretäisyysmittari. Kuinka viet tarkan XY-pisteen taimikosta varttuneeseen metsään? Tee piirros + selite. Halutessasi kokeile laskentaa simulaattorin avulla.