



Liikkuvan maalin ilmaisu ja tunnistaminen SAR-tutkalla

MATINE:n tutkimusseminaari
16.11.2017

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

Hankkeelle myönnetty MATINE-rahoitus: 60 000 €

Esityksen sisältö

1. Johdanto

- Tutkakuvantamisen periaate
- Liikkuvan maalin ilmaisu, kuvantaminen ja tunnistaminen

2. Liikkuvan maalin ilmaisu ja kuvantaminen

- Algoritmikehitys, testit ja tulokset

3. Liikkuvan maalin tunnistaminen

- Tunnistusperiaate ja suoritettut tarkastelut

4. Jatkotoimenpiteet ja yhteenveto

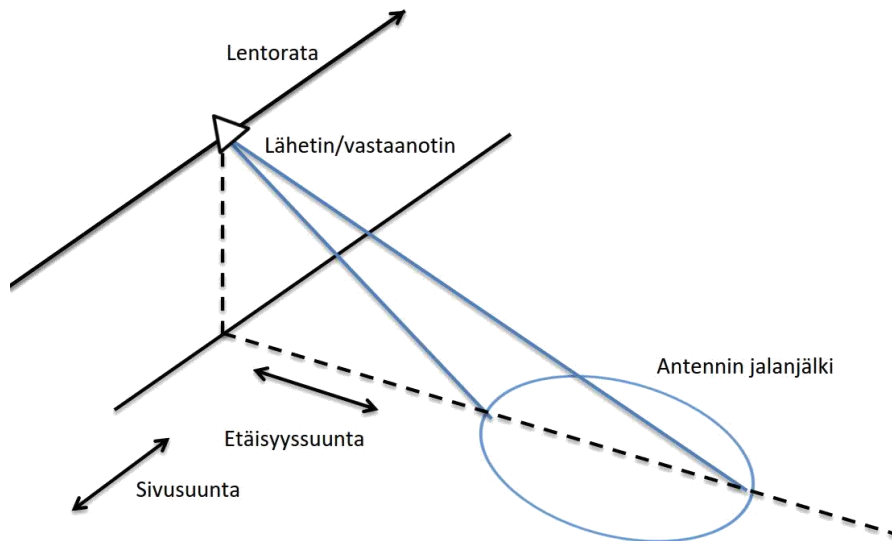
- Lyhyen kantaman demonstraatiolaitteiston hankinta
- MATINE-hakemus vuodelle 2018



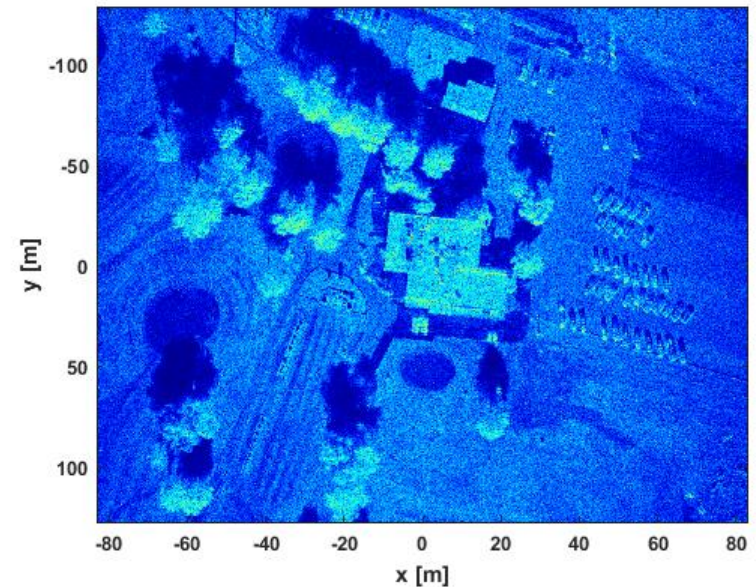
Johdanto: SAR-kuvantaminen

- 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



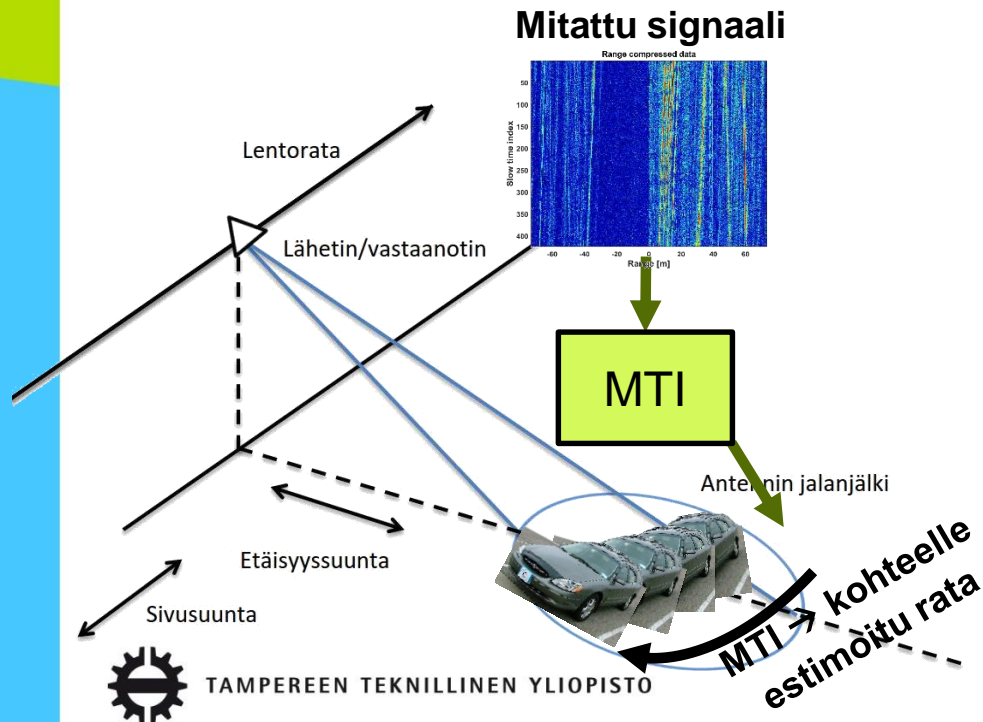
SAR-kuva



Johdanto: Ilmaisuu

Monikanavainen SAR-mittaus mahdollistaa maaston kuvantamisen lisäksi:

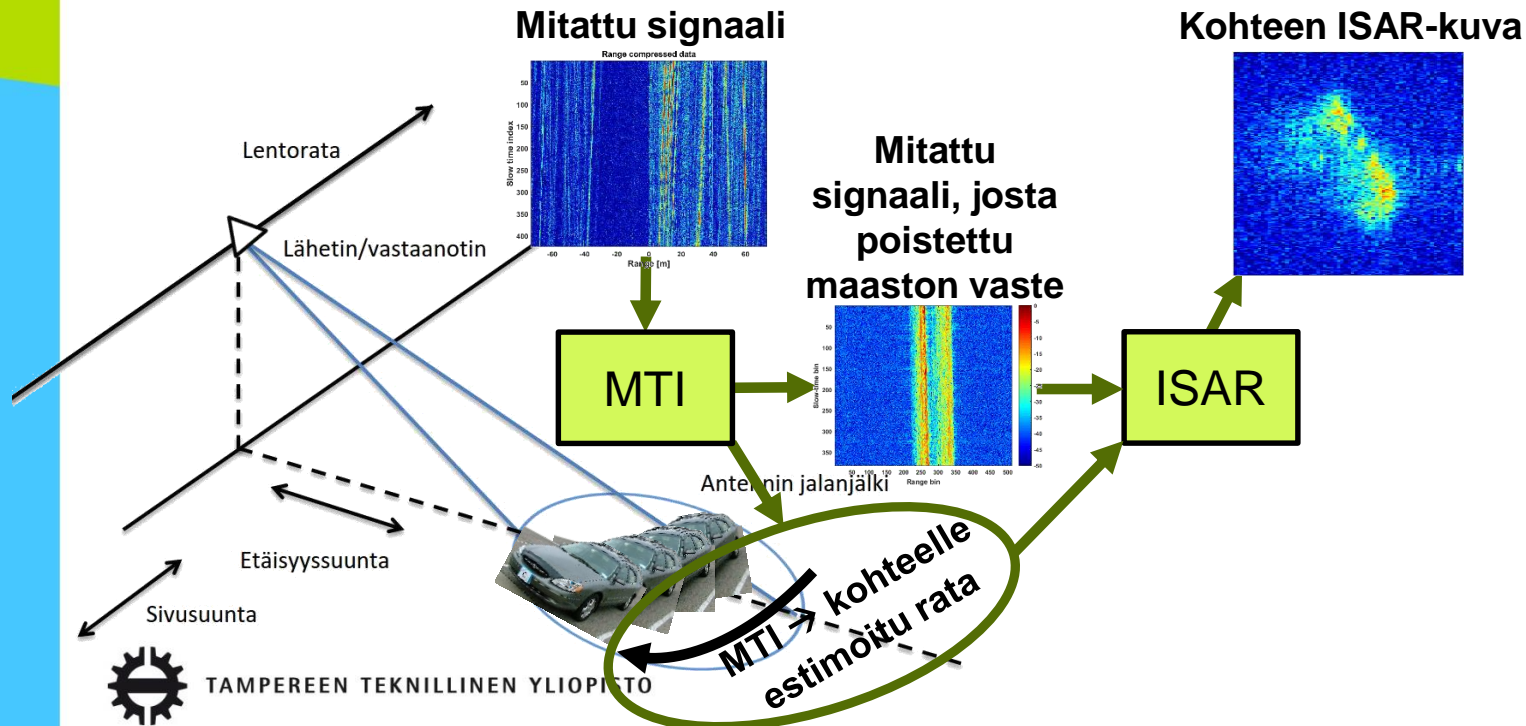
- Liikkuvien maalien ilmaisuuden (MTI, Moving Target Indication)



Johdanto: Ilmaisu + Kuvantaminen

Monikanavainen SAR-mittaus mahdollistaa maaston kuvantamisen lisäksi:

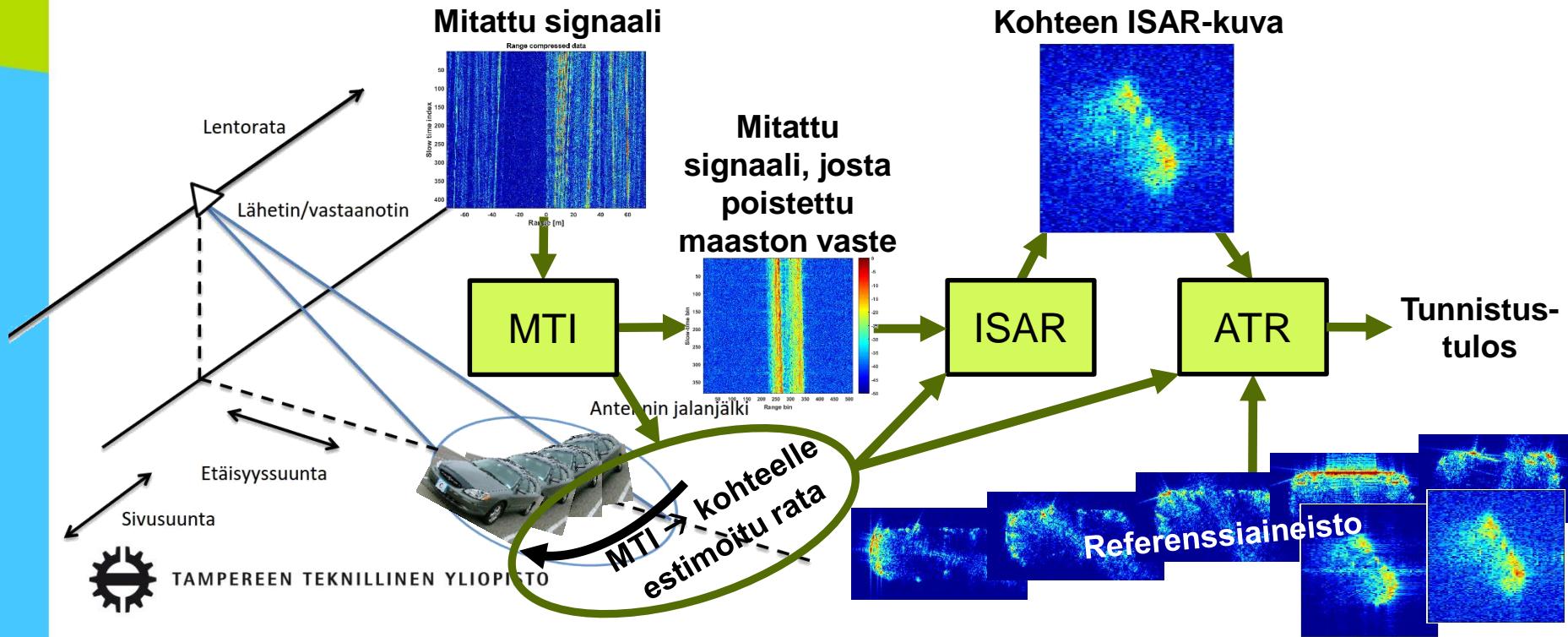
- Liikkuvien maalien ilmaisuuden (MTI, Moving Target Indication)
- Liikkuvien maalien kuvantamisen (ISAR, Inverse Synthetic Aperture Radar)



Johdanto: Ilmaisu + Kuvantaminen + Tunnistaminen

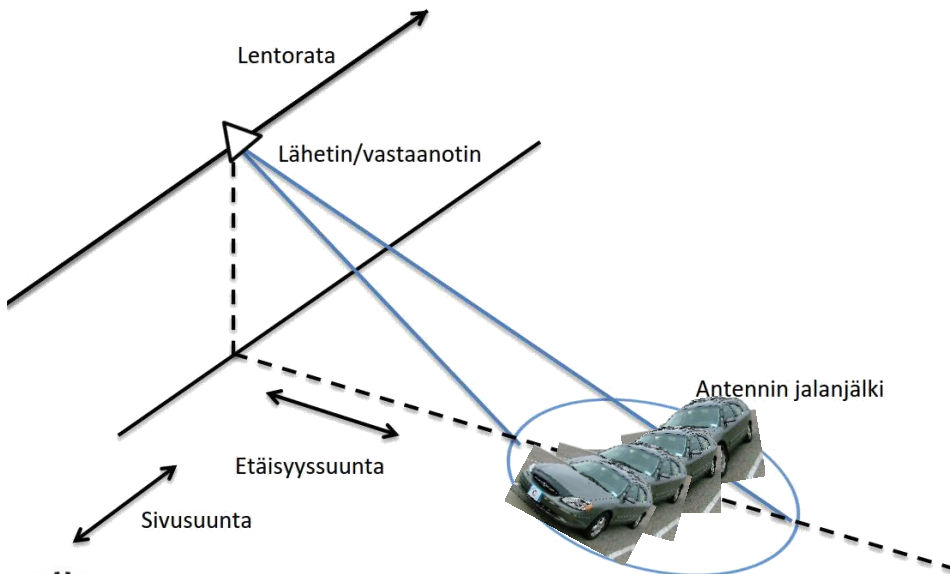
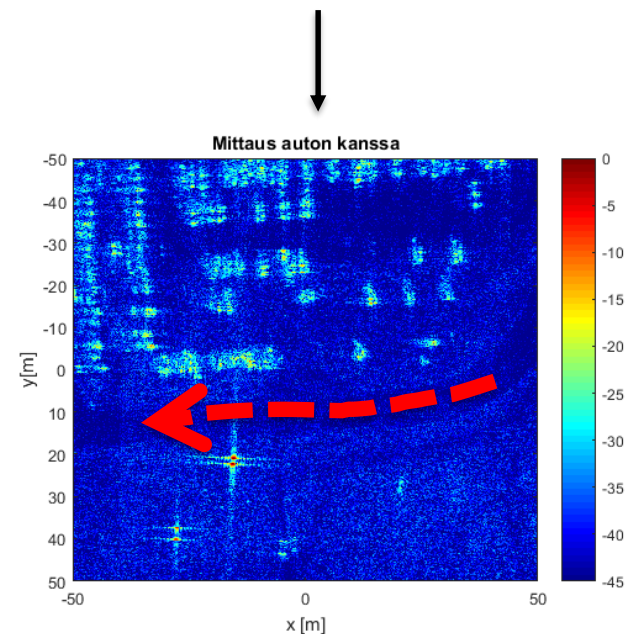
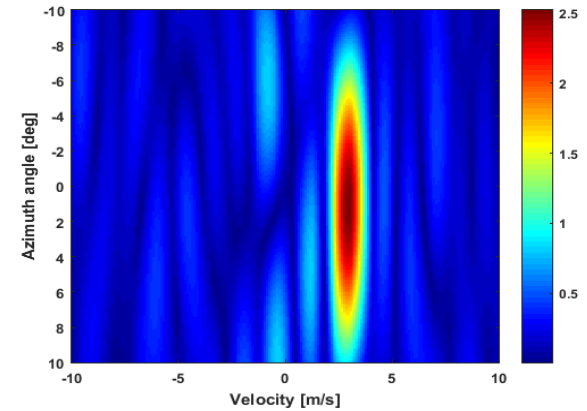
Monikanavainen SAR-mittaus mahdollistaa maaston kuvantamisen lisäksi:

- Liikkuvien maalien ilmaisuuden (MTI, Moving Target Indication)
- Liikkuvien maalien kuvantamisen (ISAR, Inverse Synthetic Aperture Radar)
- Liikkuvien maalien automaattitunnistamisen (ATR, Automatic Target Recognition)



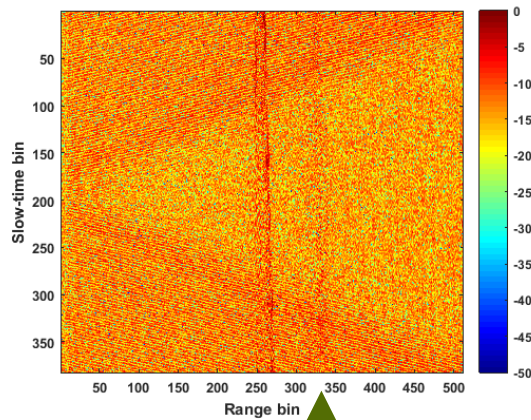
Ilmaisu + Kuvantaminen + Tunnistaminen

- Mittausalueella liikkuva maali ei kuvaudu oikein tavanomaisella SAR-käsittelyllä → Maalin liiketilasta riippuen vaste siirtyy kuvassa virheelliseen paikkaan ja/tai leviää ympäristöönsä
- Ilmaisu suoritetaan ilmaisuteoriaan perustuvalla kynnykestillä → tuloksena saadaan kohteen nopeus ja suunta tutkan antenniryhmään nähden



Ilmaisu + Kuvantaminen + Tunnistaminen

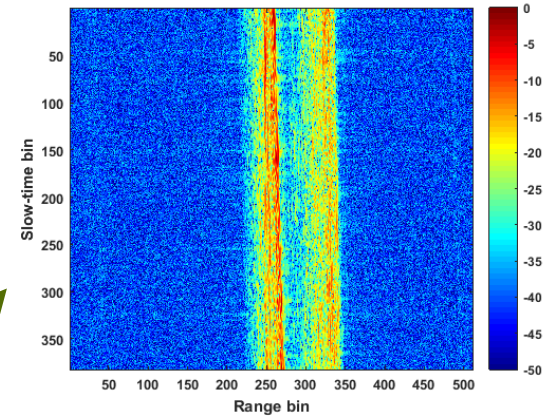
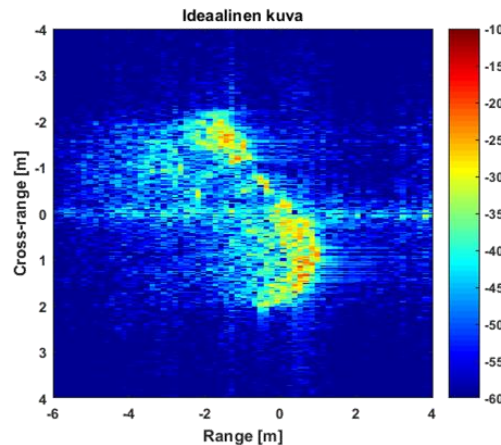
- Kohteesta on mahdollista laskea tarkka kuva estimoimalla tarkasti kohteen ja tutkan välinen suhteellinen liike
- Kuvan laskentaa varten maaston aiheuttama taustasignaali on suodatettava pois
- Ilmaisun ja kuvantamisen menetelmä on kehitetty, mutta testattu vasta mitatulla kohteella ja simuloidulla keinoitekoista maastoa kuvaavalla taustasignaalilla



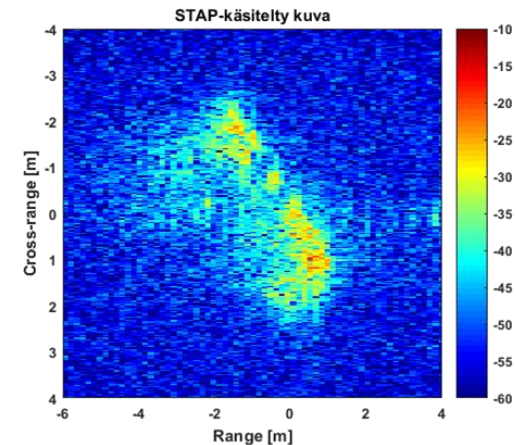
Mitattu kohde johon
summattu **simuloitu** tausta



Ilmaisu ja
signaalitaustan
suodatus

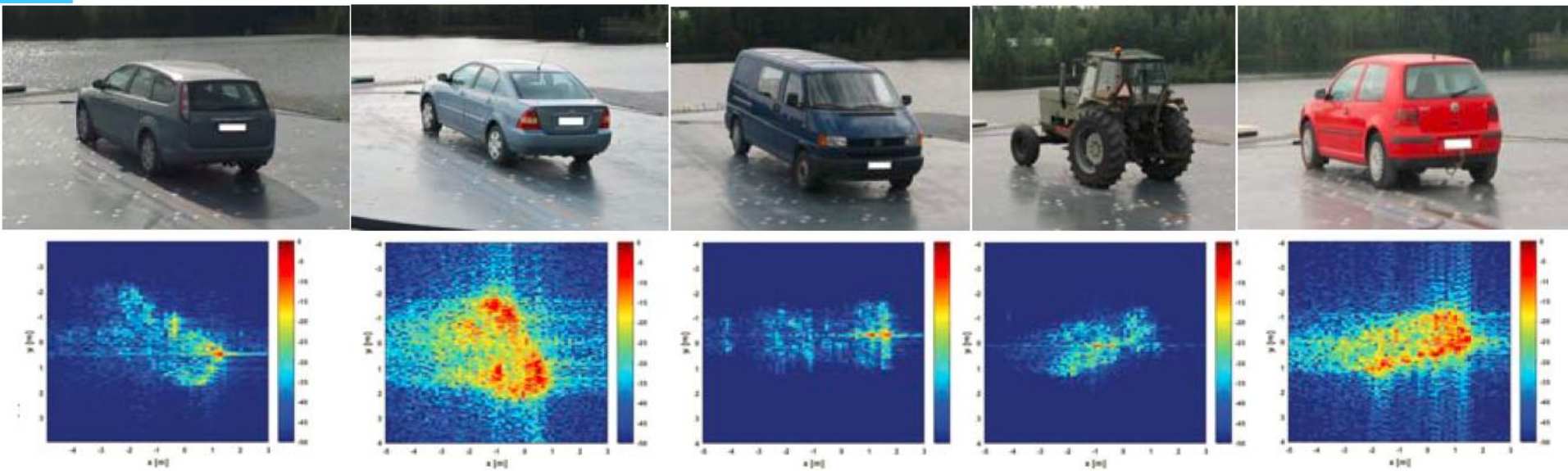


ISAR-
kuvanmuodostus-
algoritmi



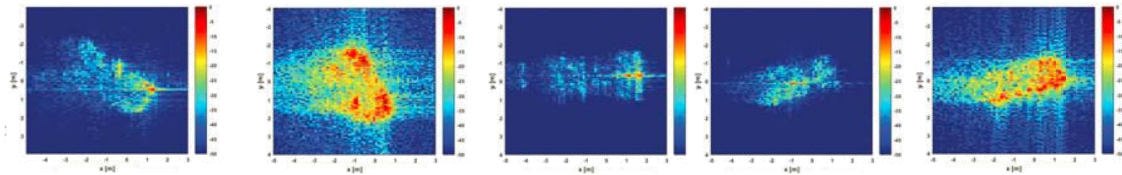
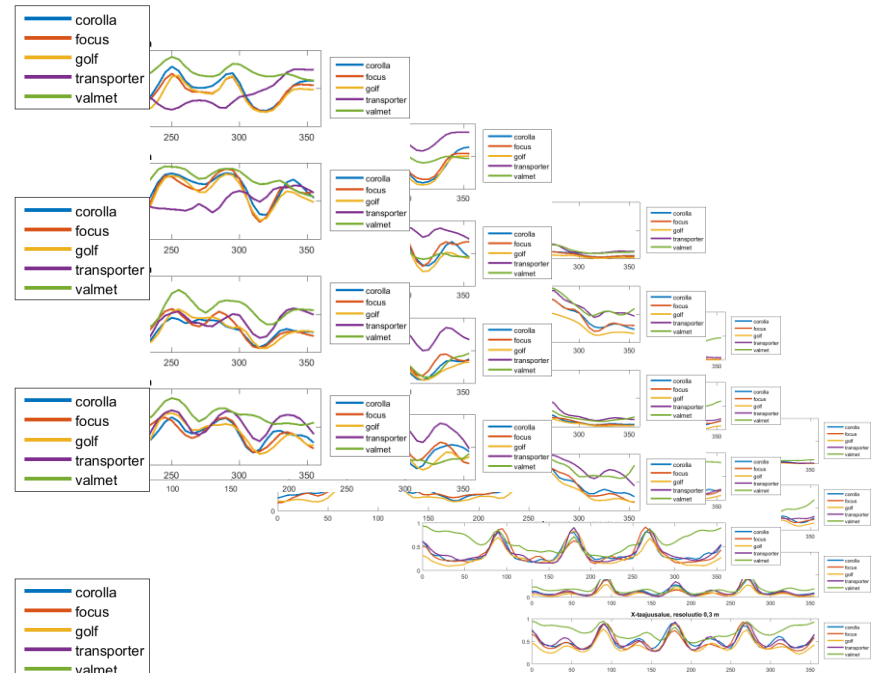
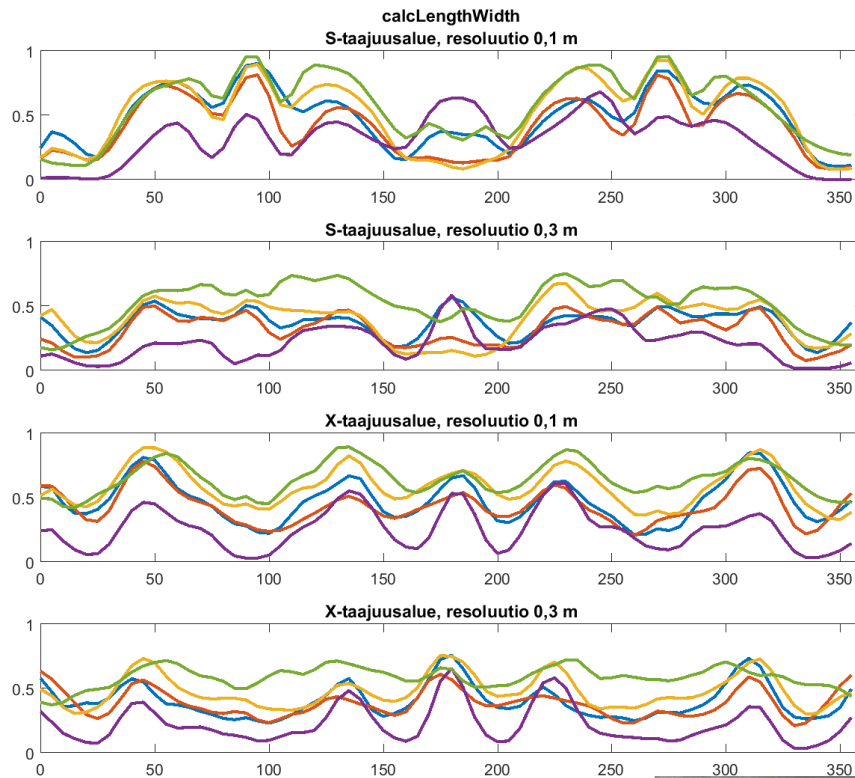
Ilmaisu + Kuvantaminen + Tunnistaminen

- Kohde tunnistetaan hyödyntäen muodostettua ISAR-kuvaa
- Tunnistamisen tutkimusmenetelmä vuonna 2017:
 - Tarkoituksemme on edetä mallipohjaiseen SAR-kuvien tunnistamisen tarkasteluun, mutta SAR-kohdekirjasto on äärimmäisen hidas simuloitava. Jatkamme mallipohjaisen tarkastelun kanssa vuonna 2018.
 - Vuonna 2017 testasimme viiden mitatun kohteen SAR-kuvien eroavuutta ja luokiteltavuutta. Suppea määrä kohteita...
 - Kääntöpöydällä mitattu data S- ja X-alueelta resoluutioilla 10 cm ja 30 cm. Elevaatiot 0...10, atsimuutit -180...180. Hyvä määrä dataa...



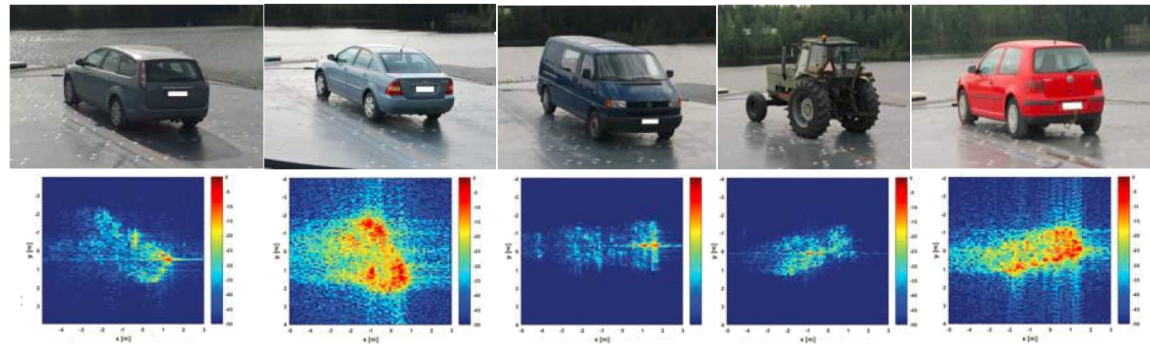
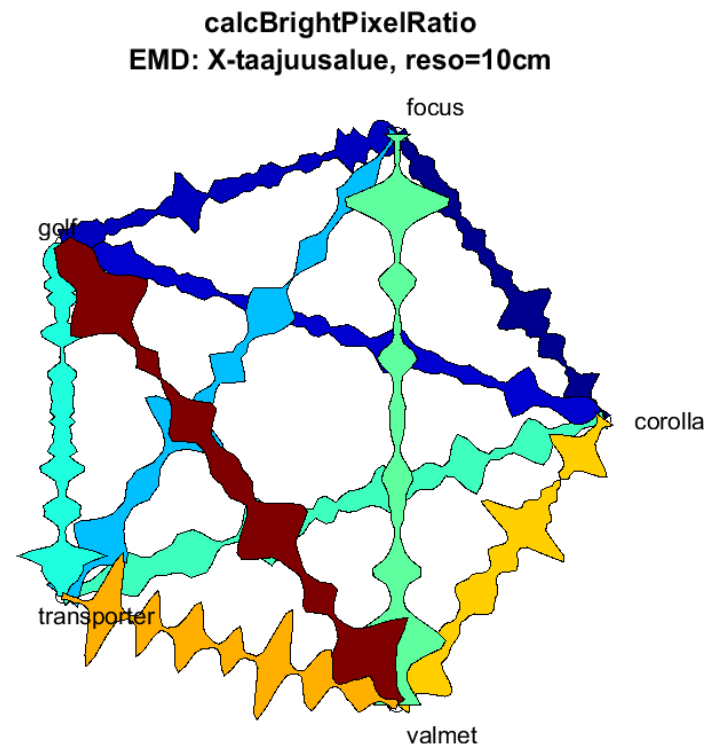
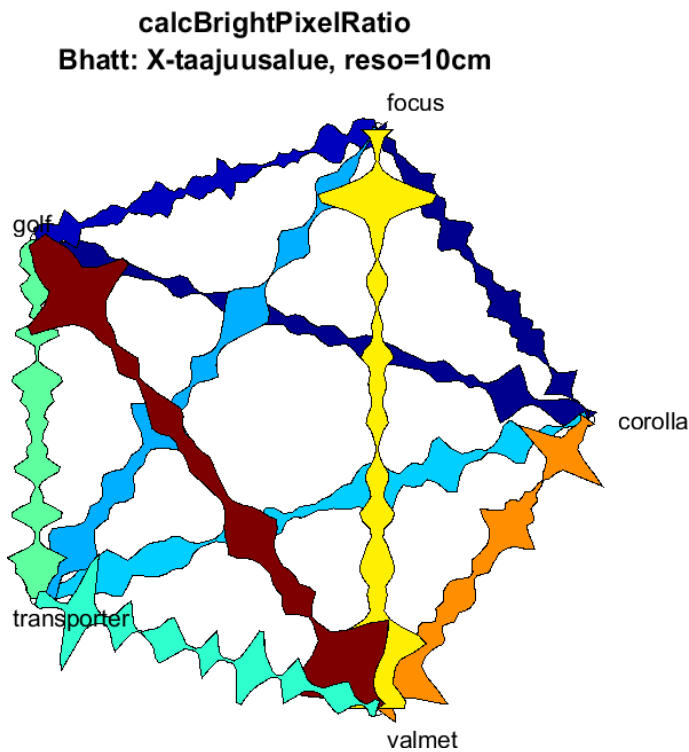
Ilmaisu + Kuvantaminen + Tunnistaminen

- Toteutimme piirreanalyysin viiden kohteen mittausdataan perustuen
- Tarkastelimme 14 erilaista kirjallisuuden ehdottamaa SAR-kuvan piirrettä



Ilmaisu + Kuvantaminen + Tunnistaminen

- Toteutimme piirreanalyysin viiden kohteen mittausdataan perustuen
- Tarkastelimme 14 erilaista kirjallisuuden ehdottamaa SAR-kuvan piirrettä



Ilmaisu + Kuvantaminen + Tunnistaminen

- Toteutimme piirreanalyysin viiden kohteen mittausdataan perustuen
- Tarkastelimme 14 erilaista kirjallisuuden ehdottamaa SAR-kuvan piirrettä

Luokitustuloksia Golfille X-taajuusalueella, resoluutiolla 0,1 m:

Heading-virhe 0°

$P_{class} \rightarrow corolla$	0.0 %
$P_{class} \rightarrow focus$	2.9 %
<u>$P_{class} \rightarrow golf$</u>	<u>92.9 %</u>
$P_{class} \rightarrow transporter$	0.0 %
$P_{class} \rightarrow valmet$	4.3 %

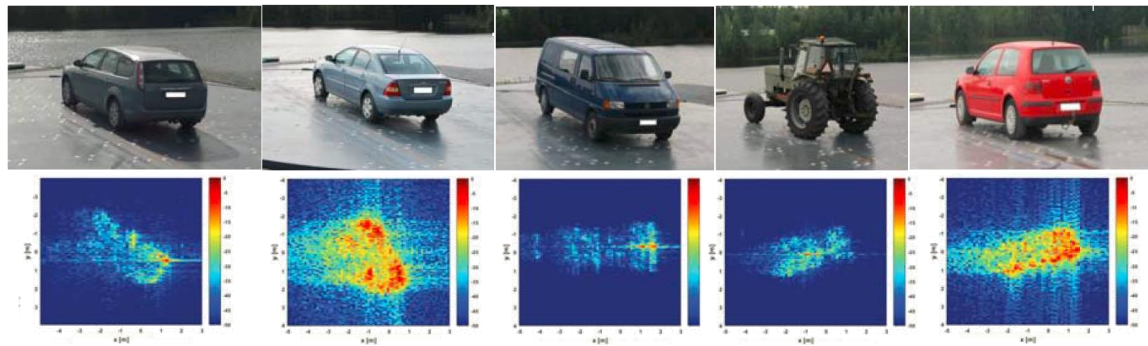
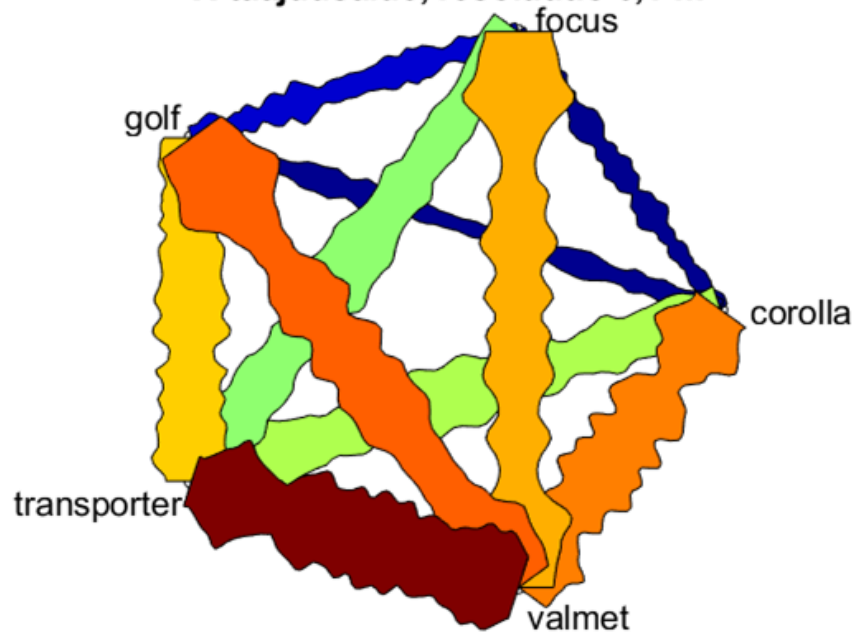
Heading-virhe 5°

$P_{class} \rightarrow corolla$	4.3 %
$P_{class} \rightarrow focus$	7.1 %
<u>$P_{class} \rightarrow golf$</u>	<u>81.4 %</u>
$P_{class} \rightarrow transporter$	0.0 %
$P_{class} \rightarrow valmet$	7.1 %

Heading-virhe 10°

$P_{class} \rightarrow corolla$	10.1 %
$P_{class} \rightarrow focus$	21.7 %
<u>$P_{class} \rightarrow golf$</u>	<u>50.7 %</u>
$P_{class} \rightarrow transporter$	4.3 %
$P_{class} \rightarrow valmet$	13.0 %

Euclidinen etäisyys kaikkien piirteiden keskiarvosta:
X-taajuusalue, resoluutio 0,1 m



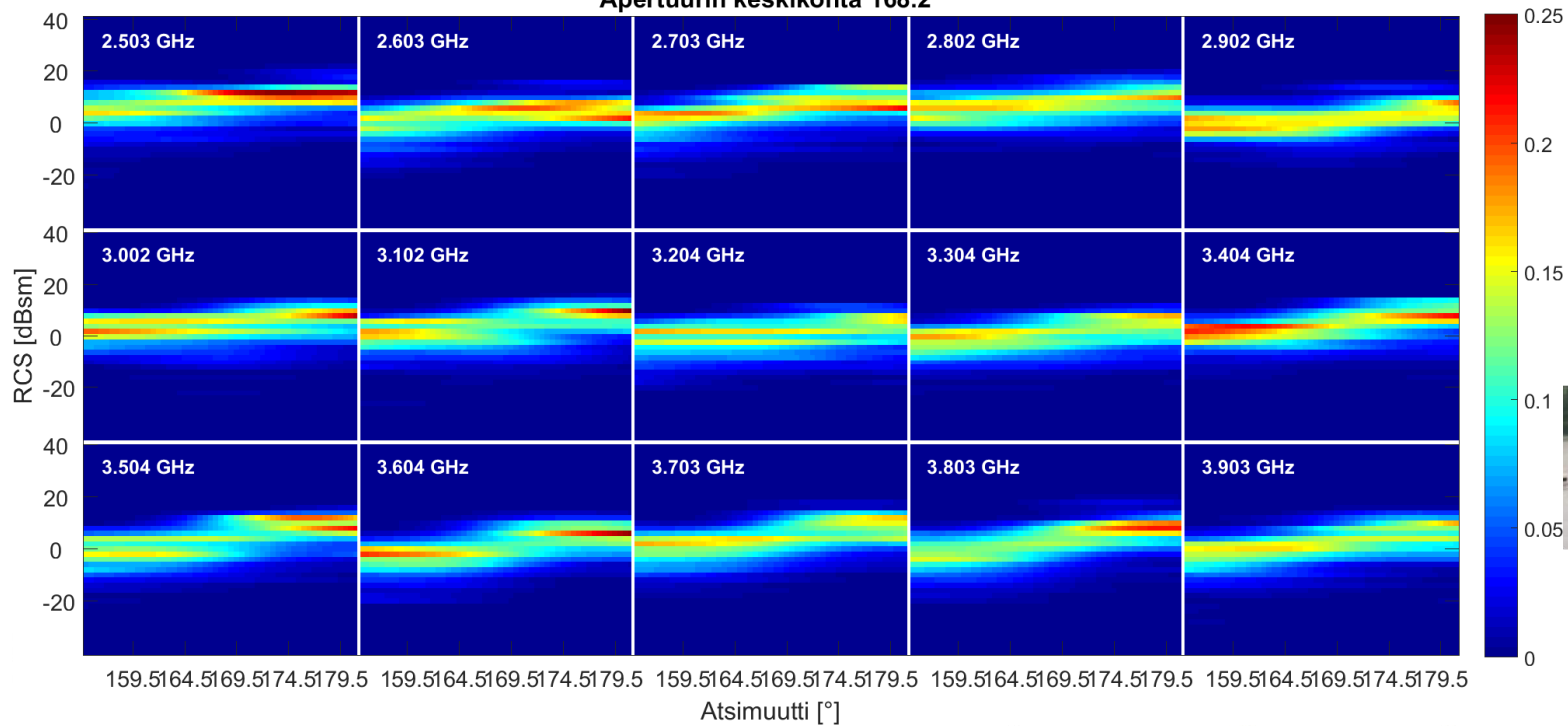
Ilmaisu + Kuvantaminen + Tunnistaminen

- Tarkastelimme etäisyysmitan toteuttamista perustuen SAR-kuvan sijaan SAR-raakadataan. Tarkoituksena toteuttaa vasteen jakaumaan perustuva menetelmä.
- SAR-raakadatassa on hyvin pitkä yhtenäinen valaisu, jonka aikana kohteen valaisukulma muuttuu → SAR-mittauksesta saadaan vastejakauma valaisukulman ja taajuuden funktiona.
- Menetelmä soveltuisi erityisen hyvin simuloidulle kohdekirjastolle, koska valaisukulman ja taajuuden askellus voidaan tällöin tehdä hyvin harvasti → laskentatehokas ja vie vähän kovalevytilaa.

golf, S-taajuusalue, 0.1 m resoluutio:

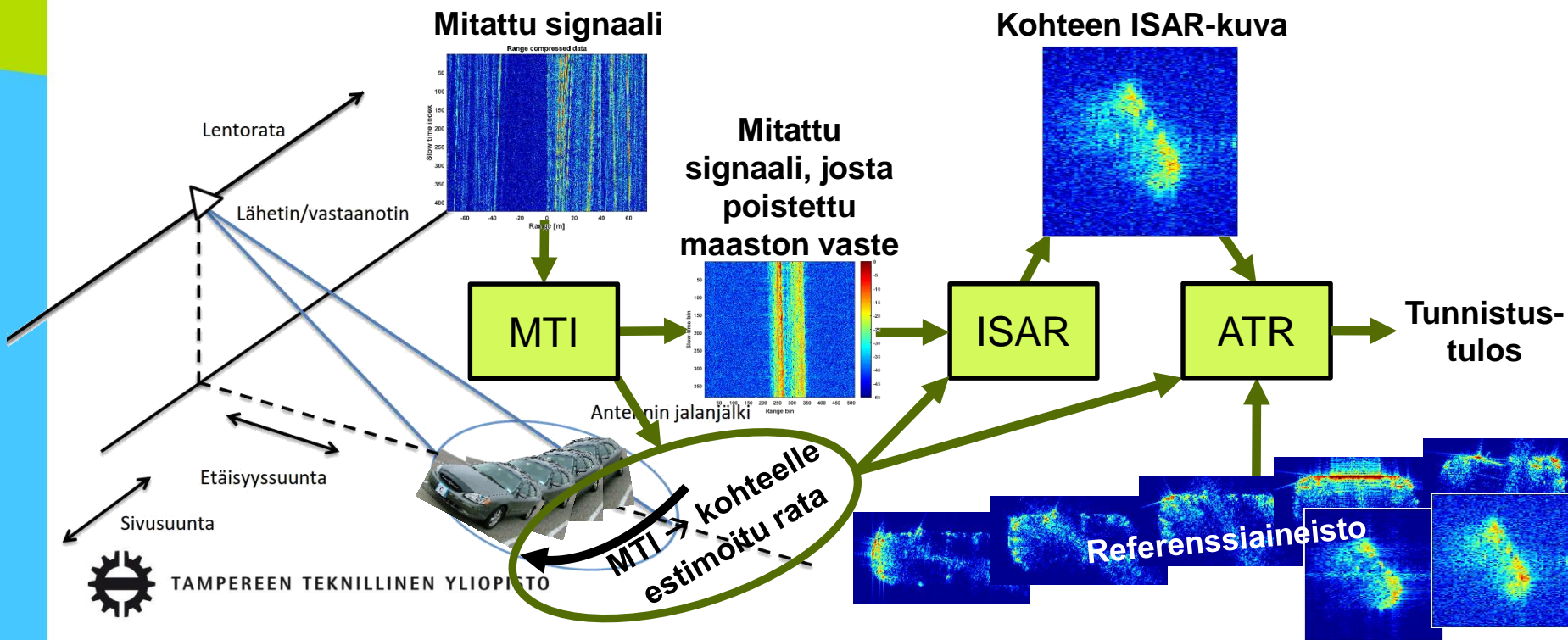
Apertuurin koko 26°

Apertuurin keskikohta 168.2°



Tutkimuksen hyödynnettävyys

- 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
- 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

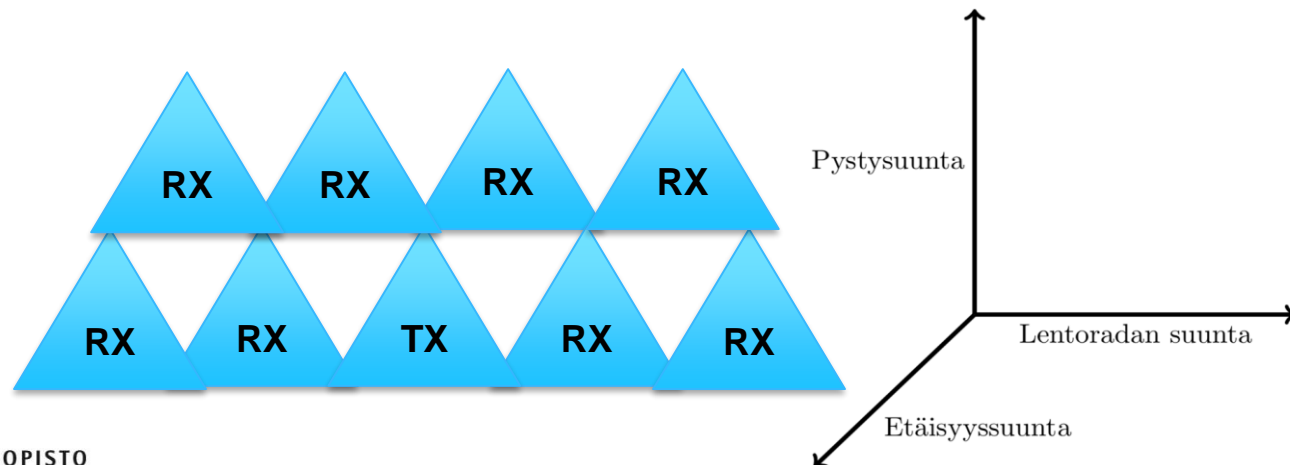


Tutkimushankkeen toinen vuosi

MATINE-hakemus vuodelle 2018

- Tutkimussuunnitelman tärkeimmät teemat vuodelle 2018:
 - Ketjussa – liikkuvan maalin ilmaisu, kuvantaminen ja tunnistaminen – menetelmät viedään pidemmälle ja julkaistaan kattavasti
 - Erityisteemana matalalla lentävän UAV:n havaitseminen
 - Algoritmien testaaminen ja kehittäminen perustuen TTY:n hankkimaan lyhyen kantaman koelaitteistoon: monikanavainen FMCW-ohjelmistotutka (SDR, Software-Defined Radar)
 - Ehdotetaan laajennusta yhteishankkeeksi DA-Design Oy:n kanssa

Esimerkki liikkuvien maalien ilmaisuun ja kolmiulotteiseen paikantamiseen soveltuvasta antenniryhmästä



Yhteenveto

- Kehitetty ja todennettu menetelmä liikkuvan maalin ilmaisuun ja kuvantamiseen
 - Menetelmä todennettu käyttäen simuloitua maastovälkesignaalia ja henkilöautosta mitattua SAR-dataa
- Tutkittiin menetelmiä kohteen tunnistamiseen
 - Piirrepohjainen ratkaisu osoittautui toimivaksi
 - Kehittyneempiä menetelmiä on suunnitelmassa
- Jatkoa haettu vuodelle 2018
 - TTY hankkii omarahoitteen SAR-demonstraatiolaitteiston vuoden 2017 loppupuolella
 - Kehitetään menetelmiä mitatun datan haasteet huomioiden



Vuoden 2017 julkaisuviitteet

- R. Vehmas, J. Jylhä, "Improving the estimation accuracy and computational efficiency of ISAR range alignment", *European Radar Conference 2017*, lokakuu 2017
- R. Vehmas, J. Jylhä, M. Väilä, J. Vihonen, A. Visa, "Data-driven motion compensation techniques for noncooperative ISAR imaging", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, syyskuu 2017
- R. Vehmas, J. Jylhä, M. Väilä, A. Visa, "Analysis and comparison of multichannel SAR imaging algorithms", *2017 IEEE Radar Conference*, toukokuu 2017

