

NLS
FINNISH GEOSPATIAL
RESEARCH INSTITUTE
FGI

Metsäkoneen reaaliaikainen satelliittivapaa paikannus

Heikki Hyyti
18.11.2025



**Euroopan unionin
rahoittama**
NextGenerationEU



Maa- ja metsätalousministeriö

Metsäkoneen reaaliaikainen satelliittivapaa paikannus

Agenda

- Metsäkoneen paikannuksen tarkkuusvaatimukset
- Paikannus UWB tekniikalla ja omilla tukiasemilla
 - Koetyön tuomat havainnot
- Metsäkoneen paikannus puukartan avulla
 - Puukartan teko etukäteen (esim. UAV)
 - Puukartan teko/päivitys hakkuun yhteydessä
 - Demonstraatiovideo

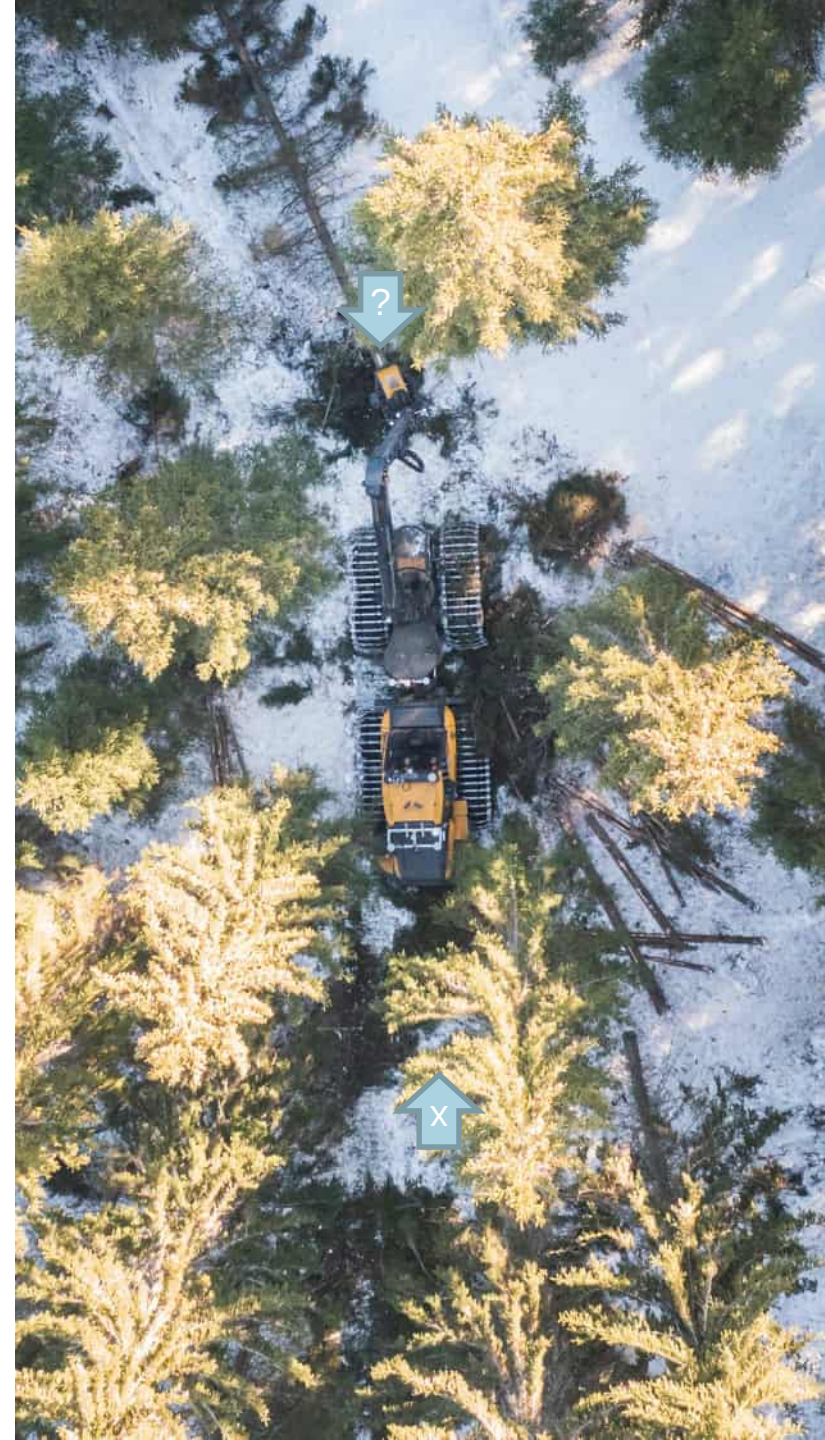
Metsäkoneen paikannuksen tarkkuusvaatimukset

- Nykyisin metsäkoneen paikannuksessa tulee melko suuriakin virheitä
 - 0.5–10 m virheet hakkuupään paikassa ovat tyypillisiä
 - Puiden latvustot häiritsevät satelliittipaikannussignaalien etenemistä
- Jotta hakattu puu voidaan yhdistää muuhun kartalle laitettuun materiaaliin, tulisi **hakkuulaite** pystyä paikantamaan **alle metrin** tarkkuudella.



Metsäkoneen paikannuksen tarkkuusvaatimukset

- Tarvitaan siis myös metsäkoneen asentomittaus!
- Kun tarkka paikannus onnistuu, niin tietoja voidaan yhdistää:
 - Etukäteen kartoitettu puukartta, pistepilvi, tai ilmakekuva
 - Hakkuusuunnitelmat voidaan esittää kuljettajalle suhteessa hakkuulaitteen paikkaan
 - Hakkuukoneen tekemät mittaukset rungoista (esim. HPR) voisivat toimia vertailuaineistona kaukokartoitusmenetelmien tarkkuuden parantamiseen
 - Yms.



UWB-paikannus

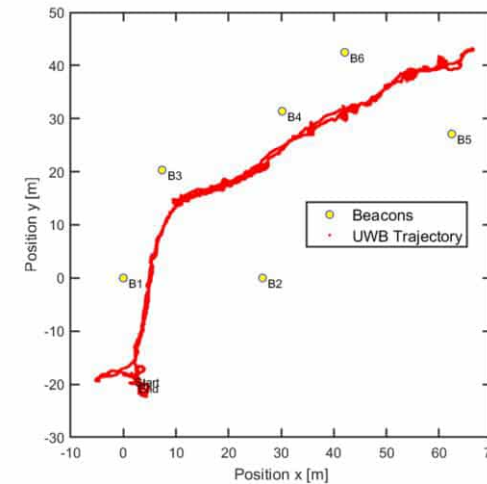
- Ultra Wide-Band (UWB) radiotaajuinen signaalien lähetys ja vastaanotto
 - Etäisyyden mittaus signaalin kulkuajan perusteella
 - Signaali etenee peitteisessä maastossa vain joitakin kymmeniä metrejä
 - Tarvitaan useita tukiasemia hakkuu-uran lähellä
 - Paikannuslaite on pieni ja integroitavissa hakkuupäähän



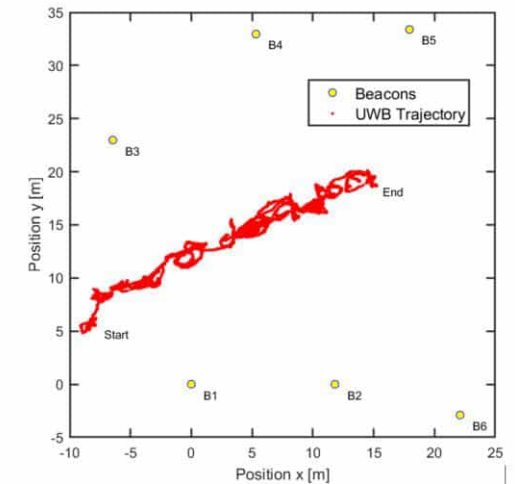
UWB-paikannus

- Syksyn 2024 koetyössä harvesterissa oli Ultra-Wide Band (UWB) radiopaikannus
 - Decawave DWM1001, 6,2–6,7 GHz
- Ajolinjojen ympärillä oli kuusi radiomajakkaa
- Paikannustarkkuus 28 cm (RMSE)

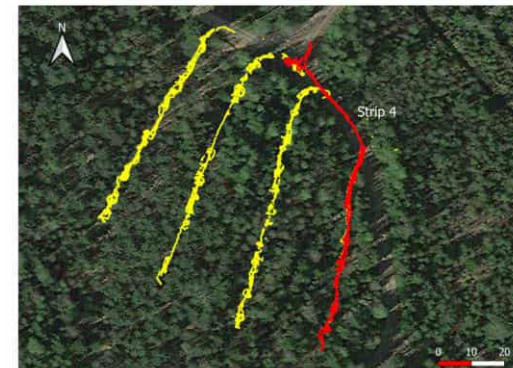
Liu, Z., Kaartinen, H., Hakala, T., Hyyti, H., Hyyppä, J., Kukko, A., ... & Vastaranta, M. (2025). Ultra-Wideband-Based Method for Measuring Tree Positions with Decimeter-Level Accuracy Under a Forest Canopy. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*.



(a) Strip 4: Trajectory in the local frame



(b) Strip 5: Trajectory in the local frame



(c) Strip 4: Registered trajectory

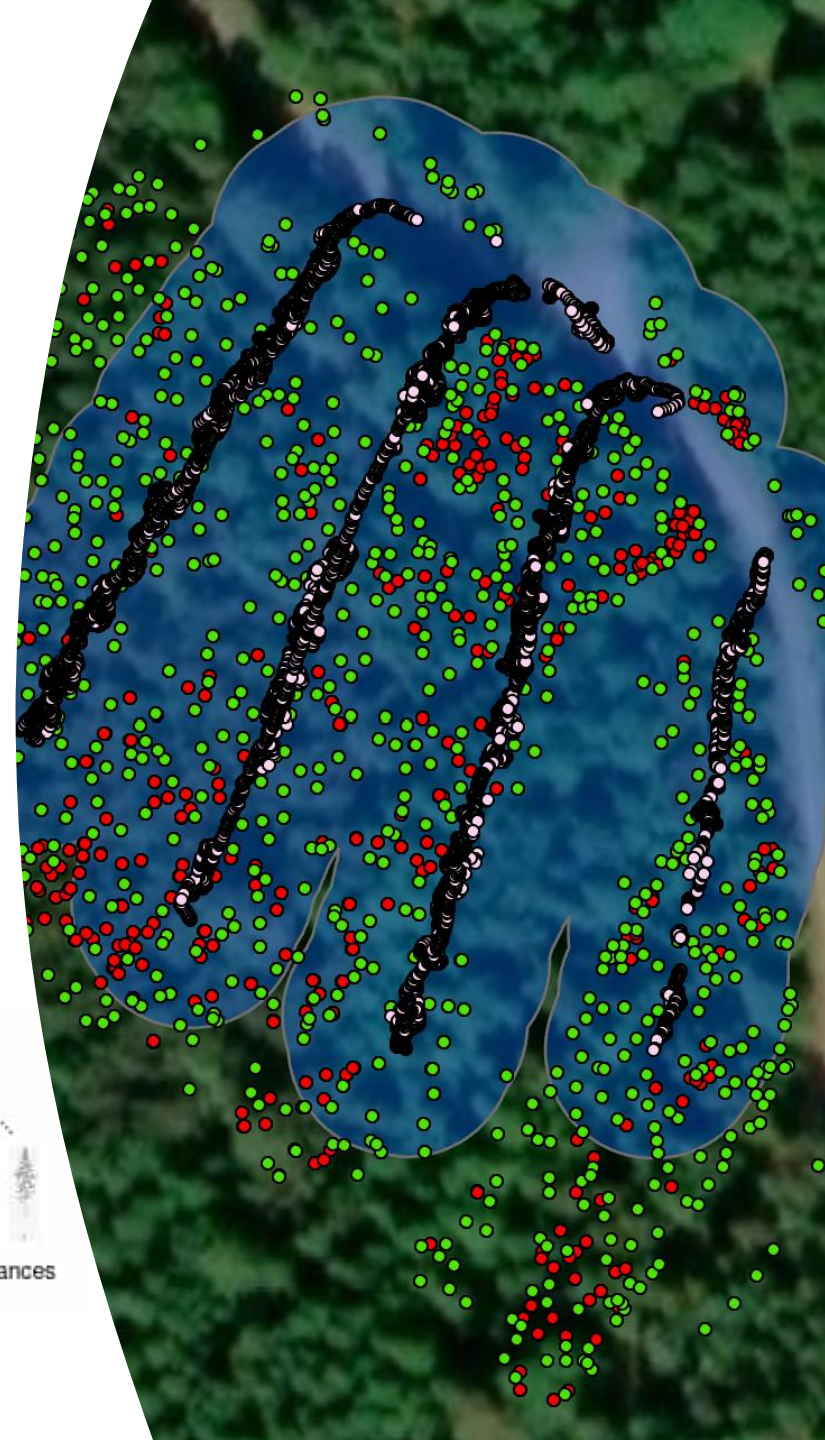
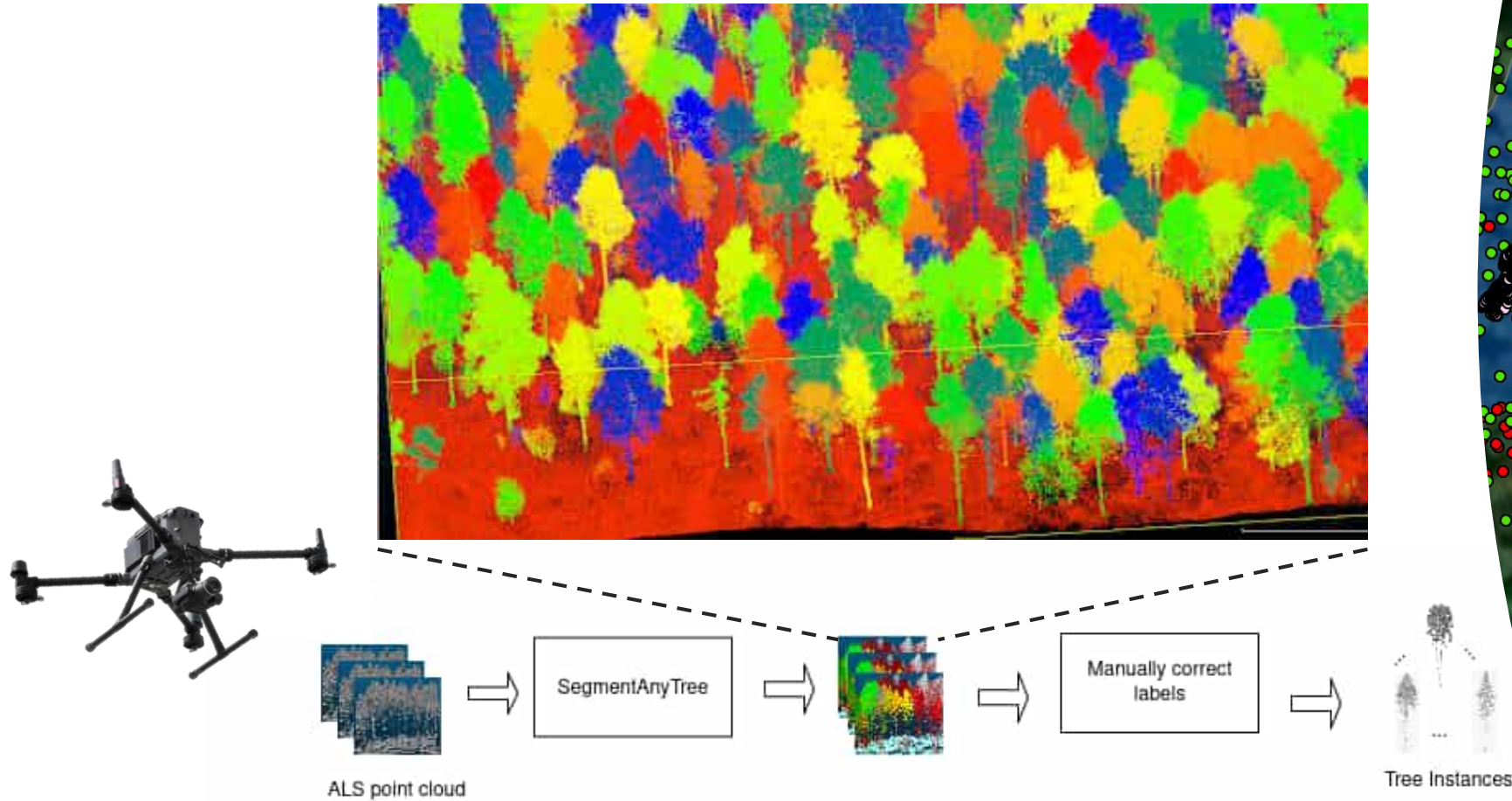


(d) Strip 5: Registered trajectory

Metsäkoneen paikannus puukartalla

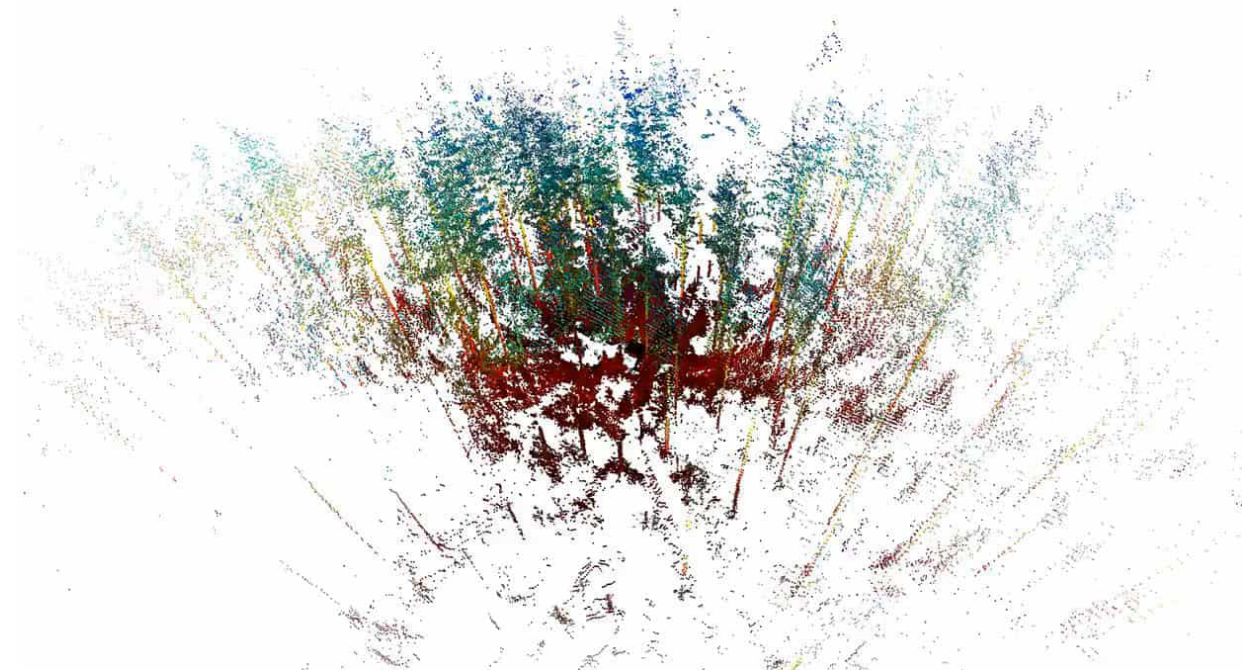
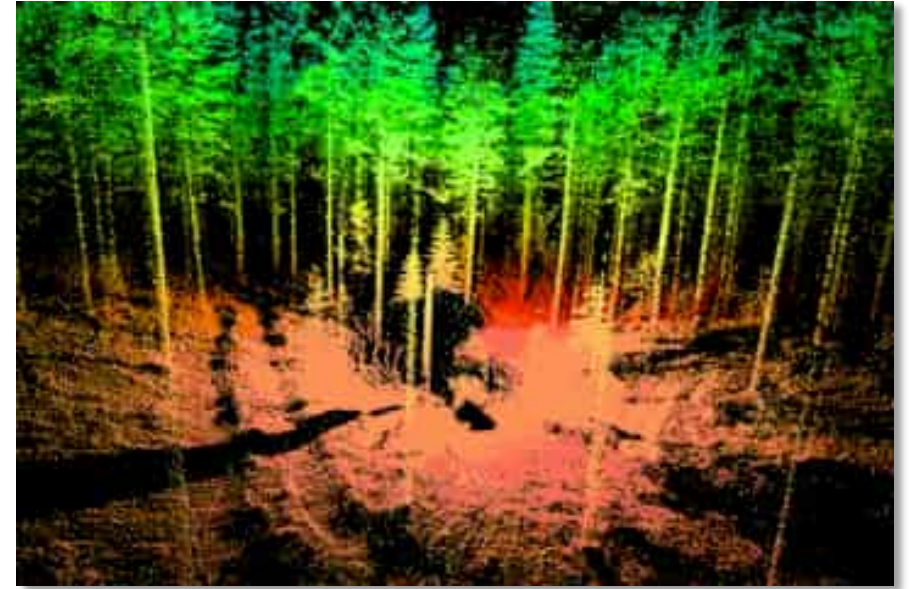
- Metsäkone voi mitata puut ympärillään ja käyttää havaitsemiaan puita paikantaakseen itsensä ympäristöön nähden
- Kaksi erilaista lähestymistapaa
 - Etukäteen tehty yksittäisen puun kartta
 - Vaatii etukäteistietoa kohteesta (voidaan kerätä esim. UAV:lla)
 - Pelkkä paikannus olemassa olevaan puukarttaan nähden riittää
 - Yhtäaikainen paikannus ja kartoitus (SLAM)
 - Jos etukäteistietoa ympäristöstä ei ole saatavilla

Puukartan teko etukäteen



Metsäkoneen paikannus puukartalla

- Molemmissa lähestymistavoissa metsäkoneen pitää pystyä mittaamaan puut ympäriltään
- Harvassa metsässä tämä onnistuu nykyisillä laserkeilausmenetelmillä
- Menetelmän kehitystä tulee tehdä erityisesti haastavissa, tiheissä metsissä, kuten ensiharvennuskohteilla
- Metsäkone muuttaa ympäristöä, joka tuo lisähaastetta paikannukseen



Instrumentointi metsäkoneeseen

- Tarvitaan kattava näkymä eteen sivuille ja taakse
- Ilmostar hankkeen tutkimuksessa kokeiltiin useita erilaisia sensoreita
 - Seuraavissa tuloksissa käytetään vain kahta samanlaista Ouster OS0 laserkeilainta (ympäröity **punaisella** kuvassa)
 - Paljon aineistoa on vielä käytettävissä tulevaan tutkimukseen



Pistepilven käyttö reaaliajassa

- Tutkimuksessa on kehitetty uudenlainen tapa käyttää useamman laserkeilaimen mittauksia yhtä aikaa
 - Voidaan käyttää useata keskenään synkronoitua ja kalibroitua laserkeilainta yhdessä
 - Voidaan käyttää olemassa olevia menetelmiä samoin kuten yhdelläkin laserkeilaimella

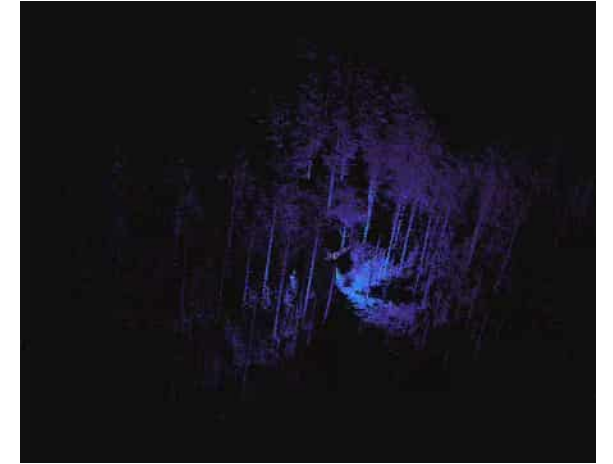
Faitli, T., Hyyti, H., Hyyppä, J., Kukko, A., and Kaartinen, H.: A generic multi-lidar data batching strategy on the sensor driver level, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLVIII-1/W4-2025, 37–42, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W4-2025-37-2025>, 2025.



2 laserkeilainta yhdistetty
(yksi 360 asteen mittausta kestää 100 ms)



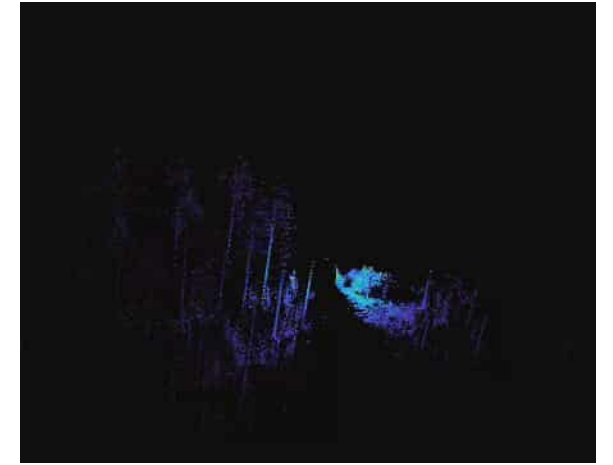
100 ms



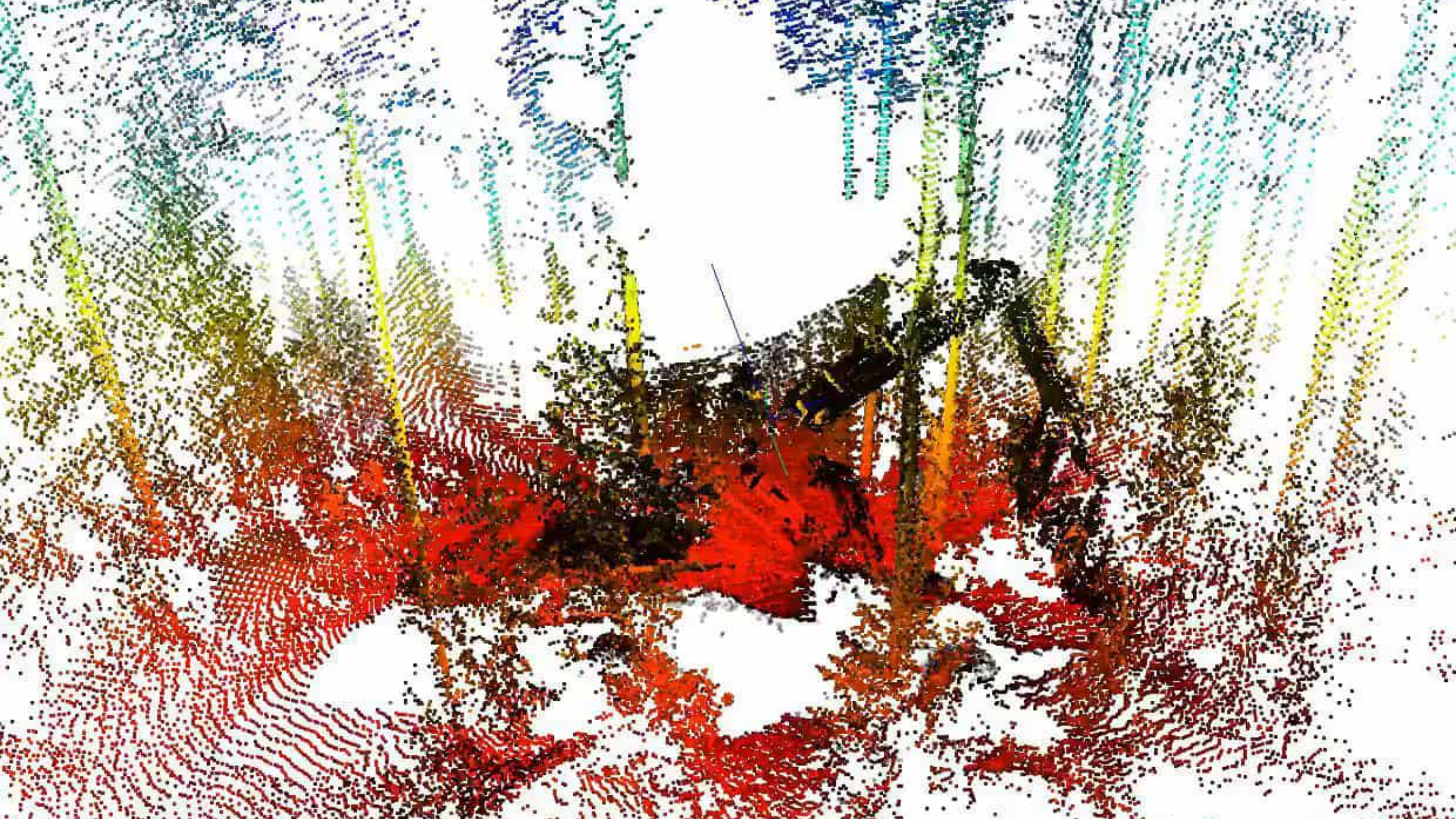
50 ms



25 ms

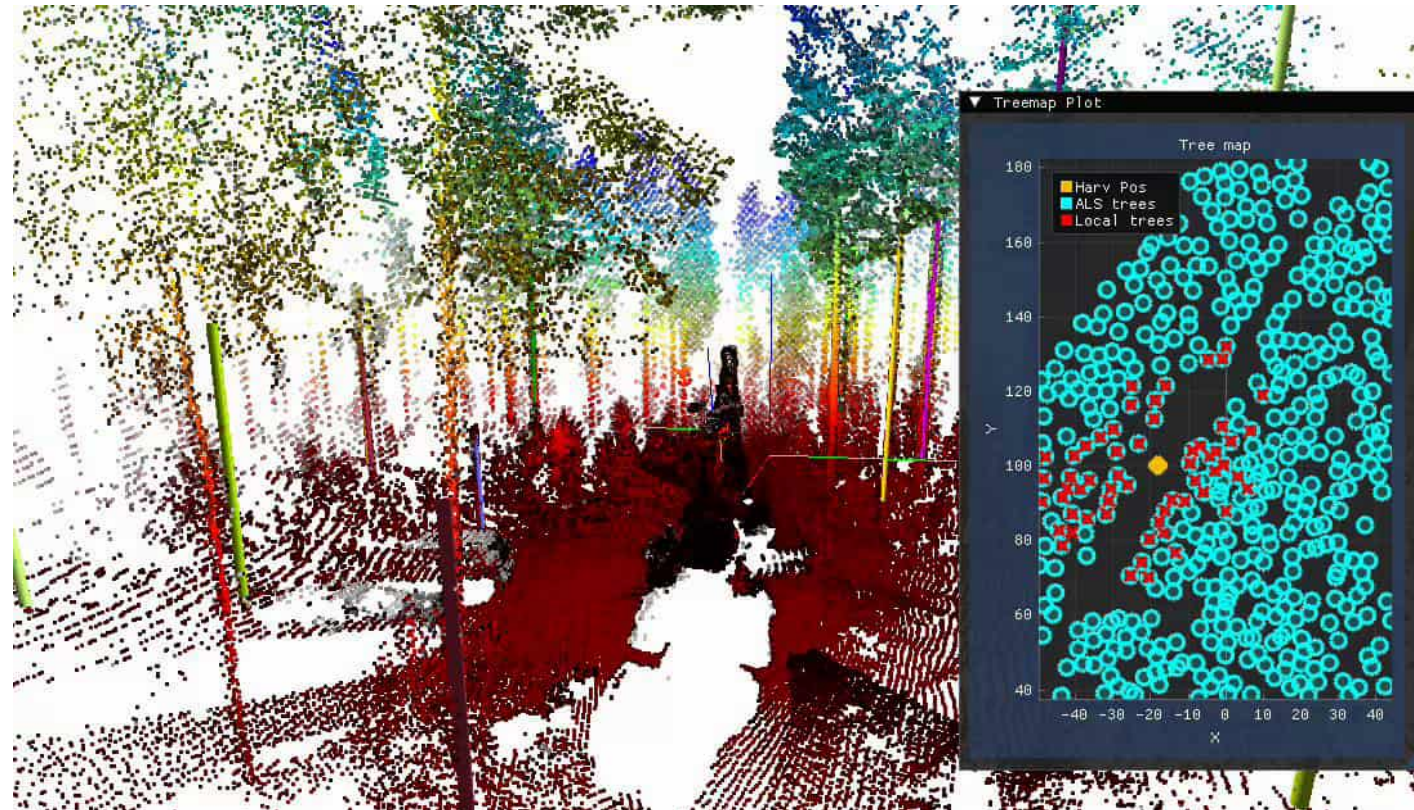


12,5 ms



Puiden tunnistus ja rekisteröinti reaaliajassa

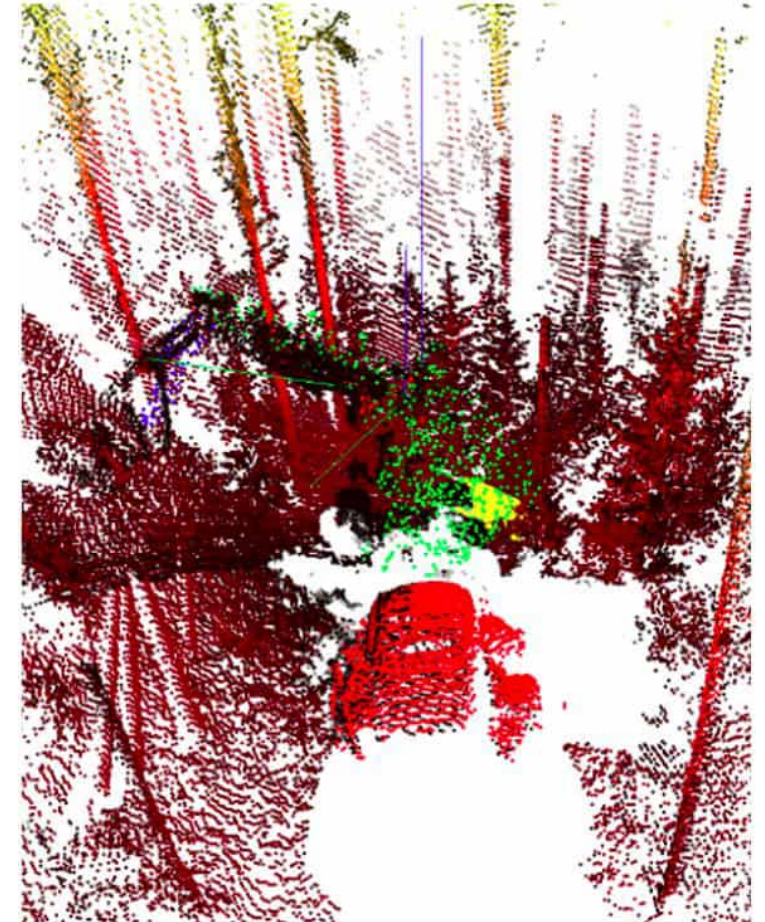
- Tutkimuksessa on kehitetty uusi
 - reaaliaikainen versio puiden tunnistusalgoritmista, joka hyödyntää paikannuksessa hyödynnettävää NDT karttaa
 - Sekä toteutettu siihen yhteyteen versio puiden rekisteröinnistä karttaan (Hyyppä ym. 2021)
- Puiden tunnistus ja rekisteröinti vie vain n. 2-4 ms aikaa nykyisessä toteutuksessa
- Alustavat tulokset helpossa metsässä ovat lupaavia (v. 2023 data, video →).
- Lisää kehitystyötä tarvitaan haastavassa ensiharvennustaimikossa (v. 2024 data)
 - Nuorten puiden ja pensaiden lehvästöä pitäisi siivota pois pistepilvestä ennen puiden tunnistamista
 - Etukäteiskartta pitää myös olla tarkempi ja pitää sisällään myös pienet puut



Hyyppä, E., Muhojoki, J., Yu, X., Kukko, A., Kaartinen, H. and Hyyppä, J., 2021. Efficient coarse registration method using translation- and rotation-invariant local descriptors towards fully automated forest inventory. ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2, p.100007.

Myös koneen osat voidaan paikantaa laserkeilaimen mittauksista

- Ilmostar hankkeessa aloitettiin tutkimus jossa laserkeilaimen mittaukseen sovitettiin koneen osien malleja
 - Sama NDT-pohjainen pistepilvien sovitusmenetelmä
 - Menetelmä onnistuu seuraamaan nosturin asentoa ja alustakoneen asentoa
 - Haastetta tuottaa jatkopuomin pituus ja hakkuulaitteen mittaus, joiden tunnistamiseen vaaditaan lisää tutkimusta.



Metsäkoneen reaaliaikainen satelliittivapaa paikannus

Yhteenveto

- Metsäkoneen hakkuulaite tulee paikantaa vähintään 1 m tarkkuudella
 - Myös metsäkoneen asento, erityisesti puomin asento pitää mitata
- Paikannus ilman satelliitteja voidaan tehdä joko UWB:lla
 - Vaatii useita tukiasemia työmaalle
- Tai metsäkoneeseen asennettavalla laserkeilaimella
 - Puukartan voi tehdä etukäteen esimerkiksi UAV:lla,
 - mutta se onnistuu helpossa kohteessa myös hakkuutyön yhteydessä yhtäaikaisen paikannuksen ja kartoituksen (SLAM) menetelmin

Kiitos!

Kysymyksiä?

 @FGI_forest

 @fgi_nls

Kiitokset FGI:n tiimille:

Tamas Faitli, Fernanda Jokinen Gutiérrez, Zuoya Liu,
Tarmo Kivioja, Matias Mäki-Leppilampi, Arundev Satheesan,
Harri Kaartinen, Antero Kukko & Juha Hyyppä

