



Liikkuvan maalin ilmaisu ja tunnistaminen SAR-tutkalla

Osahanke A

**MATINEn tutkimusseminaari
22.11.2018**

Juha Jylhä, Risto Vehmas, Marja Ruotsalainen, Henna Perälä, Minna Väilä
Tampereen teknillinen yliopisto
Signaalinkäsittelyn laboratorio

Hankkeelle (Osahanke A) myönnetty MATINE-rahoitus: 72 000 €

Hankkeen henkilöstö



Juha Jylhä
Projektipäällikkö

- Hankkeen vastuullinen johtaja
- Järjestelmäkehitys



Risto Vehmas
Tohtorikoulutettava
(tohtoritutkinto valmis marraskuussa 2018)

- SAR-algoritmit



Marja Ruotsalainen
Projektipäällikkö

- Tunnistusalgoritmit



Henna Perälä
Projektitutkija

- Kohteen mallinnus



Minna Väilä
Projektitutkija

- Kohteen piirteiden simulointi



Esityksen sisältö

1. Johdanto

- Yhteishankkeeksi DA-Designin kanssa
- Tutkakuvantamisen periaate
- TTY:n tutkalaitteisto
- Kenttäkokeet

2. SAR-kohteen havaitseminen

- Paikallaan olevan maalin ilmaisu
- Liikkuvan maalin ilmaisu
- Liikkuvan maalin kuvantaminen

3. SAR-kohteen tunnistaminen

- Mittauksiin perustuva kohdekirjasto
- Mallipohjainen kohdekirjasto

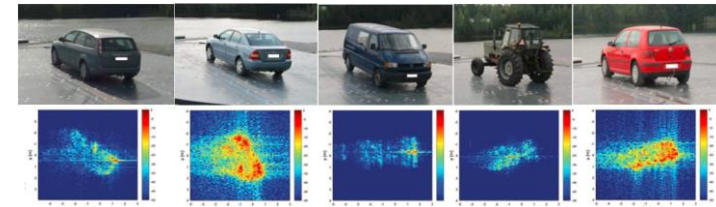
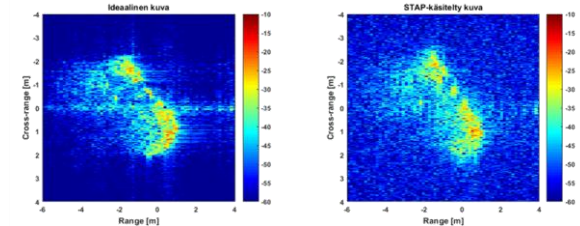
4. Yhteenveto



Johdanto

Yhteishankkeeksi DA-Designin kanssa

- Hanke aloitettiin vuonna 2017
 - Liikkuvan maalin ilmaisun ja kuvantamisen menetelmäkehitys ja testit hyödyntäen PVTUTKL:n kääntöpöydällä tehtyjä ajoneuvojen tutkimuksia ja simuloitua signaalitaustaa
 - Maalin tunnistamisen menetelmäkehitys ja testit hyödyntäen PVTUTKL:n kääntöpöydällä tehtyjä ajoneuvojen tutkimuksia
- Vuonna 2018
 - Laajennettiin yhteishankkeeksi DA-Designin kanssa → **Tavoitteen laajennos: huomioidaan SAR-järjestelmän kehityksessä nykyaikaisen tutkalaitteiston reunaehdot**
 - TTY:n osahankkeessa menetelmäkehitys ja todentaminen uudella laitteistolla ja kenttäkokeilla

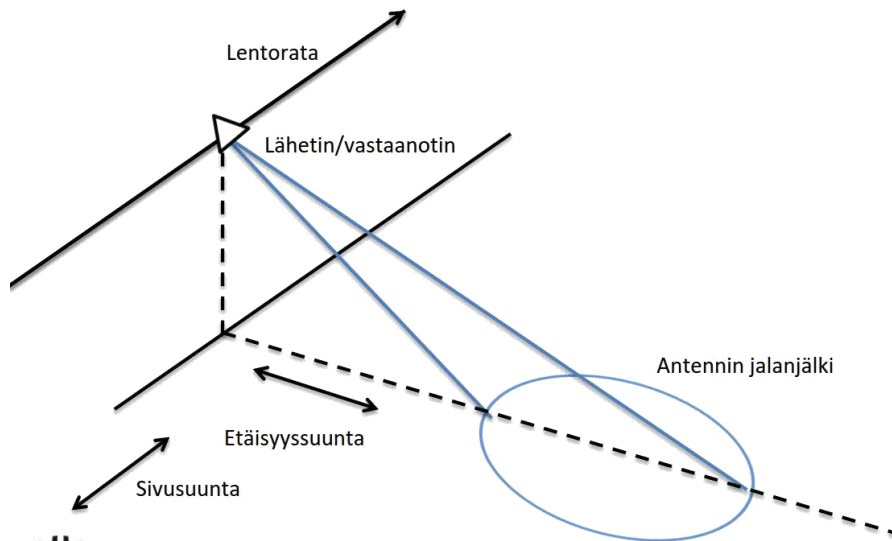


Johdanto

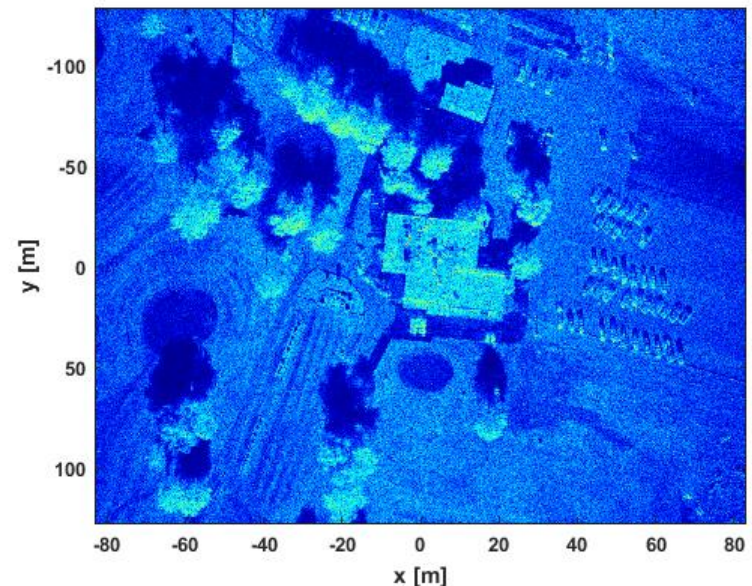
Tutkakuvantamisen periaate

- SAR (synthetic aperture radar) = synteettisen apertuurin tutka
 - Kuvantava tutkajärjestelmä, joka tuottaa korkean resoluution tutkakuvia ilmakehästä tai avaruudesta kuvattuna
- Kuva muodostetaan tyypillisesti maastosta tai mereltä, alueesta liikkuvan lavetin sivupuolella

SAR-mittauksen geometria



SAR-kuva

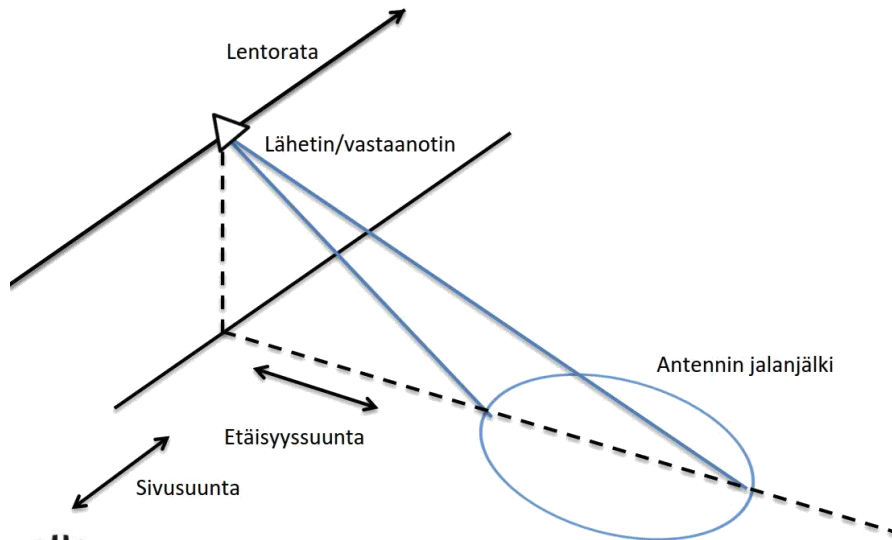


Johdanto

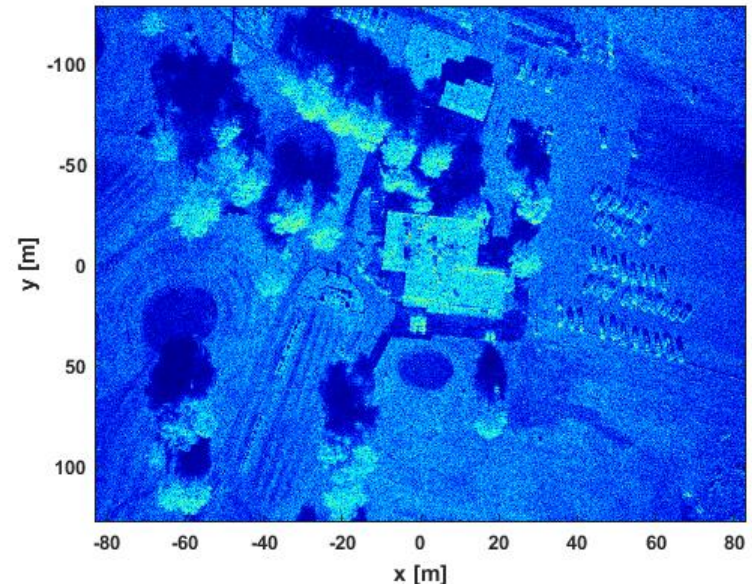
Tutkakuvantamisen periaate

- SAR toimii hyvin kaukaa ja lähes olosuhteista riippumatta (näkee läpi sateen ja sumun eikä tarvitse valoa tai lämpösäteilyä)
- Korkealla lentävä SAR näkee hyvin suuren alueen kerralla
- Ei tarvetta lentää kuvattavan alueen yli – geometrisesti ehjä kuva viistoon kuvattaessa
- Kyky havaita ja tunnistaa maastossa liikkuvat kohteet on hyvin käyttökelpoinen tiedustelussa, valvonnassa ja maalittamisessa (TVM)
- Potentiaalinen kyky havaita ja seurata maaston yläpuolella matalalla lentäviä lennokkeja

SAR-mittauksen geometria



SAR-kuva

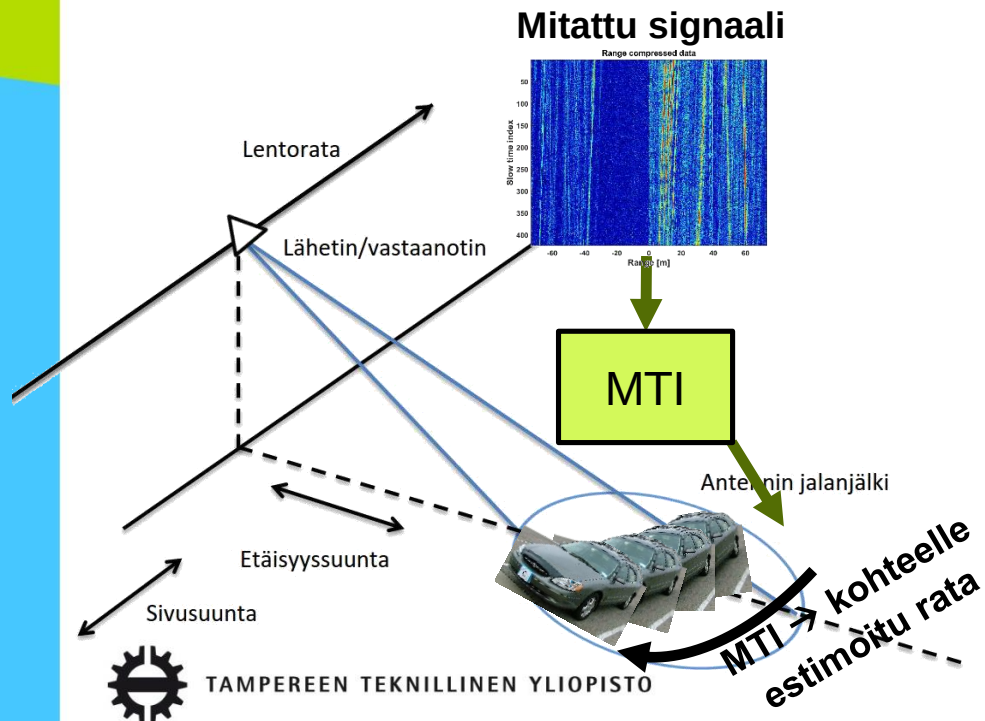


Johdanto

Tutkakuvantamisen periaate

Monikanavainen SAR-mittaus mahdollistaa maaston kuvantamisen lisäksi:

1. Liikkuvien maalien ilmaisen (MTI, Moving Target Indication)

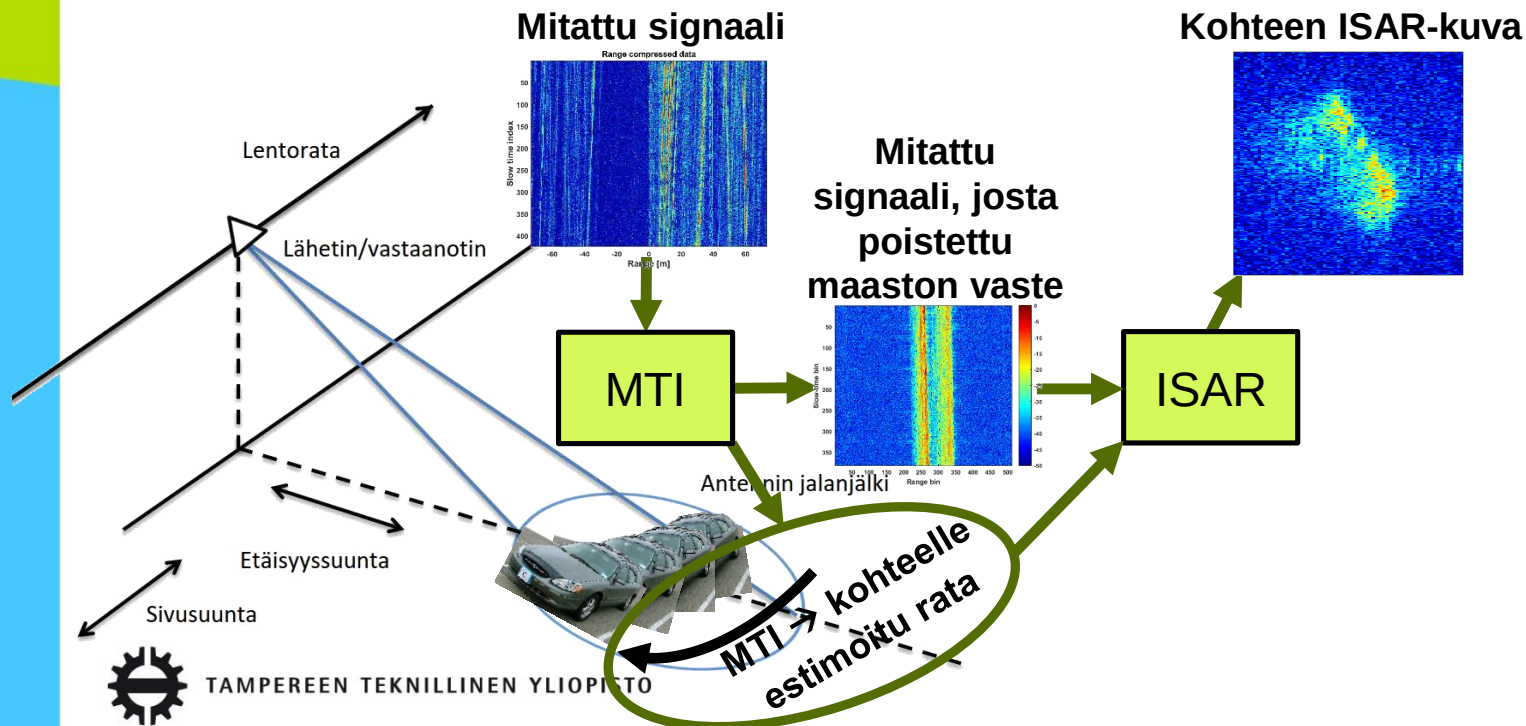


Johdanto

Tutkakuvantamisen periaate

Monikanavainen SAR-mittaus mahdollistaa maaston kuvantamisen lisäksi:

1. Liikkuvien maalien ilmaisen (MTI, Moving Target Indication)
2. Liikkuvien maalien kuvantamisen (ISAR, Inverse Synthetic Aperture Radar)

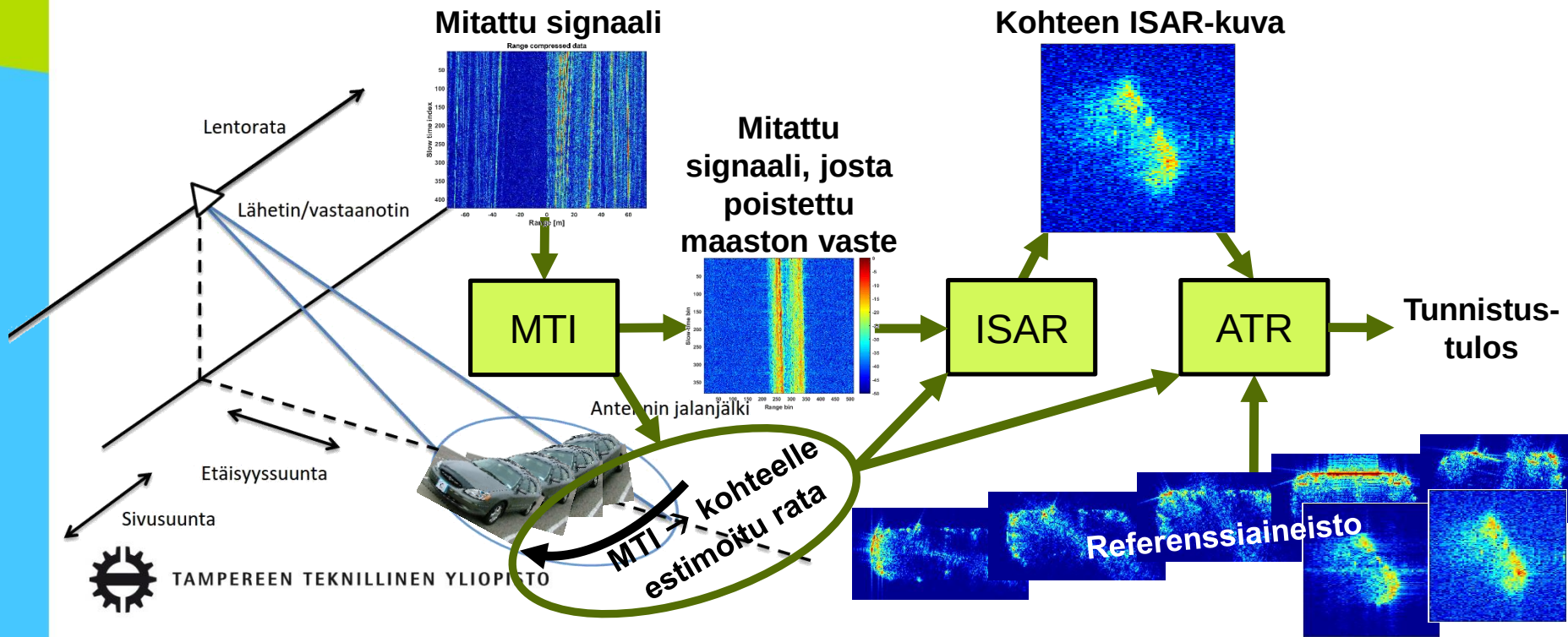


Johdanto

Tutkakuvantamisen periaate

Monikanavainen SAR-mittaus mahdollistaa maaston kuvantamisen lisäksi:

1. Liikkuvien maalien ilmaisen (MTI, Moving Target Indication)
2. Liikkuvien maalien kuvantamisen (ISAR, Inverse Synthetic Aperture Radar)
3. Liikkuvien maalien automaattitunnistamisen (ATR, Automatic Target Recognition)



Johdanto

TTY:n tutkalaitteisto

- Hankimme TTY:n investointirahoituksella alkuvuodesta 2018 kaksi monikanavaista K-kaistan ohjelmistotutkaa (SDR, software-defined radar)
- Tutkat toimivat FMCW-periaatteella (frequency-modulated continuous wave)
- Tutkien pääkäyttötarkoitus on uusien tutkakuvantamistekniikoiden sekä kohteenilmaisu- ja kohteentunnistusmenetelmien tutkiminen, kehittäminen ja todentaminen

1. Tutka 1

- Laajakaistainen $f_c = [24.000, 26.000]$ GHz $\rightarrow$ resoluutio 7,5 cm
- 1 TX ja 4 RX-kanavaa
- Hitaahko näytteiden taltiointi $\rightarrow$ kuvaa hitaasti ja vain hitaita kohteita

2. Tutka 2

- Kapeakaistainen $f_c = [23.800, 24.300]$ GHz $\rightarrow$ resoluutio 30 cm
- 1 TX ja 8 RX-kanavaa
- Nopea näytteiden taltiointi $\rightarrow$ kuvaa nopeasti ja myös nopeita kohteita



Johdanto

TTY:n tutkalaitteisto

- Tutka 1 ja torviantennit
- 2018 testit pääosin näillä



Johdanto

TTY:n tutkalaitteisto

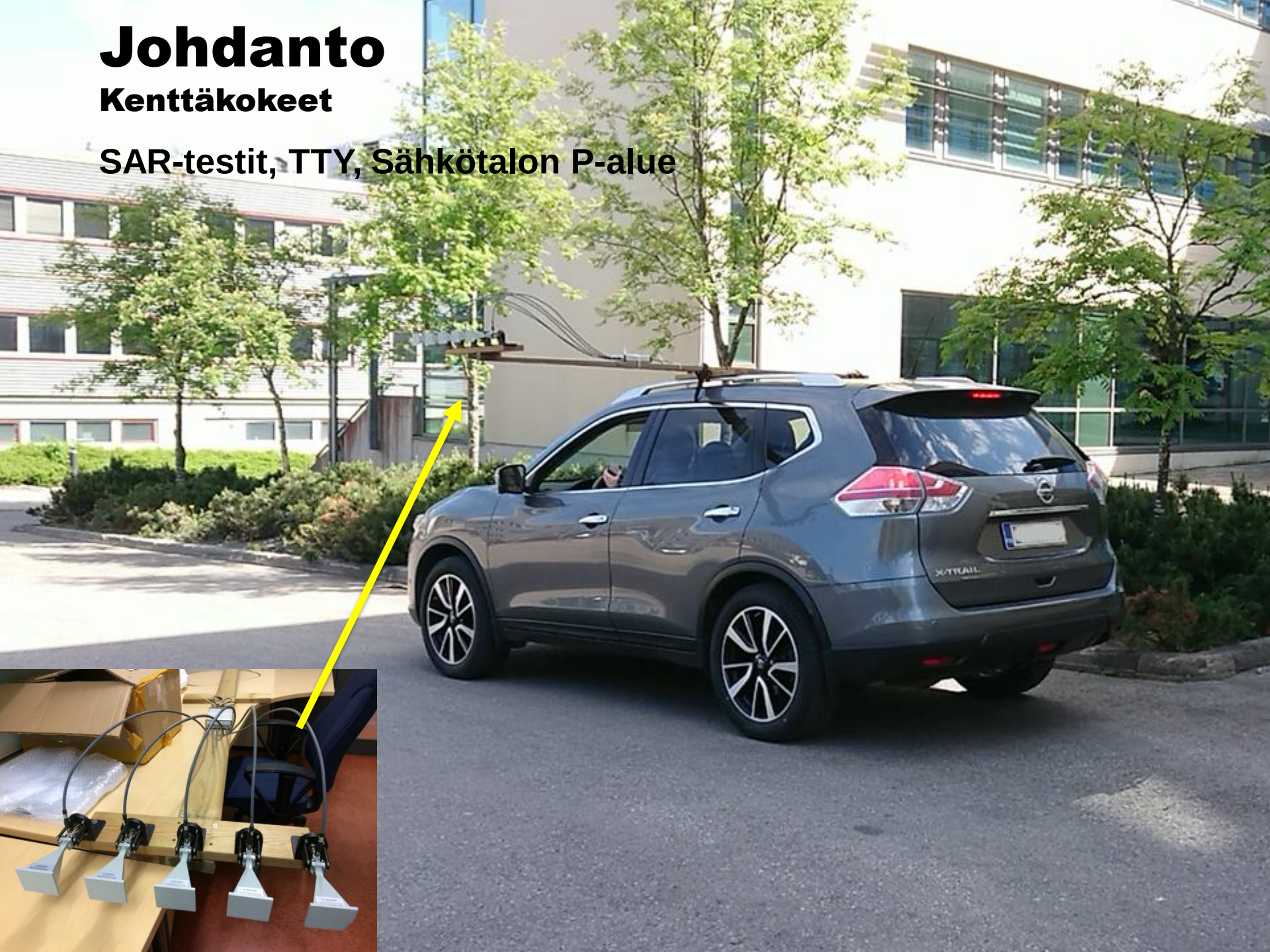
- Tutka 2
- Erityisesti MTI-testeihin
- Myös esim. maasijoitteinen UAV-havainnointitutka



Johdanto

Kenttäkokeet

SAR-testit, TTY, Sähkötalon P-alue



Johdanto

Kenttäkokeet

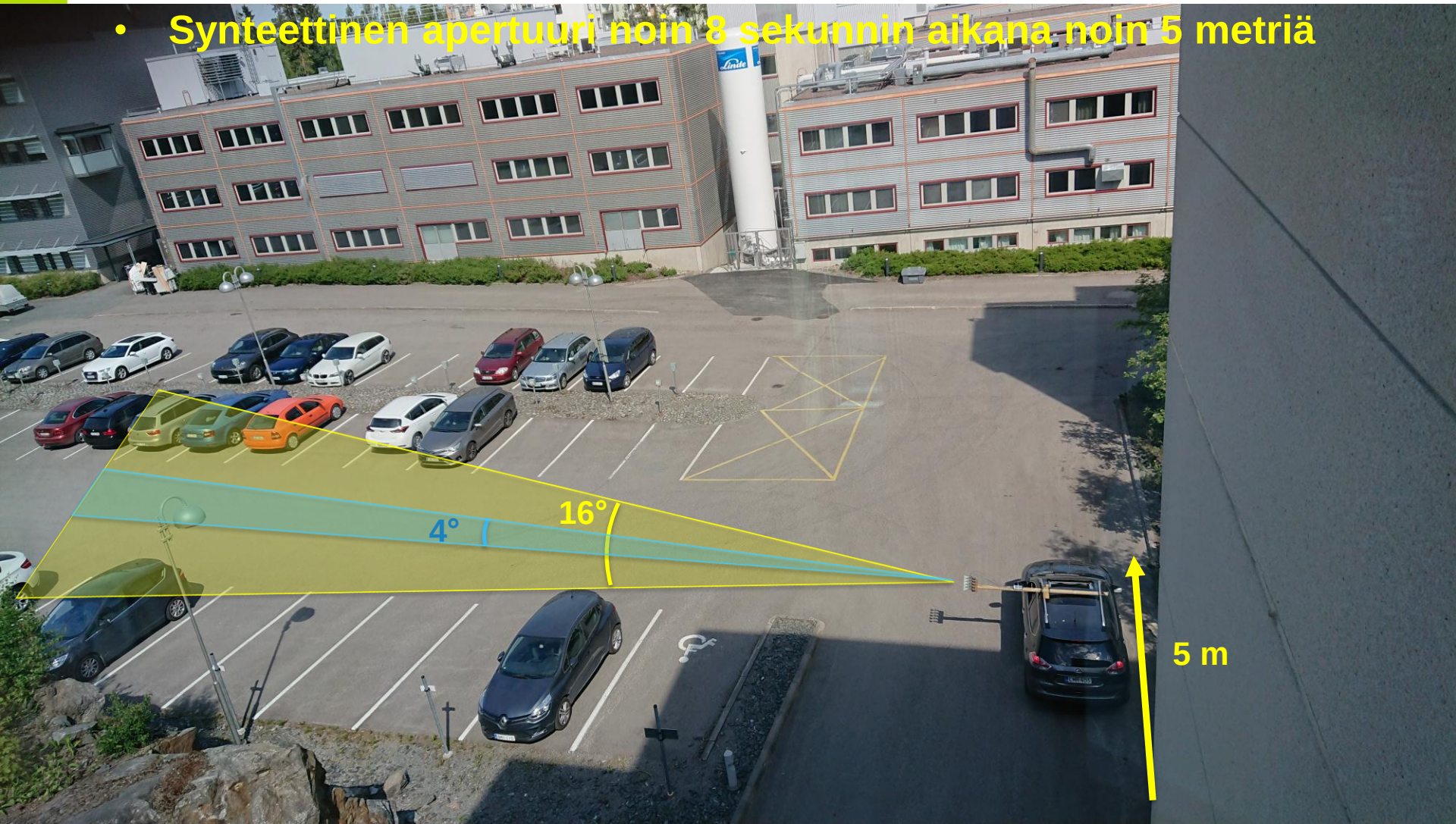
- Tutka ja antennit kiinnitetty auton kattokaiteisiin
- Tutkan käyttö USB:n välityksellä läppäriltä
- Tutkan virta auton USB:sta



Johdanto

Kenttäkokeet

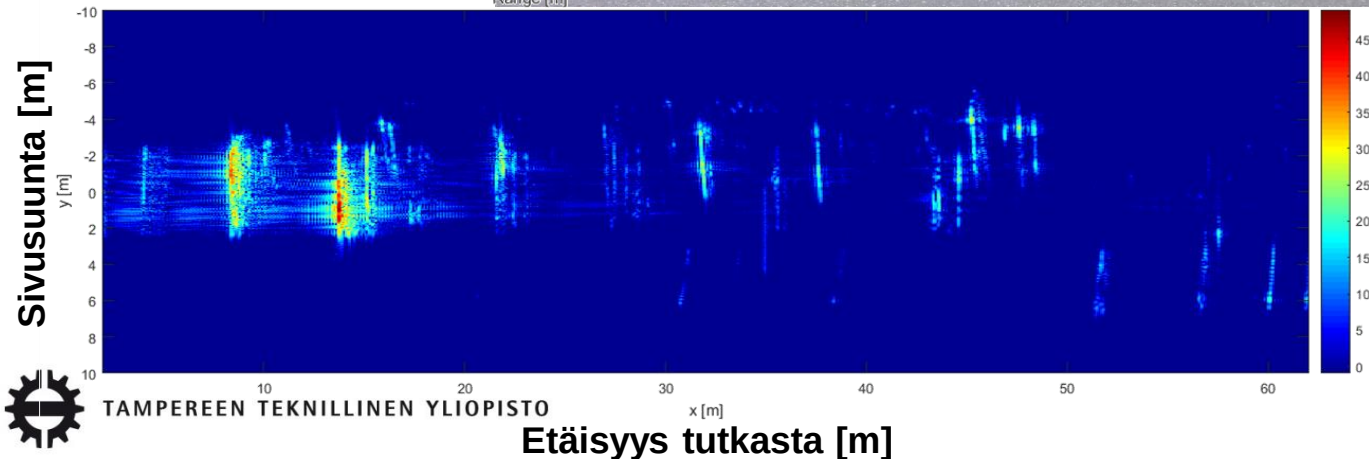
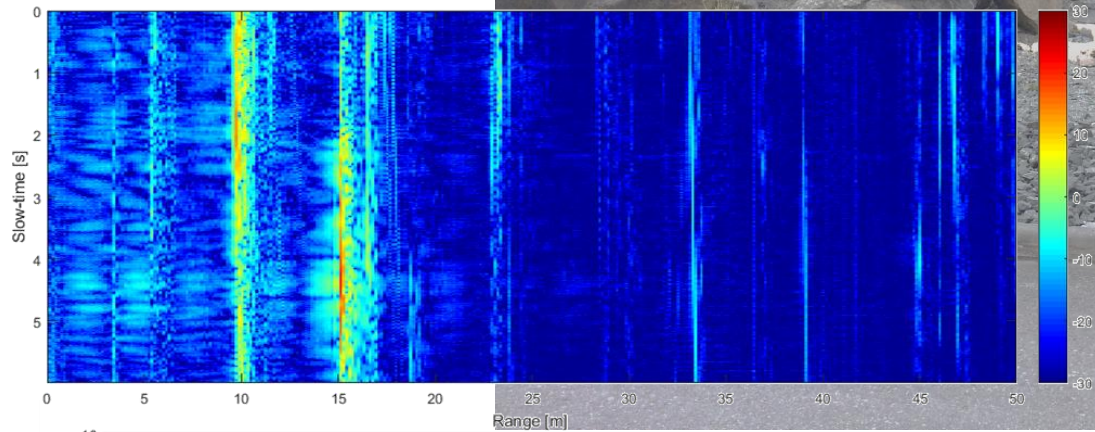
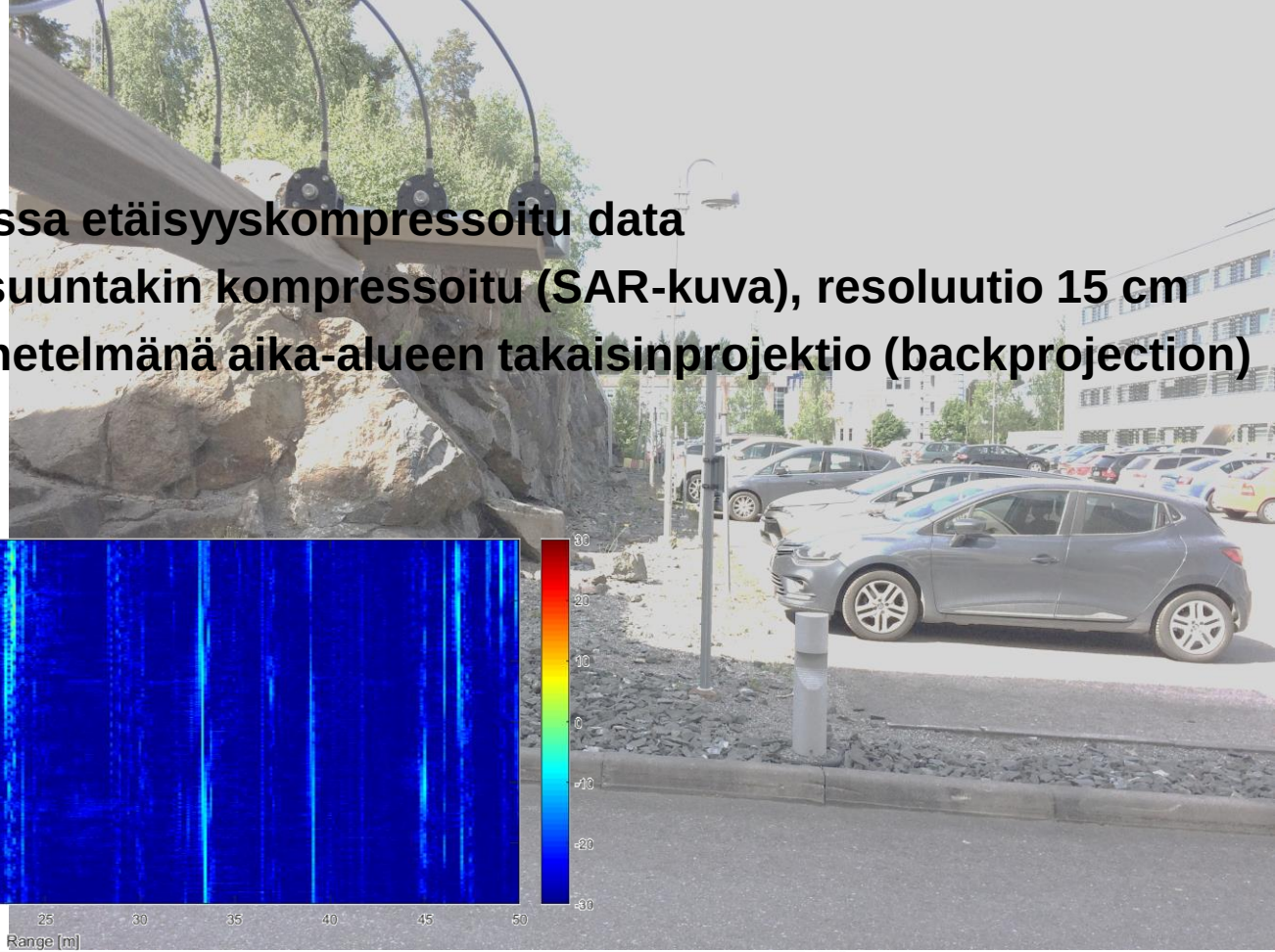
- Kuvattavalla alueella pysäköityjä autoja ja muutamia käveleviä ihmisiä
- Synteettinen apertuuri noin 8 sekunnin aikana noin 5 metriä



Johdanto

Kenttäkokeet

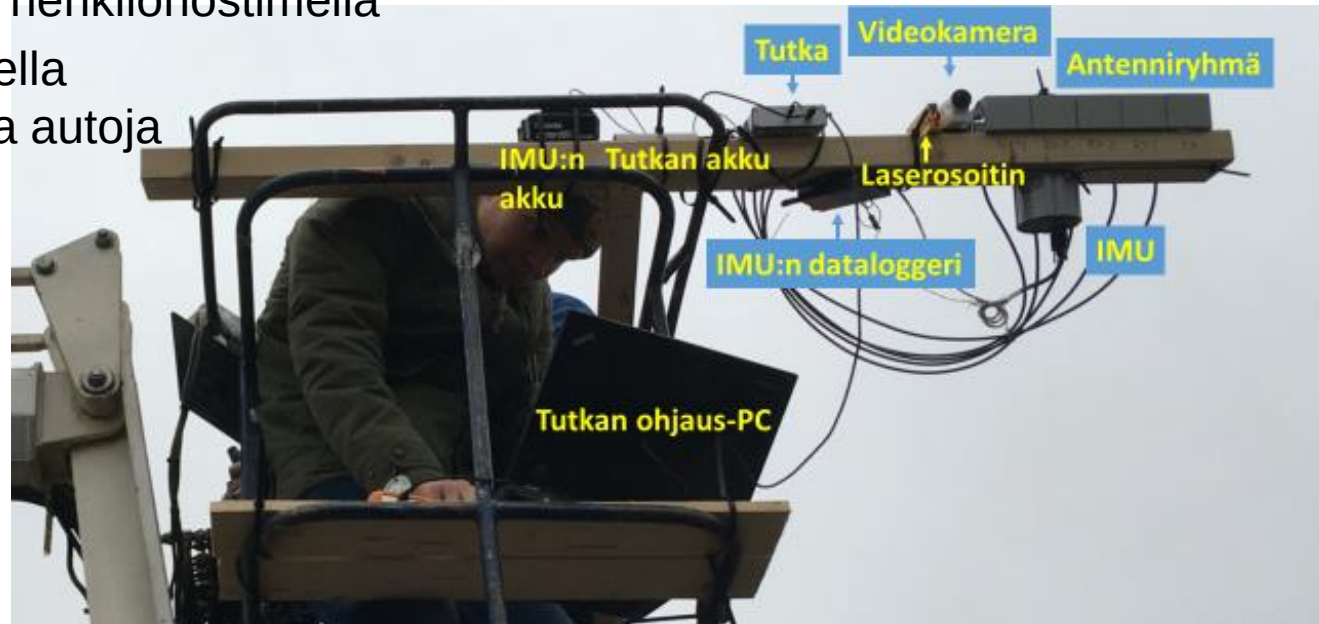
- Ylemmässä kuvassa etäisyyskompressoitu data
- Alemmassa sivusuuntakin kompressoitu (SAR-kuva), resoluutio 15 cm
- SAR-laskentamenetelmänä aika-alueen takaisinprojektiio (backprojection)



Johdanto

Kenttäkokeet

- SAR-testit, DA-Design, Forssa
- Tutkaa kuljetettiin henkilönostimella
- Kuvattavalla alueella soppiheijastimia ja autoja



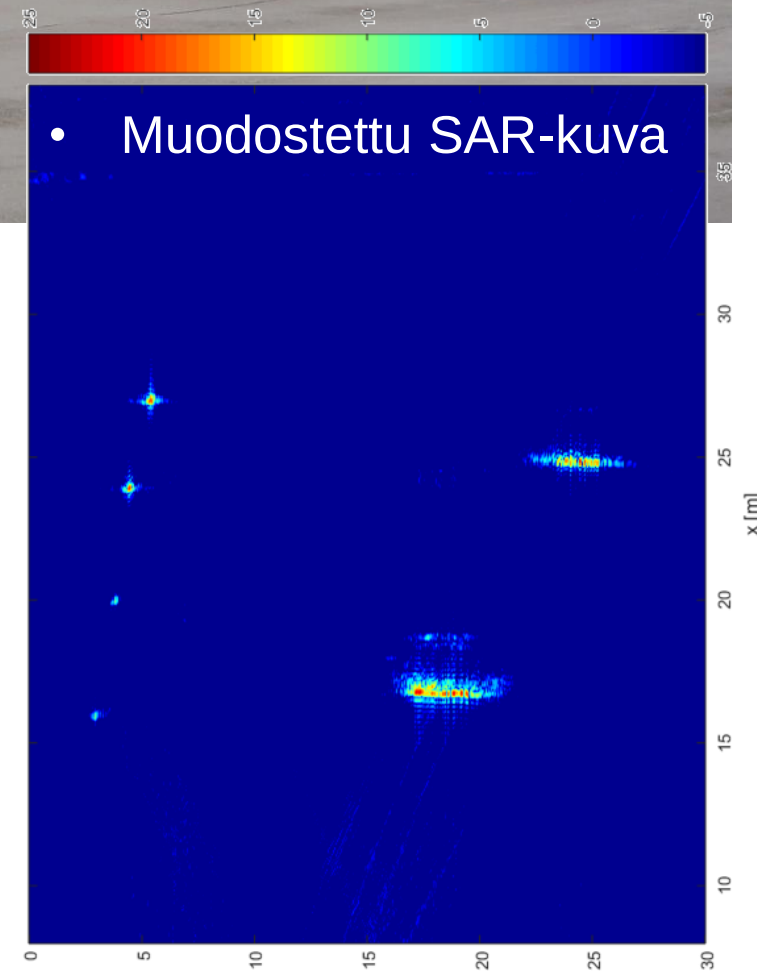
Johdanto

Kenttäkokeet

- SAR-kuvaus henkilönostimesta suoritettuna
- SAR-kuvassa näkyvät soppiheijastimet ja autojen kyljet



- Muodostettu SAR-kuva



Esityksen sisältö

1. Johdanto

- Yhteishankkeeksi DA-Designin kanssa
- Tutkakuvantamisen periaate
- TTY:n tutkalaitteisto
- Kenttäkokeet

2. SAR-kohteen havaitseminen

- Paikallaan olevan maalin ilmaisu
- Liikkuvan maalin ilmaisu
- Liikkuvan maalin kuvantaminen

3. SAR-kohteen tunnistaminen

- Mittauksiin perustuva kohdekirjasto
- Mallipohjainen kohdekirjasto

4. Yhteenveto



SAR-kohteen havaitseminen

Paikallaan olevan maalin ilmaisu

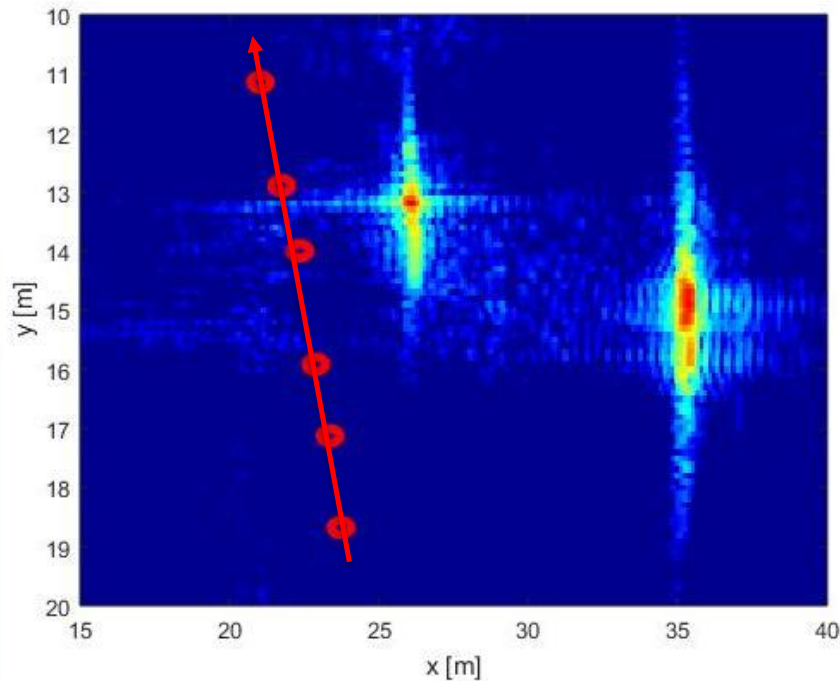
- Vaikka tässä tutkimuksessa keskityimme vain liikkuvien maalien ilmaisuun, niin myös paikallaan olevia kohteita on mahdollista ilmaista SAR-kuvasta
- Paikallaan oleva kohde on mahdollista ilmaista yksittäisestä SAR-kuvasta
 - joko täysin triviaaleissa tapauksissa, kun kohde on jollain tavoin täysin poikkeava muusta taustasta,
 - tai jos käytössä on hyvä ennakkotieto, miltä kohteen tulisi näyttää → esim. template-matching tekniikat.
- Paikallaan olevan kohde on mahdollista ilmaista vertailemalla SAR-kuvaa aiemmin samalta alueelta otettuun SAR-kuvaan, eli ilmaista muutoksia kuvien välillä



SAR-kohteen havaitseminen

Liikkuvan maalin ilmaisu

- Ilmaisu SAR-datasta perustuen sovitettuun suodatukseen ja adaptiiviseen taustavälkkeen poistamiseen (STAP, space-time-adaptive-processing)
- Ilmaisussa hyödynnetään monikanavaista antenniryhmää



Liikkuva auto
kenttämittauksessa



- Kohteen etäisyys on triviaali ratkaistava tutkan mittausdatasta
- Kohteen radiaalinen nopeus ja suunta tutkaan nähden ratkaistaan sovitettujen suotimen parametrien estimointina

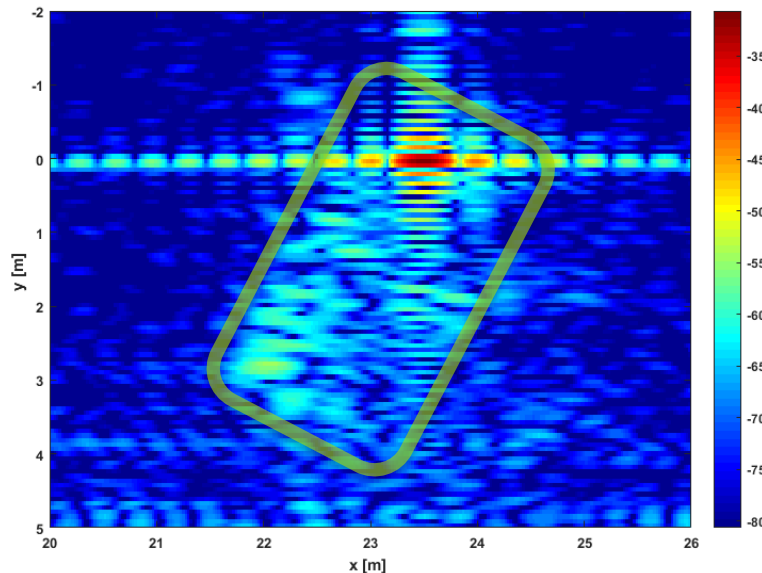
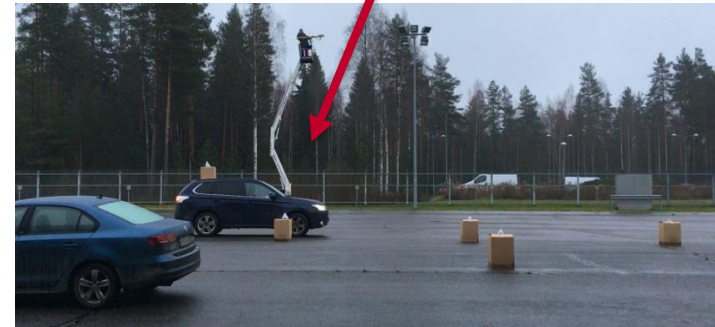


SAR-kohteen havaitseminen

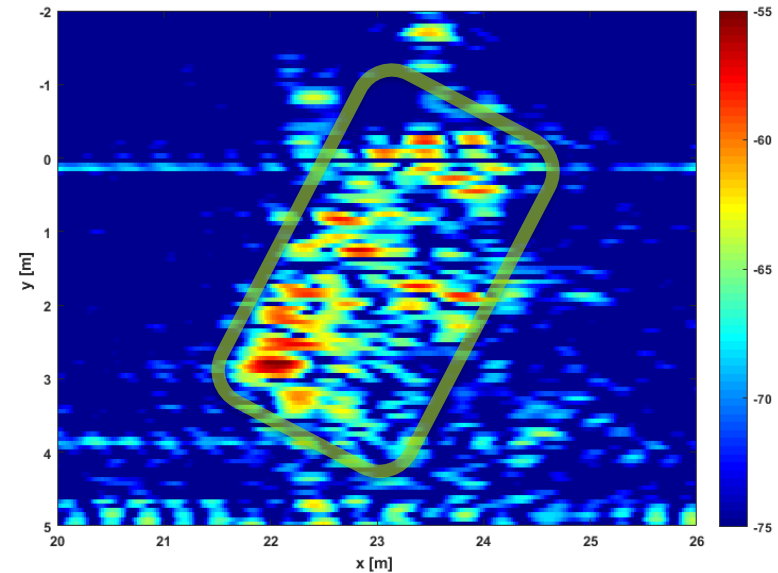
Liikkuva auto
kenttämittauksessa

Liikkuvan maalin kuvantaminen

- Liikkuvasta kohteesta lasketaan kuva käänteisellä SAR-käsittelyllä
- Alla ISAR-kuvien päällä merkattu auton hahmo suorakaiteella



ISAR-kuva autosta, jossa soppiheijastin katolla



ISAR-kuva autosta ilman soppiheijastinta



Esityksen sisältö

1. Johdanto

- Yhteishankkeeksi DA-Designin kanssa
- Tutkakuvantamisen periaate
- TTY:n tutkalaitteisto
- Kenttäkokeet

2. SAR-kohteen havaitseminen

- Paikallaan olevan maalin ilmaisu
- Liikkuvan maalin ilmaisu
- Liikkuvan maalin kuvantaminen

3. SAR-kohteen tunnistaminen

- Mittauksiin perustuva kohdekirjasto
- Mallipohjainen kohdekirjasto

4. Yhteenveto

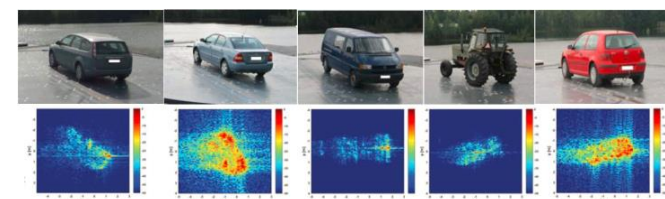


SAR-kohteen tunnistaminen

- 2017 mittauspohjainen ATR-testi (automatic target recognition)
 - Saatiin hyvä tulos käyttäen kääntöpöytämittauksia viidelle siviiliajoneuvolle, jotka haastavia tunnistettavia
 - Kohdekirjasto laadittu mittauksista
 - Testattiin a) piirrepohjaista menetelmää ja b) RCS-histogrammipohjaista menetelmää
- 2018 mallipohjainen ATR-testi
 - Tehdään vastaava testi kuin 2017, mutta käyttäen simuloitua kohdekirjastoa
 - Kohdekirjaston simulointi hyvin työlästä – kirjasto valmistui lokakuussa 2018
 - Kehitimme kohteen mallintamismenetelmää laskentatehokkaammaksi ja tuottamaan kompaktimman kuvauksen kohteesta.
 - H. Perälä, M. Väilä ja J. Jylhä, M-SPURT—Compressing the target characterization for a fast monostatic RCS simulation, International Conference on Radar 2018, julkaistaan elokuussa 2018.
 - Jatkokehitimme tunnistusmenetelmää soveltuvaksi mallipohjaiselle kirjastolle
- SAR on yksi tunnistuskomponentti
 - SAR-tunnistus on järkevää varmistaa mahdollisuuksien mukaan EO-sensorilla (VIS / IR) ja/tai laserkeilauksella



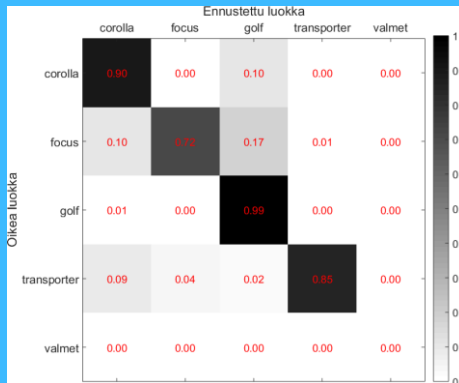
SAR-kohteen tunnistaminen



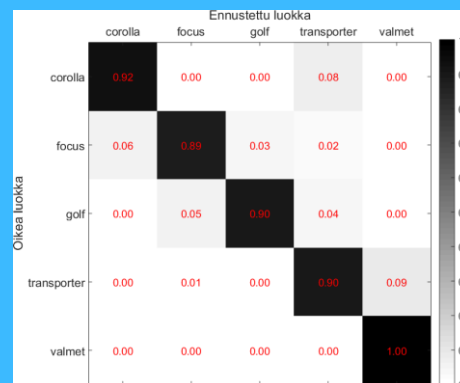
- 2018 mallipohjainen ATR-testi → mitattujen SAR-signatuurien tunnistaminen, kun referenssinä simuloituja SAR-signatuureja (S-taajuusalue, resoluutio 10 cm)
 - Totesimme ongelman hyvin haastavaksi...
 - Autot erityisen vaikeita testikohteita, koska malleissa ei läpinäkyviä ikkunoita eikä ohjaamoita...
 - Testasimme 1) RCS-histogrammeihin perustuvaa menetelmää ja 2) piirrepohjaista menetelmää

RCS-histogramminen menetelmä

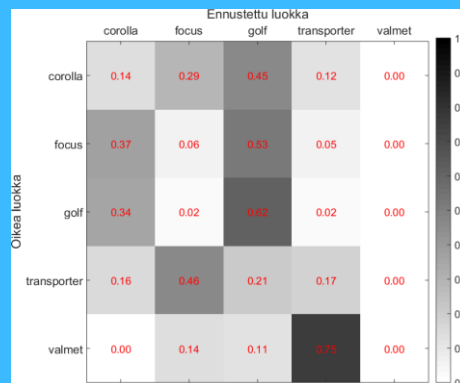
Malli vs malli



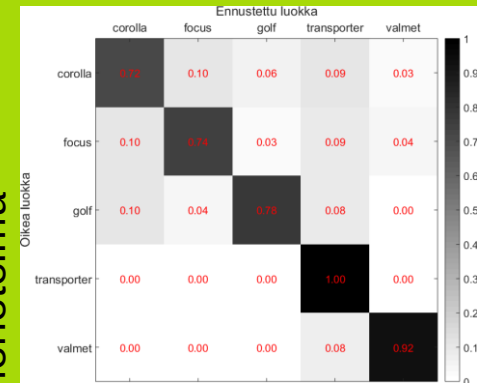
Mittaus vs mittaus



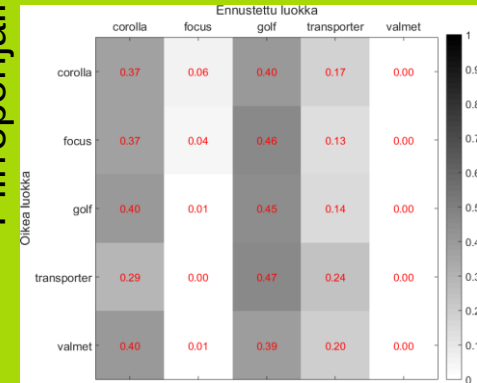
Mittaus vs malli



Mittaus vs mittaus



Mittaus vs malli



Piirrepohjainen menetelmä



Esityksen sisältö

1. Johdanto

- Yhteishankkeeksi DA-Designin kanssa
- Tutkakuvantamisen periaate
- TTY:n tutkalaitteisto
- Kenttäkokeet

2. SAR-kohteen havaitseminen

- Paikallaan olevan maalin ilmaisu
- Liikkuvan maalin ilmaisu
- Liikkuvan maalin kuvantaminen

3. SAR-kohteen tunnistaminen

- Mittauksiin perustuva kohdekirjasto
- Mallipohjainen kohdekirjasto

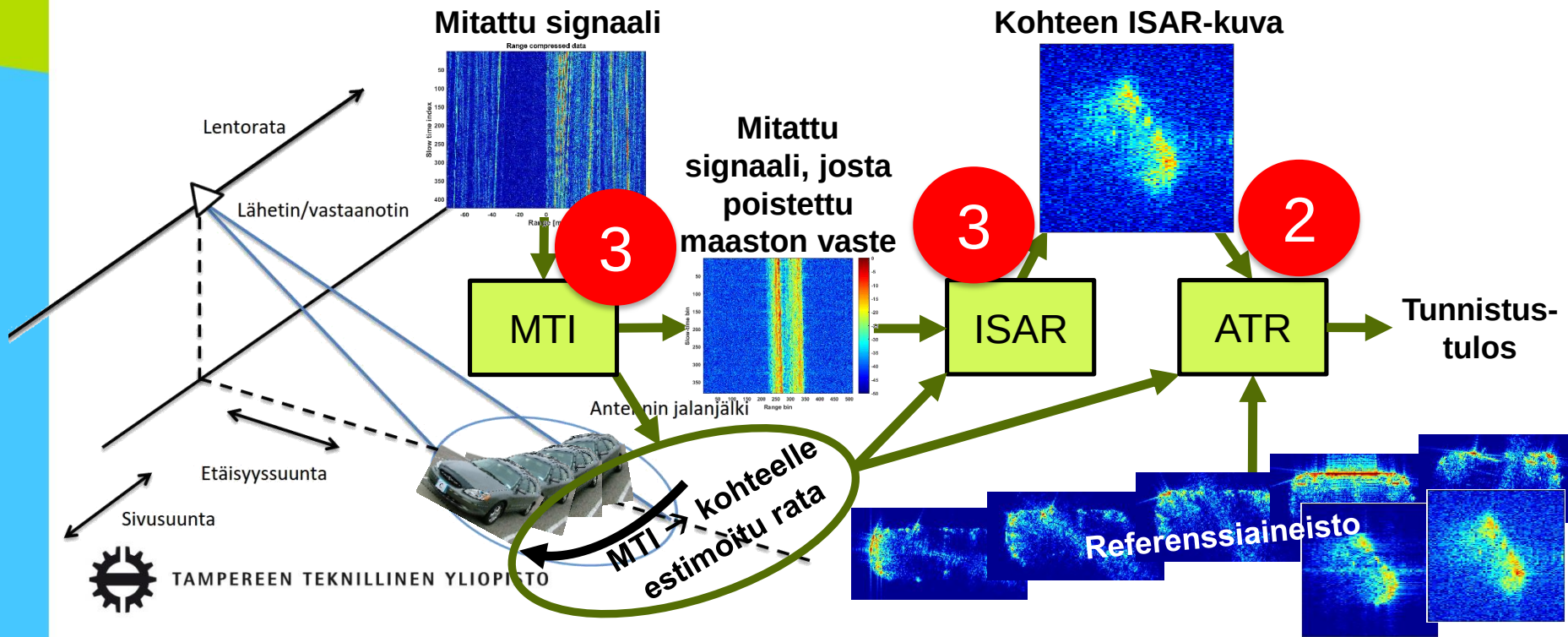
4. Yhteenveto



Yhteenveto

Arvio teknologian valmiudesta, Technology readiness level (TRL)
(yhdeksänportainen asteikko 1–9)

- Liikkuvan maalin ilmaisu (MTI, Moving Target Indication)
- Liikkuvan maalin kuvantaminen (ISAR, Inverse Synthetic Aperture Radar)
- Liikkuvan maalin automaattitunnistaminen (ATR, Automatic Target Recognition)



Yhteenveto

- Vuonna 2018 tutkimme yhteishankkeena DA-Designin kanssa FMCW-laitteiston käyttämistä lyhyen kantaman SAR-järjestelmänä
- Vuonna 2018 demonstroimme:
 1. FMCW-SAR: kuvan muodostaminen
 2. FMCW-SAR-MTI: liikkuvan maalin ilmaisu
 3. FMCW-SAR-MTI-ISAR: liikkuvan maalin kuvantaminen
 4. SAR-ATR mallipohjaisella kohdekirjastolla
- Jatkokehitysajatuksia:
 1. Maalin ilmaisen jatkokehitys
 - Paikallaan olevan maalin ilmaisu yhdestä kuvasta (poikkeaman ilmaisu)
 - Paikallaan olevan maalin ilmaisu kuvavertailulla (muutoksen ilmaisu)
 - Liikkuvan maalin ilmaisu (erityisesti lentäville kohteille)
 - Multilook-periaatteen hyödyntäminen (luotettavampi ilmaisu, pidempi seuranta)
 2. Maalin tunnistamisen jatkokehitys
 - Tunnistamisalgoritmikehitys, erityisesti mallipohjaisen kirjaston tapauksessa
 - Multilook-periaatteen hyödyntäminen (useita valaisukulmia tunnistamista varten)
 3. 3D-SAR-kuvantaminen, erityisesti liikkuvan kohteen havaitseminen puuston seasta



Hankkeeseen liittyvät julkaisumme 2018

1. R. Vehmas et al., Data-driven motion compensation techniques for noncooperative ISAR imaging, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, IEEE, vol. 54, no. 1, s. 295–314, helmikuu 2018.
2. R. Vehmas et al., Algorithms for target ISAR signature reconstruction, *3rd Meeting of NATO SET-RTG-251 “Ship radar signature management – benefit to ships”*, toukokuu 2018.
3. R. Vehmas ja J. Jylhä, A contrast optimization algorithm for back-projection image reconstruction in noncooperative ISAR imaging, *2018 European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR)*, IEEE, kesäkuu 2018.
4. H. Perälä, M. Väilä ja J. Jylhä, M-SPURT—Compressing the target characterization for a fast monostatic RCS simulation, *International Conference on Radar 2018*, elokuu 2018.
5. R. Vehmas, *Computational algorithms for improved synthetic aperture radar image focusing*, Väitöskirja, Tampereen teknillinen yliopisto, lokakuu 2018.



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

TTY → Tampereen yliopisto, 2019–

