

Metsähövin satelliitilaser lähiavaruuden kohteiden karakterisoinnissa

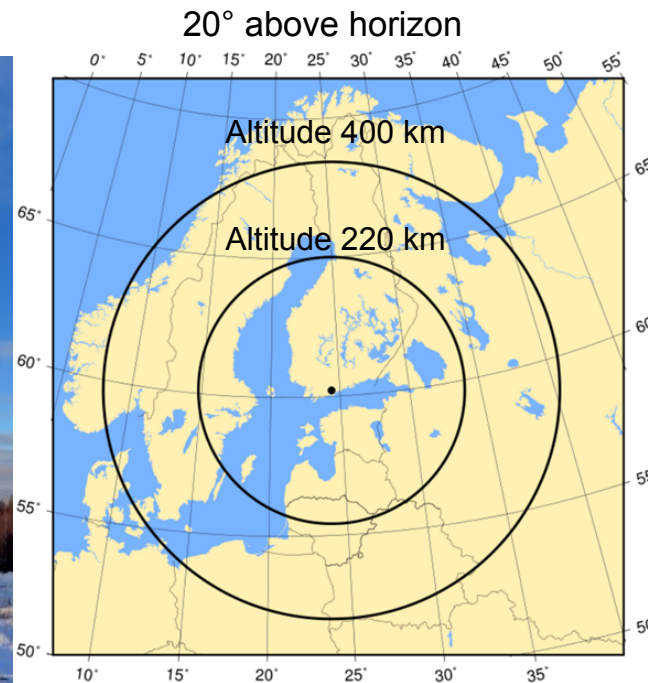
Olli Wilkman, Arttu Raja-Halli, Niko Kareinen,
Jouni Peltoniemi, Jenni Virtanen

Paikkatietokeskus FGI
Maanmittauslaitos
81 704€

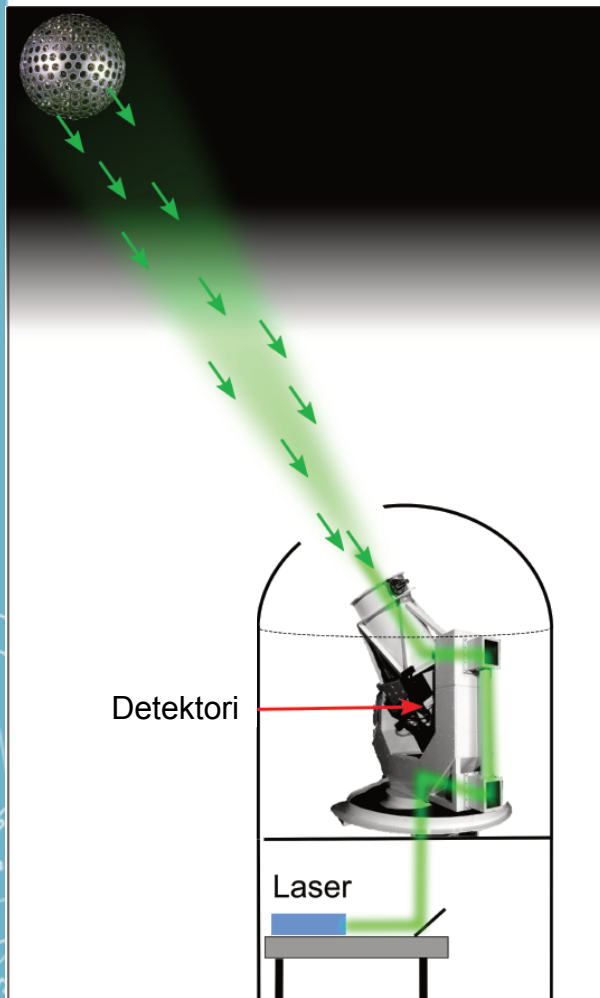


Metsähövin geodeettinen tutkimusasema

- Kirkkonummella, 30 km Helsingistä.
- Yksi maailman parhaiten varustelluista geodeettisista tutkimusasemista.
- Kaikki geodesian ydinteknologiat samassa paikassa.

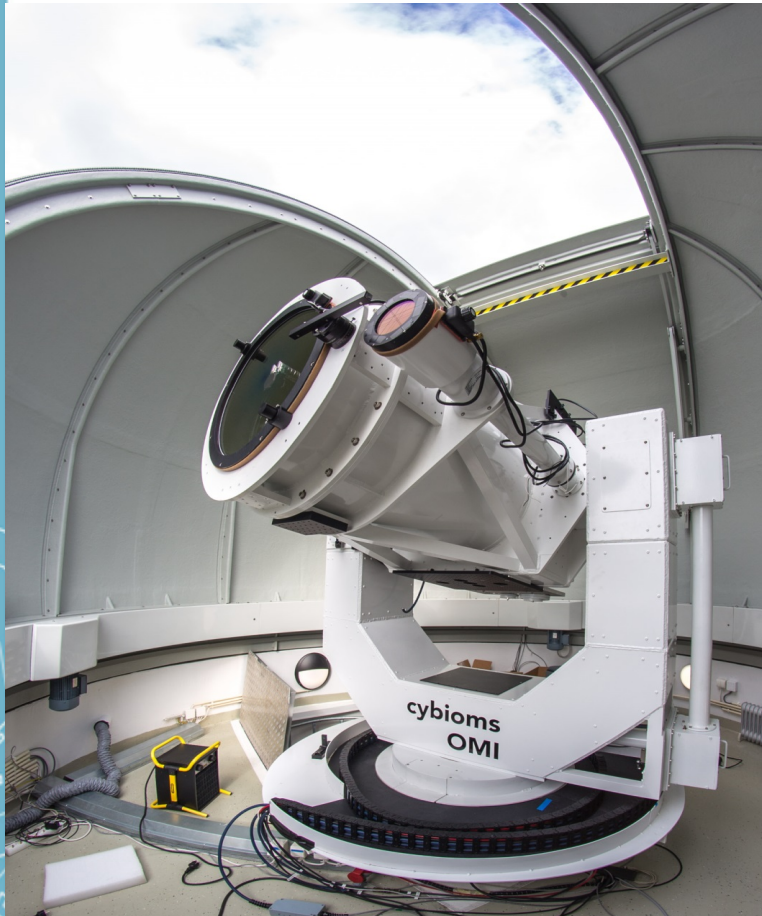


Satellite laser ranging (SLR)



- Mitataan laserpulssien lentoaika satelliittiin.
- Etäisyysmittaus jopa senttimetrin tarkkuudella.
- Mahdollistaa tarkan radanmäärityksen.
- Tärkeimmät sovellukset geodesiassa.
- Toimii sekä yöllä että päivällä.
- Kokeellisia sovelluksia:
 - Ei-geodeettiset satelliitit ja avaruusromu.
 - Aikasignaalien siirto globaalisti.
 - *Quantum key distribution.*

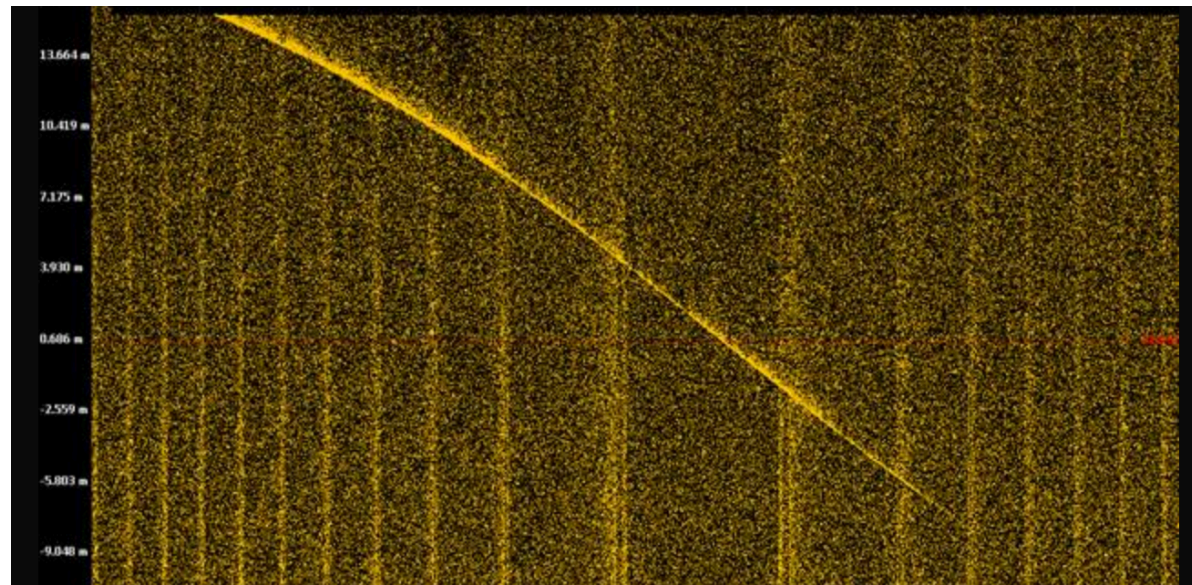
Metsähovin SLR-asema



- Nopea ja tarkka seurantajalusta ($10^\circ/\text{s}$)
- Lähettävä teleskooppi (pieni)
- Vastaanottava teleskooppi (suuri)
- Linssikaukoputki CCD-kameralla (ei kuvassa).
- Moottoroitu kupoli.
- Alakerrassa kontrollihuone sekä laser ja ohjauselektroniikka.
- Näillä näkymin toimintakunnossa 2019.

SLR-data

- Detektori aktivoidaan kun heijastuneen fotonin oletetaan saapuvan: ensimmäinen havaittu fotoni pysäyttää aikavälilaskurin.
- Useimmat havaitut fotonit ovat kohinaa.
- Todelliset heijastukset keskittyvät kohteen etäisyyden ympärille.
- Kerätään tilastollisesti tarpeeksi fotoneita (pari tuhatta pulssia sekunnissa).



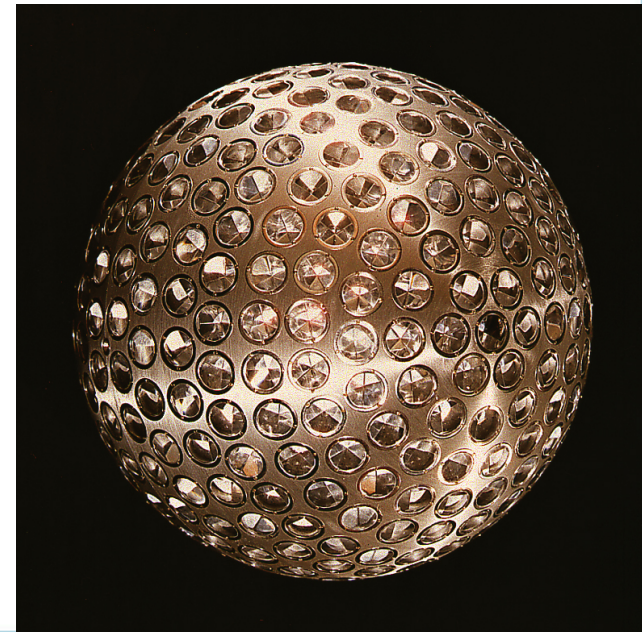
Avaruustilannekuva ja SST

- **Avaruustilannekuva** (SSA; *Space Situational Awareness*)
 - Avaruussää
 - Lähiavaruuden asteroidit ja komeetat, törmäysriski
 - Avaruusromu, SST
- **SST** (*Space Surveillance and Tracking*)
 - Avaruuskohteiden löytäminen, seuranta ja karakterisointi
- Tutkimuksen ydinkysymys:

Miten hyvin Metsähovin SLR-laitteisto soveltuu SST-käyttöön?

Prismalliset kohteet

- "Cooperative targets".
- Satelliitteja joissa on prismaheijastimet.
- Heijastavat laserpulsseja tehokkaasti.
- Etäisyysmittaus on tarkka (jopa millimetritasoa).
- Geodeettiset "tyhmät" satelliitit.
- Galileo- ja GLONASS-satelliitit.
- Tieteelliset satelliitit joiden radan tarkkuus on tärkeää (painovoima, merenkorkeus...)
- Yleistymässä mikro- ja nanosatelliiteissa.



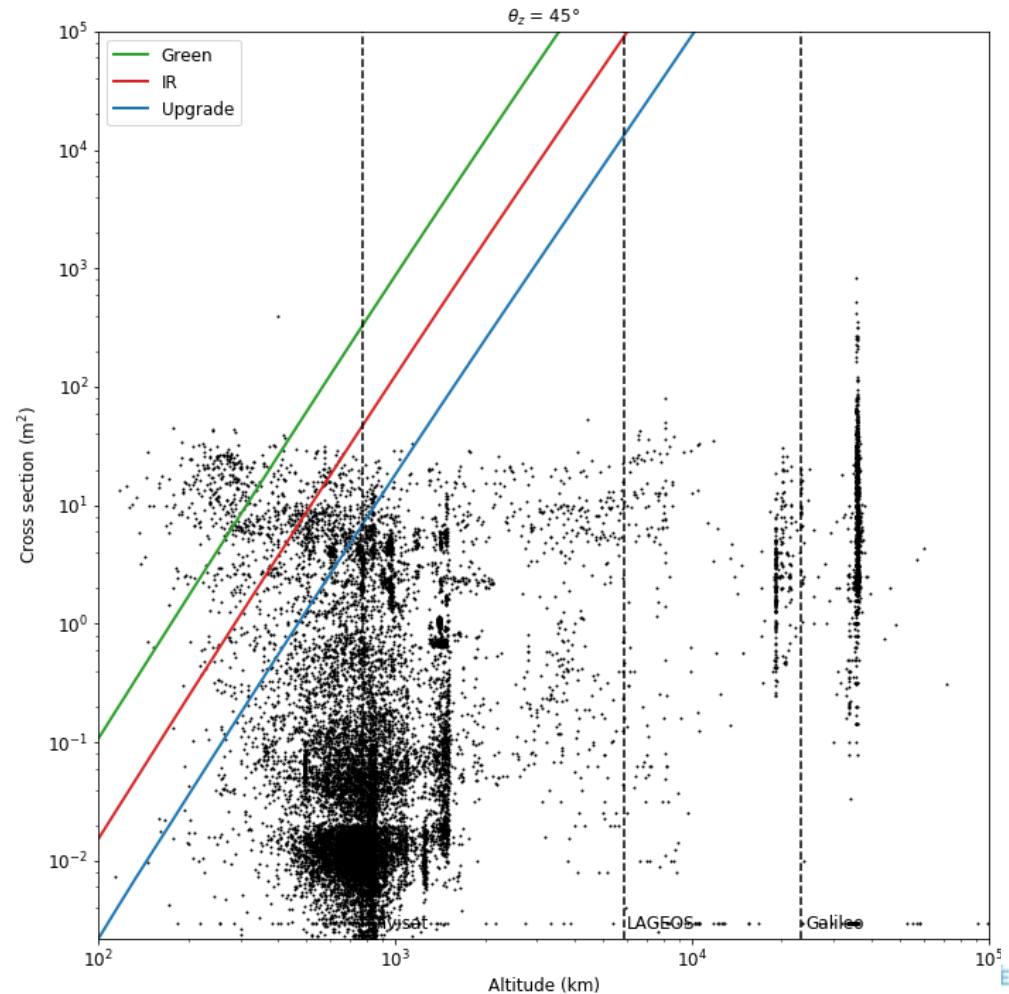
Kohteet ilman prismoja

- "Non-cooperative targets".
- Laserheijastukset joka puolelta kohteen pintaa.
- Data on hyvin sotkuista:
 - *Monta* kertaluokkaa heikompi signaali.
 - Paljon epätarkempi etäisyys.
 - Kirkkaat kohdat pinnassa.
- Silti hyödyllinen isoille kohteille matalilla kiertoradoilla.
- Putoavien satelliittien ennusteiden tarkentaminen.



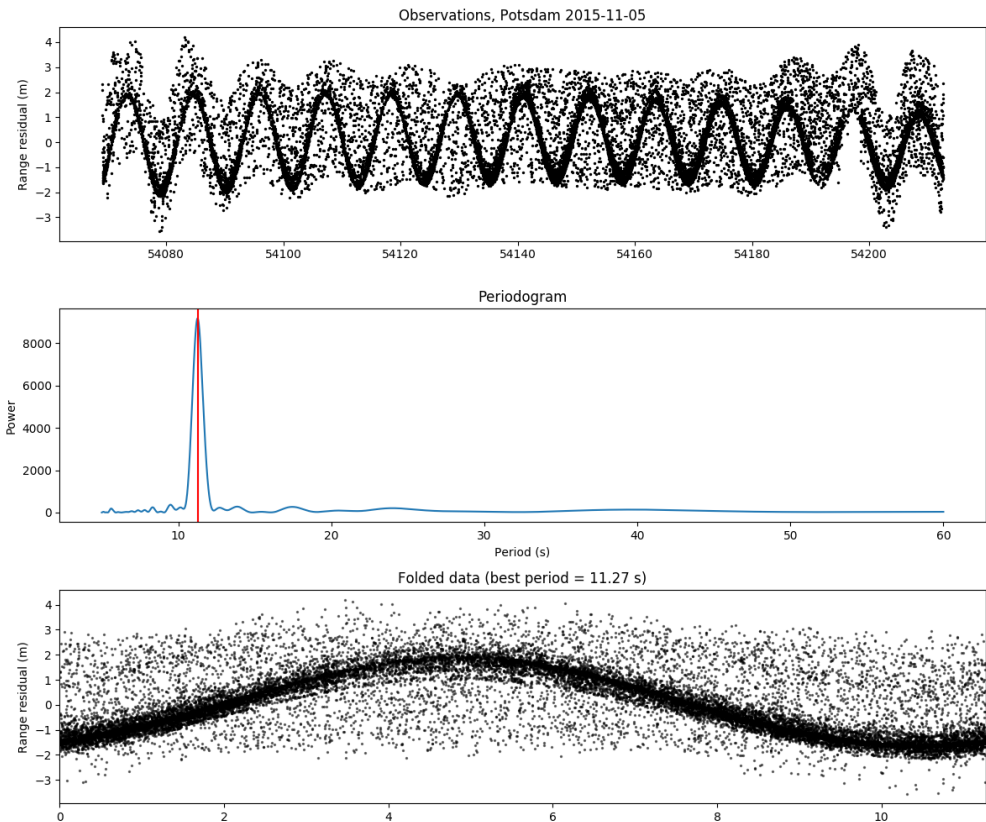
SLR-järjestelmän suorituskyky

- Mallinnettu prismattomien kohteiden havaittavuutta.
- Suoran yläpuolella olevat kohteet havaittavissa.
- Suurin osa kohteista liian kaukana / pieniä.
- Vertailtu mahdollisia laitteiston päivityksiä.



Prismallisten kohteiden pyörimistilat

- Prisman etäisyys muuttuu kohteen pyöriessä.
- Periodinmäärittäminen.
- Akselin suunta mahdollista mutta vaatii usein *a priori* -tietoa kohteen rakenteesta.

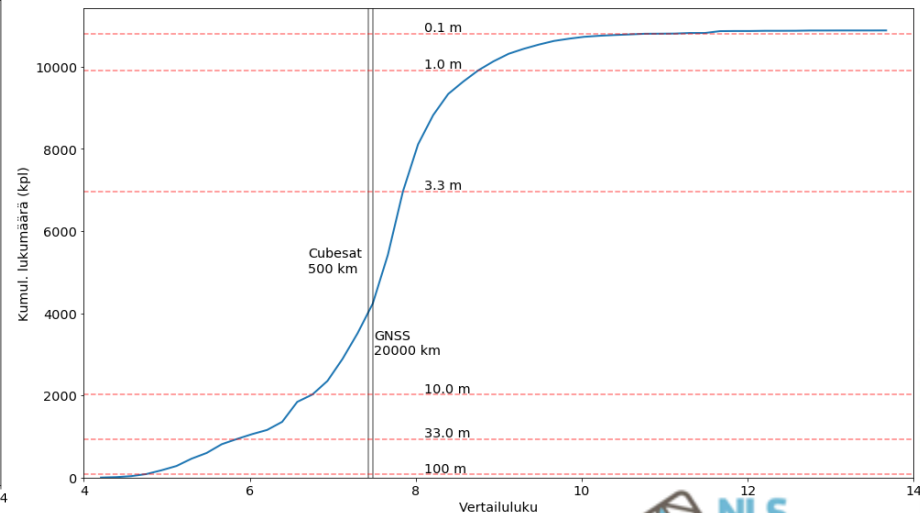
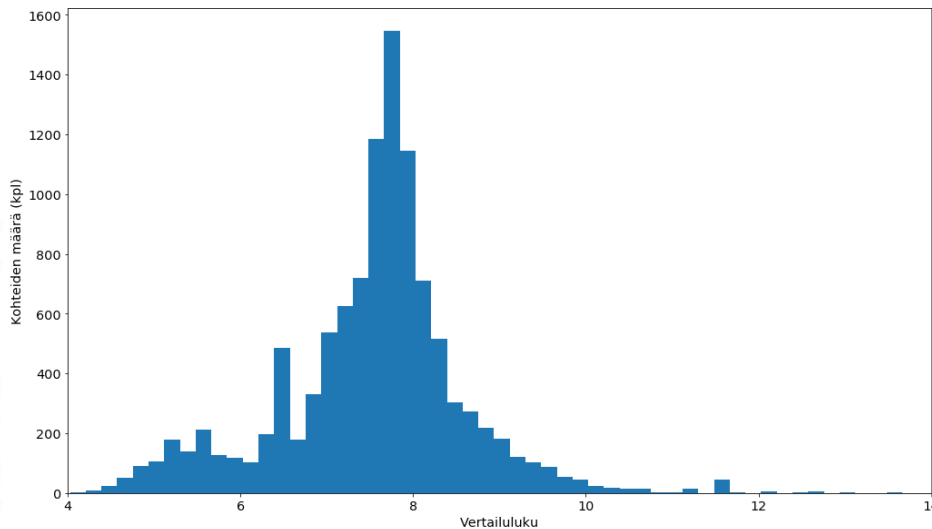


Fotometria

- Tutkittu havaittavien kohteiden määriä myös fotometrysten (passiivisten) havaintojen puolesta.
- Fotometriassa havaitaan Auringon valaiseman kohteen kirkkautta CCD-kameralla tai erityisellä detektorilla.
- Fotometria ja SLR havaitsevat enimmäkseen eri kohteita:
 - Fotometria helpointa korkealla oleville kohteille (vähemmän aikaa Maan varjossa)
 - SLR helpointa matalalla oleville kohteille (lyhyt etäisyys)
- Nykyisellä laitteistolla fotometria ei tuo suurta lisäarvoa SLR-havainnoille.

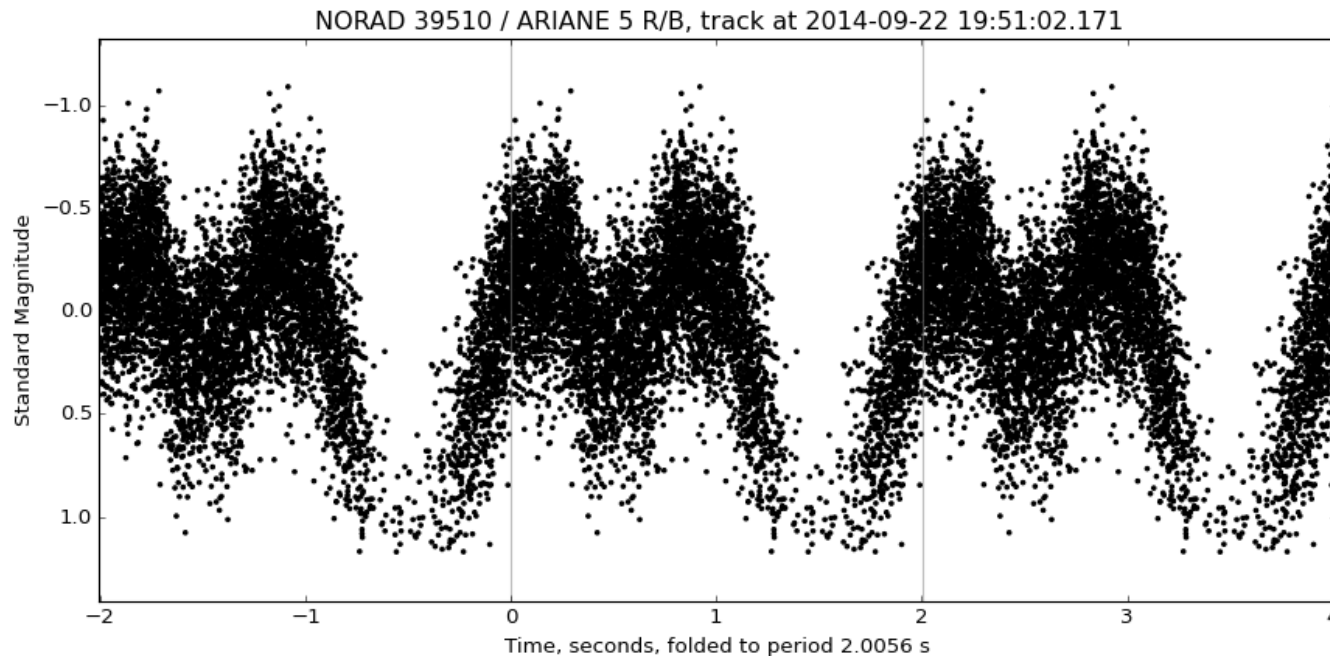
Fotometria

- Heuristinen arvio havaittavien kohteiden lukumäärästä:
 - Kohteen pinta-ala vs. pienimmän etäisyyden neliö
- Auttaa arvioimaan annetulla teleskoopilla havaittavissa olevien kohteiden lukumäärää.



Pyörimistilat fotometriasta

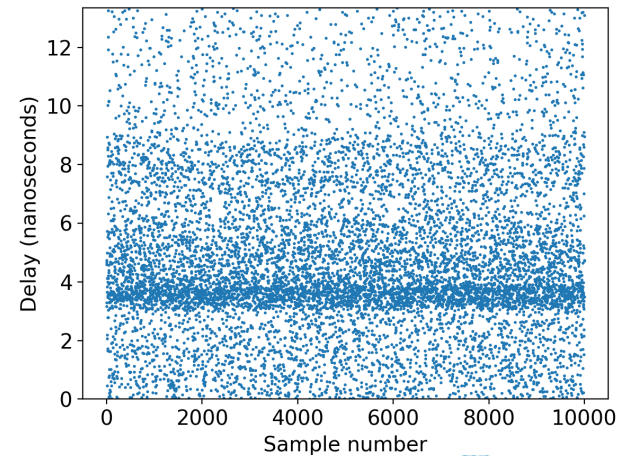
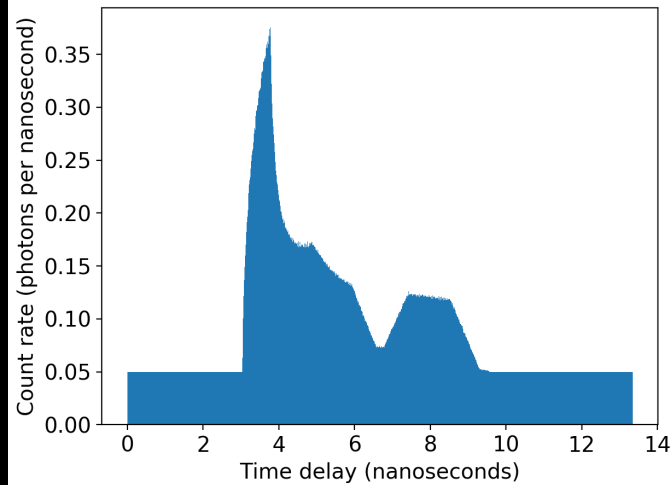
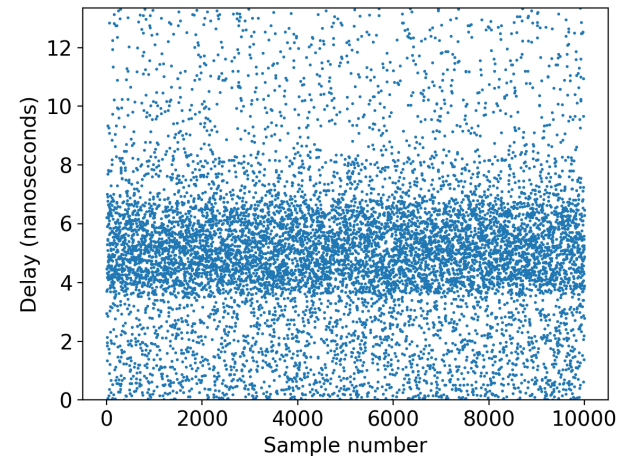
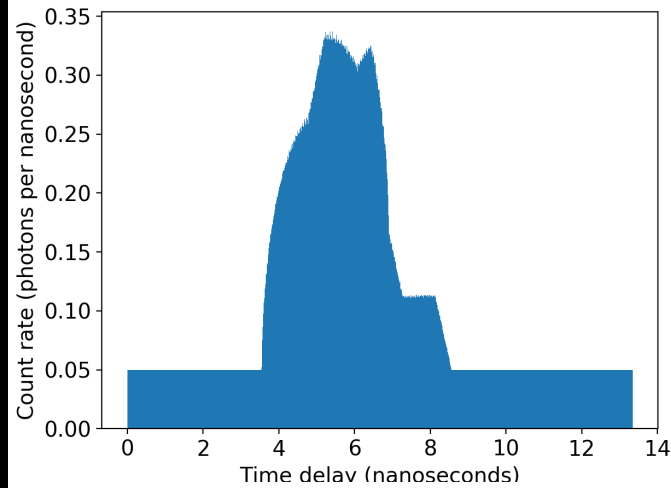
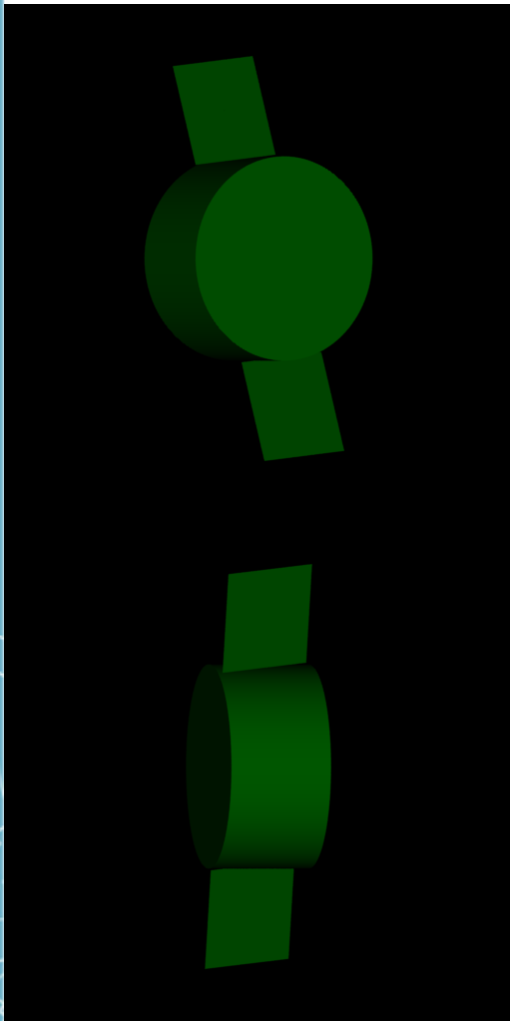
- Kappaleen kirkkaus auringon valaisemana vaihtelee sen pyöriessä.
- Tiheästi mitatusta valokäyrästä saadaan pyörimisperiodi.
- Teoriassa, mutta käytännössä harvoin, myös akselin suunta.
- Vaatii nopeampaa fotometriaa, erityistä laitteistoa.



Laserpulssin heijastus prismattomasta kohteesta

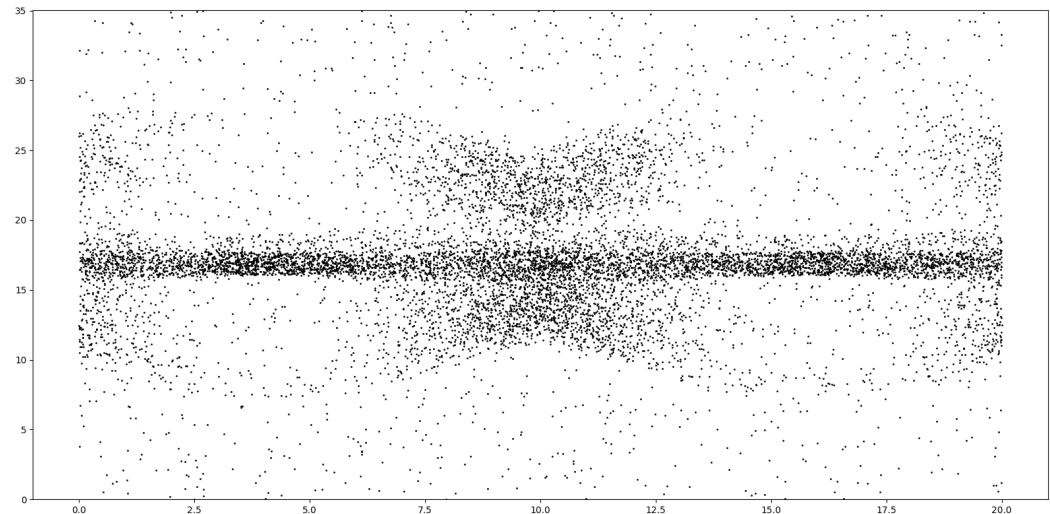
- Numeerinen simulaatio annetun kohteen heijastamasta laserpulssista.
- Heijastuneen pulssin muodosta voidaan laskea havaittu etäisyysjakauma.
- Ei aikaisemmin juuri tutkittu.

Simuloitua dataa



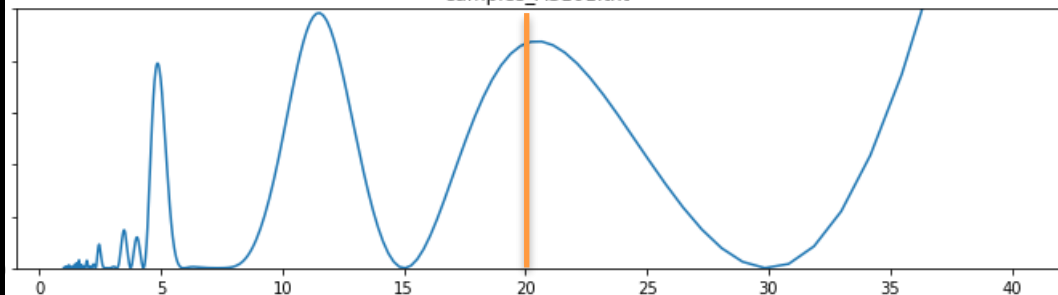
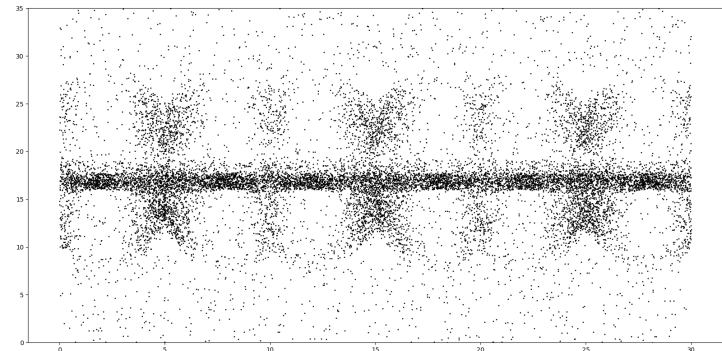
Simuloitua dataa

- Pyörivä "satelliitti" tuottaa muuttuvan etäisyysjakauman.



Simuloitua dataa

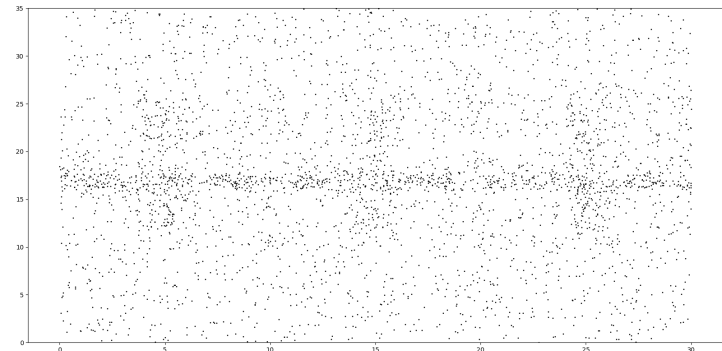
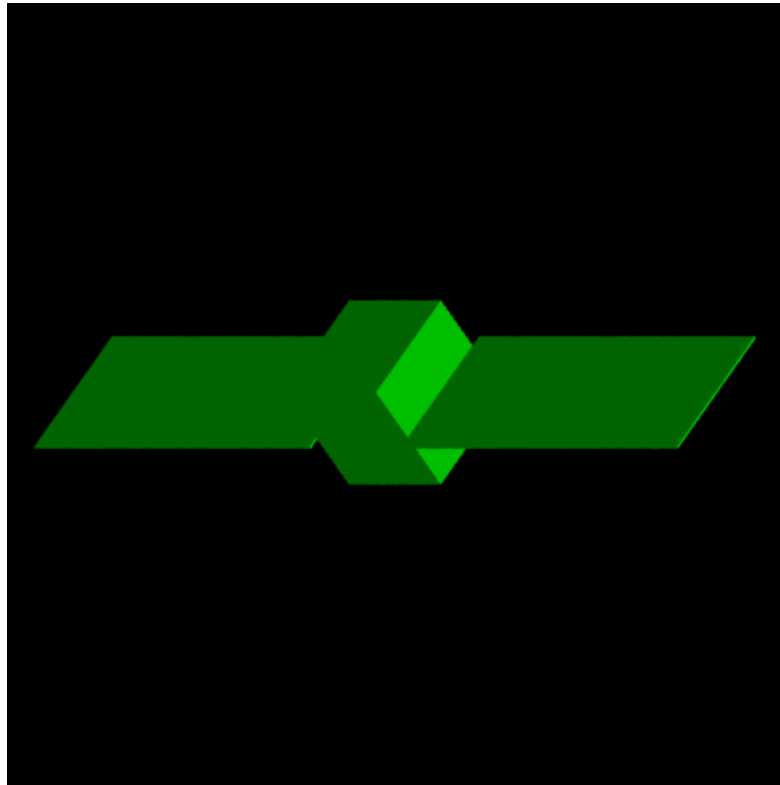
- Etäisyshavainnoista löydetään pyörimisperiodi.



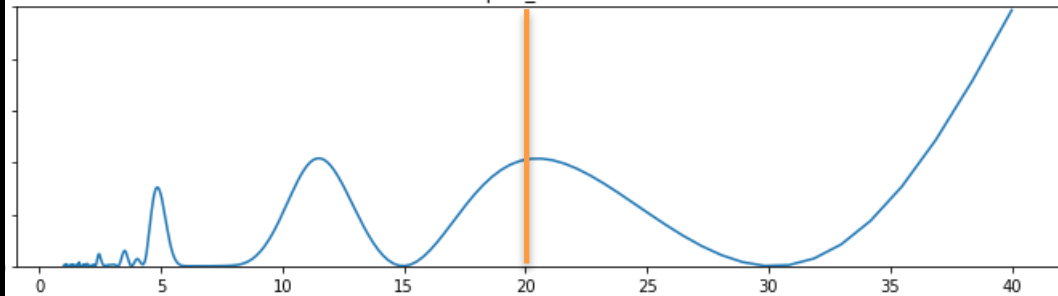
Periodi (s)

Simuloitua dataa

- Myös himmeämmän kohteen datasta löytyy periodi.



samples_AS001.txt



Periodi (s)

Keskeiset tulokset 1

- Metsähovin geodeettinen SLR-järjestelmä pystyy havaitsemaan matalilla radoilla olevia satelliitteja sekä avaruusromua.
- Järjestelmän päivitys SST-optimoiduin laittein kasvattaisi havaittavissa olevien kohteiden määrää.
- Pyörimisperiodin määrittäminen onnistuu
 - Prismallisille kohteille havaitusta datasta
 - Prismattomille kohteille, kun dataa on tarpeeksi (simulaatioiden perusteella)
- Pyörimisakselin määrittäminen vaatii käytännössä *a priori* -tietoa kohteesta, mutta on teoriassa mahdollista.
- Samojen kohteiden havainnointi SLR:llä ja passiivisin keinoin on vaikeaa.
- Fotometriahavaintoja saadaan Suomen oloissa muutenkin vähemmän.

Keskeiset tulokset 2

- Prismattomien kohteiden simulaatiotuloksia julkaistu *AMOS 2018* -konferenssissa. Vertaisarvioitu lehtijulkaisu tekeillä.
- SLR:n kyvyistä läheltä ohittavan asteroidin havaitsemiseen tekeillä julkaisu ESA:n *NEO and Debris Detection* -kokoukseen, käyttäen samoja menetelmiä.

Tulevaisuudessa

- Julkaisut tämänhetkisistä tuloksista.
- Kun SLR-järjestelmä on toiminnassa, erilaisten kohteiden havaintoja, kansainvälistä yhteistyötä.
- Avaruusromun karakterisointi etäisyyshavainnoista, menetelmien kehittäminen edelleen.
- Laitteiston päivitys avaruusromuhavaintoja varten.
- Paikkatietokeskus osallistuu mm.
 - kansallisen SST-toiminnan kehittämiseen Suomessa.
 - kansallisen SSA-strategian valmisteluun.
 - keskusteluihin yhteistyöstä eurooppalaisen SST-konsortion kanssa, erityisesti SLR-havaintojen osalta.