

A?

Aalto-yliopisto
Sähkötekniikan
korkeakoulu

Autonomisuus metsässä

Heikki Hyyti

Studia Militaria 22.11.2016

Autonomisuus metsässä

Autonomisuus?

Autonomisuuden haasteita

- Paikannustarkkuus
- Ympäristön havainnointi metsässä
- Metsäkoneen asennon mittaus ja säätö

Automaatioasteen lisääminen

- Metsäkoneen nosturin tarkempi säätäminen
- Automaatiotoiminnot
- Kuljettajaa avustavat järjestelmät

<http://pointcloud.fi/>

Autonomisuus, mitä se on?

Autonominen tekee itsenäisiä päätöksiä

- Mitä tarvitaan, että jokin kykenee tähän?
 - *Ympäristön havainnointi* ← *Myös havainnointi on aktiivista toimintaa*
 - *Päätöksenteko havaintojen perusteella*
 - *Mahdollisesti kommunikointi muiden kanssa päätöksenteon tueksi*

Autonomisuus metsässä, miksi?

- Metsätyön tehostaminen
- Kuljettajan avustaminen
- Metsän kartoitus ja työjäljen dokumentointi

Autonomisuuden haasteita



Aalto-yliopisto
Sähkötekniikan
korkeakoulu

Paikannustarkkuus metsässä

- Metsäkoneen paikannustarkkuus on noin 3 m metsässä^[1]
 - Keskiarvoistettua paikkatietoa kun on pysytty paikallaan
 - Kaartisen ym. mittauksissa yhden taajuuden satelliittipaikannusvastaanottimilla keskivirhe oli laitteesta riippuen 4,2–9,3 m^[2].
 - Samassa testissä IMU-integroiduilla laitteilla keskivirhe oli 0,7 m^[2].
- Kartoitettujen puiden erottelussa tarkkuus olisi oltava alle metrin luokkaa, automaattiajossa, kartoituksessa jne. paljon tarkempi.

[1] Rasinmäki, J., & Melkas, T. (2005). A method for estimating tree composition and volume using harvester data. *Scandinavian journal of forest research*, 20(1), 85-95.

[2] Kaartinen, H., Hyyppä, J., Vastaranta, M., Kukko, A., Jaakkola, A., Yu, X., ... & Kaijaluoto, R. (2015). Accuracy of kinematic positioning using Global Satellite Navigation Systems under forest canopies. *Forests*, 6(9), 3218-3236.

Miten paikannustarkkuutta voi parantaa?

- Anturitiedon yhdistäminen
 - *Esimerkiksi inertiatietoa ja satelliittipaikannusta yhdistäen Kaartinen ym. on päässyt 0,7 m keskivirheeseen [2].*
 - *Miten päästä vielä tarkempaan paikannustarkkuuteen puihin nähden?*
 - Samoin kuin eläimet ja ihmiset tekevät.
 - Yhdistämällä näkökyky navigointiin
 - Koneelle kolmiulotteinen näkökyky on helpoin toteuttaa laserkeilauksen avulla.
 - Pistepilvi on harvaa kolmiulotteista tietoa kohteista ympärillä.
 - Vähemmän mittauksia kuin kamerakuvassa, mutta tietoa on usein joka suunnasta.
 - Lisäksi etäisyystieto helpottaa ympäröivän maailman hahmottamista
 - Näkökyky toimii paremmin, jos se yhdistetään asentotietoon.

[2] Kaartinen, H., Hyyppä, J., Vastaranta, M., Kukko, A., Jaakkola, A., Yu, X., ... & Kaijaluoto, R. (2015). Accuracy of kinematic positioning using Global Satellite Navigation Systems under forest canopies. *Forests*, 6(9), 3218-3236.

Pistepilvitieto ja anturifuusio

- Inertiamittausanturit tuottavat asentotiedon ja arvion kiihtyvyydestä
 - Nykyään on saatavilla edullisia MEMS (mikro-elektro-mekaaninen järjestelmä) inertiamittalaitteita (IMU).
 - Mittaavat kulmanopeutta ja kiihtyvyyttä kolmeen eri suuntaan $>100\text{Hz}$ taajuudella
 - Haasteena mittalaitteen mittausvirheet (bias eli nollakohtavirhe ja gain eli vahvistusvirhe, riippuvat lämpötilasta) -> mittauksia on vaikea käyttää
 - Maan vetovoimasta johtuvan kiihtyvyyssmittauksen avulla voidaan vähentää gyroskooppien bias-virhettä ja näin saada asentomittaus tarkemmaksi [3].

[3] Hyyti, H., & Visala, A. (2015). A DCM Based Attitude Estimation Algorithm for Low-Cost MEMS IMUs. *International Journal of Navigation and Observation*, 2015. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/503814> & <https://github.com/hhyyti/dcm-imu>

Pistepilvitieto ja anturifuusio

- Inertiamittausanturit tuottavat asentotiedon ja arvion kiihtyvyydestä
 - Nykyään on saatavilla edullisia MEMS (mikro-elektro-mekaaninen järjestelmä) inertiamittalaitteita (IMU).
 - Kiihtyvyystieto on edelleen hyvin epävarmaa (tuntematon bias ja gain)
 - Kun siitä integroidaan nopeus, virheet kasaantuvat ja laitteen nopeus päätyy helposti johonkin väärään arvoon.
 - Kun tästä nopeudesta integroidaan paikka, virheet kasaantuvat entisestään.
 - Kiihtyvyystiedon kanssa voidaan tehdä samoin kuin edellisellä sivulla kulmanopeuden ja kiihtyvyyden kanssa, jos nopeudesta voidaan antaa jokin muu mittaus, jolla kiihtyvyyssmittauksen tuntematon bias voidaan poistaa.

Pistepilvitieto ja anturifuusio

- Inertiamittausanturi voidaan yhdistää laserkeilaimeen
 - *Tällöin laserkeilain mittaa ympäristön tasaisin aikavälein*
 - *Kahdesta perättäisestä mittauksesta luodaan malli*
 - Malleja verrataan ja lasketaan mallien välillä tapahtunut siirtymä.
 - Kun myös tiedetään kahden mittauksen välinen aika, voidaan tiedoista laskea mittalaitteen nopeus tällä välillä.
 - *Nopeustietoa voidaan verrata kiihtyvyyksistä integroituun nopeuteen.*
 - Näiden erotuksesta voidaan arvioida virheellisen biaksen suuruus.
 - Kun bias vähennetään tiedoista, malli tarkentuu ja myös pistepilvien välinen ero pienenee.

Pistepilvitieto ja anturifuusio



<https://youtu.be/4ANyV6fzHYI>

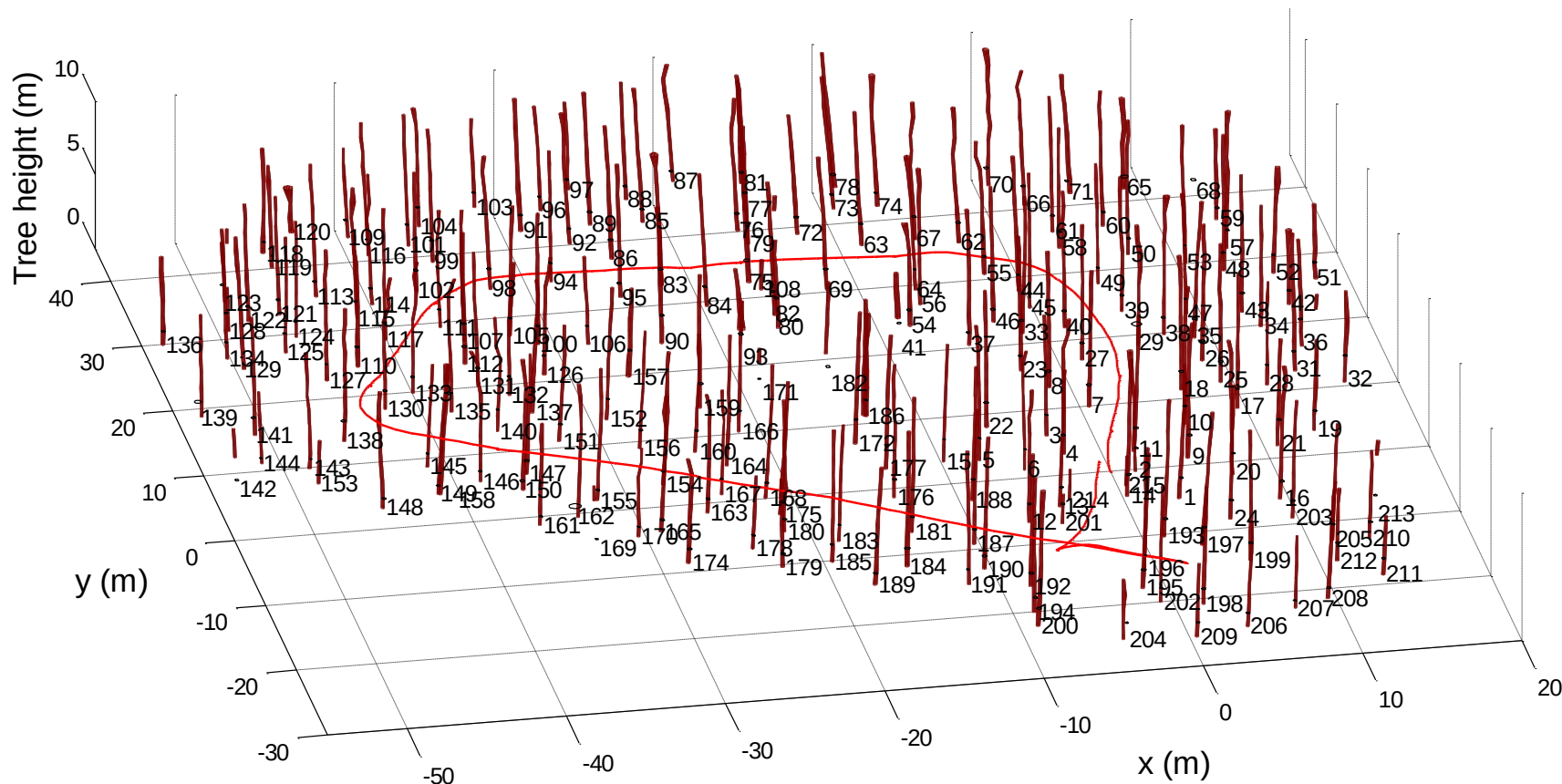
Yhtäaikainen paikannus ja kartoitus

- Vielä edellistäkin tarkempi paikka saadaan luomalla koko ajan karttaa havaitusta ympäristöstä
 - Tätä prosessia kutsutaan nimellä yhtäaikainen paikannus ja kartoitus **SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)**
 - Aallossa ensimmäinen metsäSLAM jo 2007 Forestrix projektissa [4,5].
 - Jos puut voi laserkeilata ja kartoittaa metsäkoneesta, niin oma paikka voidaan mitata puihin nähden hyvin tarkasti.
 - Samalla laitteistolla voidaan kerätä valtavat määrät pistepilvitietoa ja liittää se luotuun karttaan.
 - Tällä kartalla metsäkoneen oma paikka on hyvin tarkka.
 - Kartta voidaan kiinnittää tarkasti oikeaan paikkaan lentolaserkeilattuun puustotietoon tai tarkkoihin satelliittipaikannustietoihin nähden silloin kun niitä on saatavilla.

[4] Miettinen, M., Ohman, M., Visala, A., & Forsman, P. (2007). Simultaneous localization and mapping for forest harvesters. In Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation (pp. 517-522).

[5] Öhman, M., Miettinen, M., Kannas, K., Jutila, J., Visala, A., & Forsman, P. (2008). Tree measurement and simultaneous localization and mapping system for forest harvesters. In Field and Service Robotics (pp. 369-378).

Yhtäaikainen paikannus ja kartoitus



Puomin asennon mittaus

- Nosturin puomin mittaus on osa metsäkoneen paikan ja asennon mittausta
 - Voidaan tehdä kalliisti ja monella mittalaitteella instrumentoimalla jokainen nivel
 - Instrumentaatio tulee olla työympäristön kestävä (vesi, lumi, aurinko, kolhut, ...)
- Voidaan tehdä myös laserkeilauksen avulla
 - Samalla kun laserkeilataan ympäristöä, voidaan laserkeilata myös metsäkoneen puomin asento ja paikka
 - Sopivalla mittalaitteiden asettelulla päästään todella edulliseen ja toimivaan ratkaisuun
 - Oikealla on toteutettu 3D keilain 2D laser-skannerista ja nosturin käännöstä.



Puomin asennon mittaus



<https://youtu.be/HbIIUpbr4r4>

Automaatioasteen lisääminen



Aalto-yliopisto
Sähkötekniikan
korkeakoulu

Nosturin säätö

- Metsäkoneen puomin tarkka paikka on haastava mitata ja säätää
 - Joustavat ja kevyet rakenteet, vapaa heiluri, koneen huojuminen kumipyörillä
 - Onnistuu reaaliaikaisesti epälineaarilla malliprediktiivisellä säätimellä [6,7].
 - Metsäkoneen dynaaminen malli huomioon
 - Optimaalinen säätö tietyn mittaisella estimointihorisontilla tulevaisuuteen (muutama sekunti)
 - Työkoneen, puomin ja työkalun yhtäaikainen säätö mahdollista samanaikaisesti.



[6] Kalmari, J., Backman, J., & Visala, A. (2014). Nonlinear model predictive control of hydraulic forestry crane with automatic sway damping. *Computers and Electronics in Agriculture*, 109, 36-45.

[7] Kalmari, J. (2015). Nonlinear Model Predictive Control of a Hydraulic Forestry Crane, *Väitöskirja, Aalto-yliopisto*, <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-6325-6>

Autonomisen toiminnan demo

- **NeoSilvix** projektissa etsittiin kuusentaimia muun kasvillisuuden seasta ja perattiin automaattisesti löydettyjen taimien ympäristö



<https://youtu.be/n3xeEsscunA>

Kuljettajaa avustavat järjestelmät

- Metsäkoneen kuljettaja voisi hyötyä monella tavalla hänelle annettavasta lisätiedosta
 - Paremmat kartat, korkeusmallit ja niiden visualisointi hakkuu ja raivaustyössä
 - Ajourasuunnitelmat (mahdollisesti automaattisesti) korkeusmallien, laserkeilauksen ja kasvumallien perusteella
 - Metsäkoneen ja metsätraktorin yhteistyön parantaminen: **jaettu kartta ja työsuunnitelma** -> mittaan sahatut tukit voidaan yksilöidä ja kartoittaa
 - Ajoreittien automaattinen optimointi metsätraktorin ajoa varten, jotta kuljetettavaksi tulee oikea määrä oikeaa laatua puuta, eikä kuormasta tule liian painava
 - Vältetään pahimmat maastovauriot ja säästetään polttoainetta ja aikaa
 - Puiden yksilöinti säilyy tarvittaessa kasattavaan pinoon asti.

Kuljettajaa avustavat järjestelmät

- Saatavilla olevaa tietoa pitää pystyä esittämään kuljettajalle tehokkaasti
 - Kuljettajan aika ei saa kulua tietokoneen kanssa pelaamiseen, vaan työn on tehostuttava lisälaitteita käyttämällä
- Nykyinen karttakuva on mahdollista ottaa tehokkaampaan käyttöön
 - Karttakuvan päälle voi lisätä oleellista tietoa, jota metsäkone havaitsee ja mittaa.
 - Operatiivisen tiedon näyttäminen vaikeampaa, koska kuljettaja ei ehdi seurata näyttöä
- Uudet mahdollisuudet lisätyn todellisuuden avulla
 - Kuljettajalle voidaan näyttää hänen näkemänsä päälle ympäristöstä mitattua tietoa ja tietoa koneen tulevista liikkeistä.
 - Mahdollisuus pistepilvitiedon avulla ”röntgennäköön” yöllä ja huonolla säällä
 - Käyttöliittymästä tulee olla enemmän hyötyä kuin haittaa.

Lisätyn todellisuuden käyttöliittymä

- Haasteena kuljettajan pään asennon ja paikan mittaaminen
 - ArUco tunnisteet hytin seinillä ja laseissa tunnistetta näkevä kamera
 - Integroitu inertiamittausten kanssa, jotta nopeat liikkeet huomataan.
 - Kuljettajan näkymän päälle piirretään tarkasti kohdistetusti pistepilvitiedosta luotu malli ympäristöstä.
- Pään asennon ja paikan mittaamista ja käyttöliittymää on toteuttanut diplomityönään Tuomo Palonen [8].

[8] Palonen, T. (2016). Augmented Reality Based Human Machine Interface for Semiautonomous Work Machines, *Diplomityö, Aalto-yliopisto*, <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201611025386>

Laajennetun todellisuuden demo



<https://youtu.be/lpHIKVeKzz4>

Teollisuusesimerkki Argone Oy



Aalto-yliopisto
Sähkötekniikan
korkeakoulu

Metsän mittaussovellutuksia

Esimerkkejä Argone Oy:n julkisista metsän mittaussovellutuksista

Lisätietoja: Argone Oy – mikko.miettinen@argone.fi



Puukarttajärjestelmä

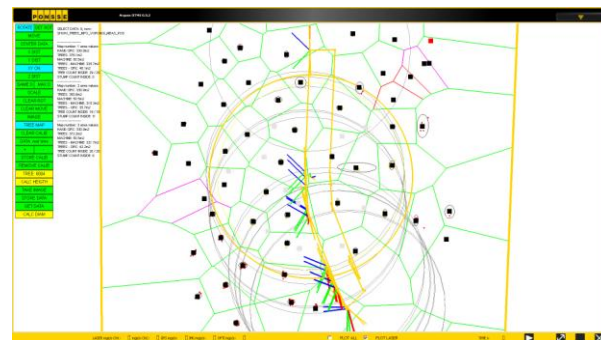
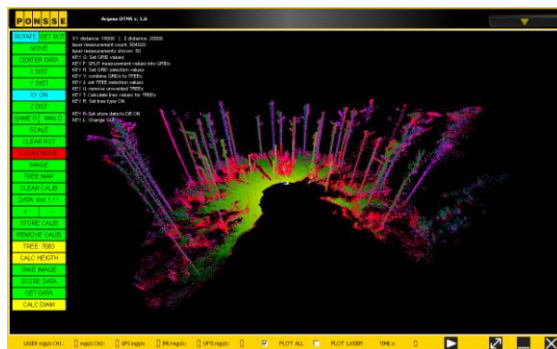
Metsäteho

Raportti [9]

Tulokalvot [10]

Esimerkkivideo

Ohjelma [11]



- [9] Melkas, T., Miettinen, M., Hämäläinen, J., & Einola, K. (2014). Puukarttajärjestelmä hakkuun tehostamisessa. Metsäteho Oy Raportti, 230, 20. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Raportti_230_Puukarttajarjestelma_hakkuun_tehostamisessa_tm_ym.pdf
- [10] Melkas, T., Miettinen, M., Hämäläinen, J., & Einola, K. (2014). Puukarttajärjestelmä hakkuun tehostamisessa. Metsäteho Oy Tulokalvosarja. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulokalvosarja_2014_01_Puukarttajarjestelma_hakkuun_tehostamisessa_tm_ym.pdf
- [11] Argone Oy (2013). Optical Tree Measurement System (OTMS). Youtube-video. <https://youtu.be/tLbWxvF9prw>

Metsän mittaussovellutuksia

Esimerkkejä Argone Oy:n julkisista metsän mittaussovellutuksista

Lisätietoja: Argone Oy – mikko.miettinen@argone.fi

Urapainumat ja
liikenopeus

Metsäteho

Tuloskalvot ^[12]

Esimerkkivideot

Ohjelma ^[13]

Ajovideo ^[14]



[12] Hämäläinen, J., Ala-ilomäki, J., Lindeman, H., Miettinen, M. (2016). Metsäkoneen urapainumat laserilla. Forest Big Data tulosseminariesitys http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Miettinen_Argone_FBD_Tulosseminaari.pdf

[13] Argone Oy (2016). Elk, ajoura 4. ajo, koealat 42,41,40. Youtube-video. <https://youtu.be/xzqbevqUBsU>

[14] Argone Oy (2016). Elk, koealat 42,41,40, mittausohjelmisto. Youtube-video. https://youtu.be/_plvHiAvh2I

A?

Aalto-yliopisto
Sähkötekniikan
korkeakoulu

Kiitos!

Heikki Hyyti
Studia Militaria 22.11.2016