



Korkean resoluution ja suuren kuva-alueen SAR

Risto Vehmas, Juha Jylhä, Minna Väilä ja prof. Ari Visa

Tampereen teknillinen yliopisto

Signaalinkäsittelyn laitos

Myönnetty rahoitus: 50 000 euroa

Esityksen sisältö

1) Johdanto: tutkimusongelma

- SAR-tutkan toimintaperiaate
- Perinteisen yksikanavaisen systeemin rajoitukset

2) Ratkaisu: monikanavainen vastaanotto

- Näytteenottovaatimusten analysointi
- Monikanavainen SAR-laskenta

3) Tuloksia

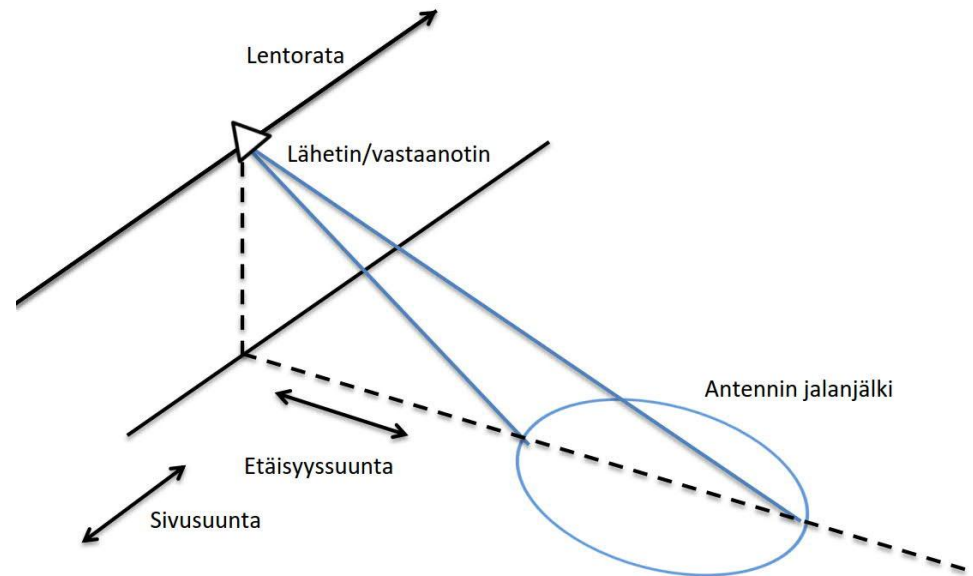
- Laskenta-algoritmien vertailua
- Esimerkki laskentavaatimuksista

4) Yhteenveto ja jatkoajatukset



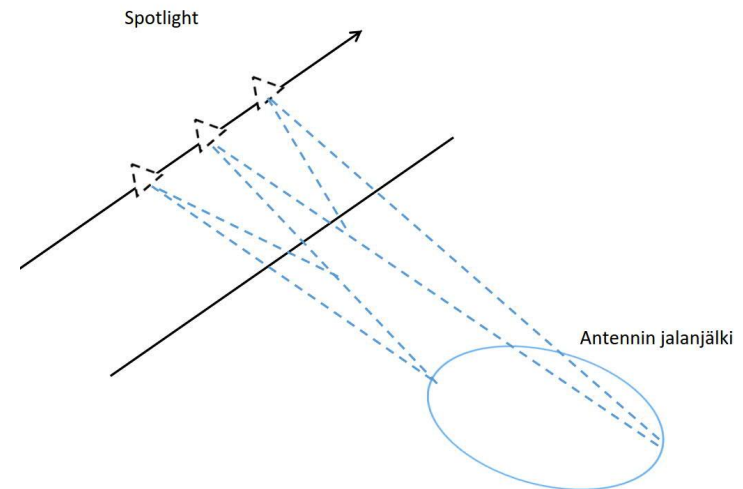
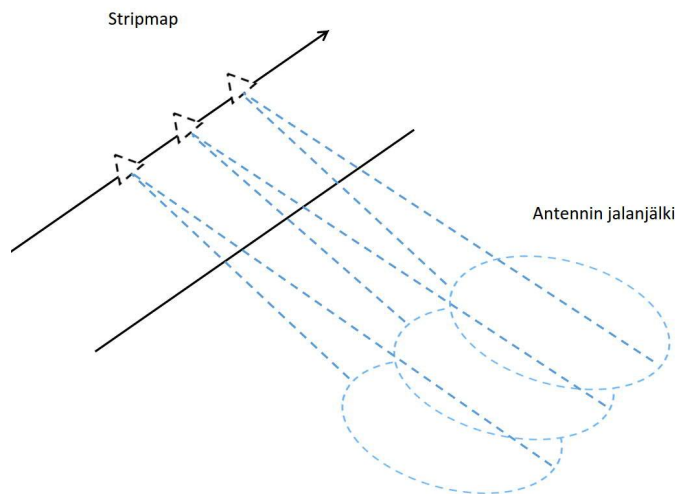
Johdanto: SAR-kuvantaminen

- Tavoitteena saada muodostettua kohdealueesta korkean erottelukyvyn kuva mikroaaltoalueella toimivan tutkan avulla
- Sivuttaissuunnassa korkea erottelukyky vaatii äärimmäisen kapean antennikeilan eli todella ison antennin
- SAR-periaate: Käydään lähettämässä ja kuuntelemassa pienellä antennilla useassa eri paikassa ja yhdistetään havainnot jälkikäteen



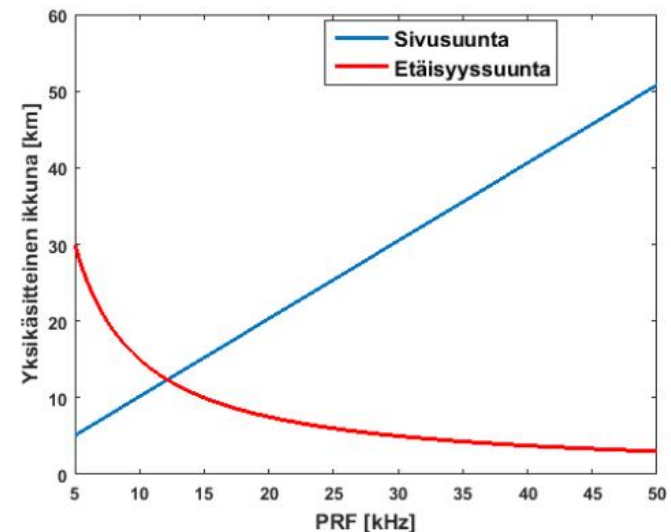
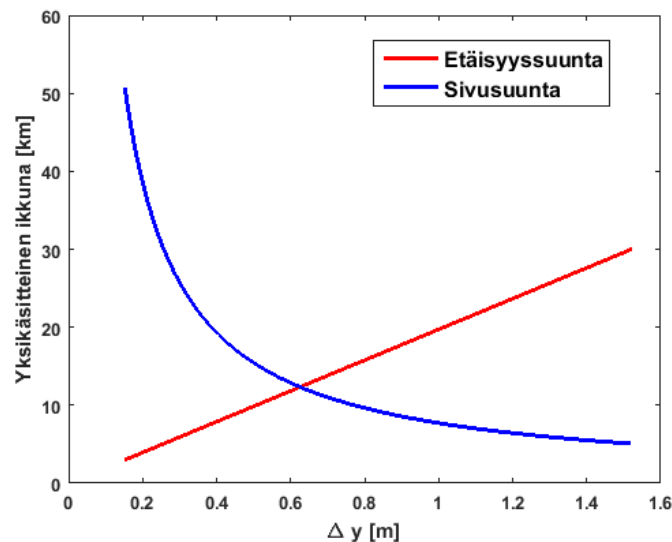
Johdanto: Perinteiset toimintamuodot

- Stripmap-muodossa antennikeila pyyhkäisee kuvattavan alueen yli \rightarrow Antennikeilan leveys määrittää valaisuajan eli saavutettavan erottelukyvyn
- Spotlight-muodossa antennikeila valaisee kiinnitettyä aluetta maanpinnalla \rightarrow Valaisuaika kasvaa ja siten erottelukyky paranee, mutta antennikeila rajoittaa kuvan kokoa



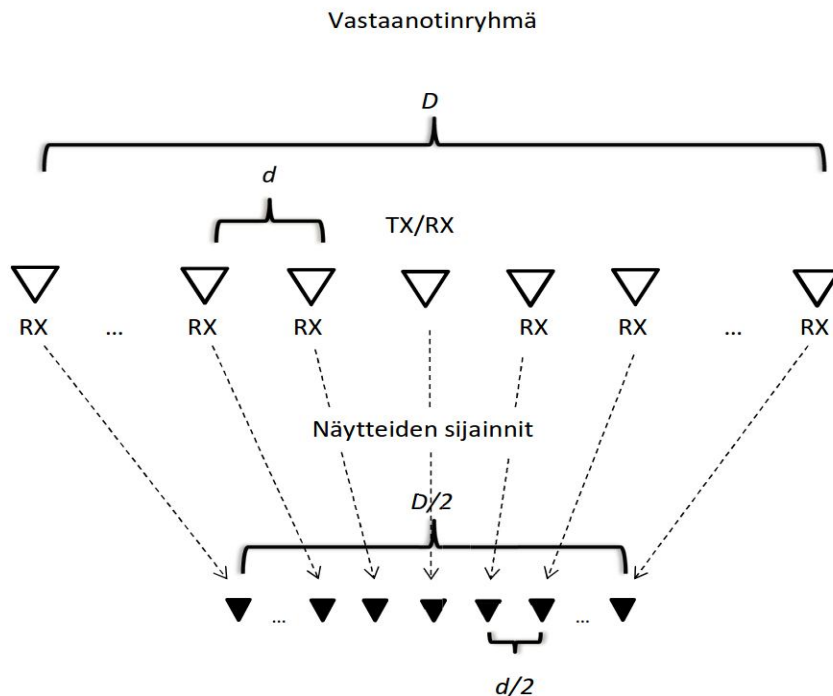
Johdanto: Näytteenotosta aiheutuva kompromissi

- Stripmap-muodossa korkea erottelukyky ja yksikäsitteisenä säilyvä kuva vaativat hyvin tiheän näytevälin eli korkean pulssintoistotaajuuden (PRF)
- Korkea pulssintoistotaajuus rajoittaa yksikäsitteisenä säilyvän etäisyysikkunan kokoa, josta aiheutuu kompromissi kuvattavan alueen koon ja sivuttaiserottelukyvyn välille

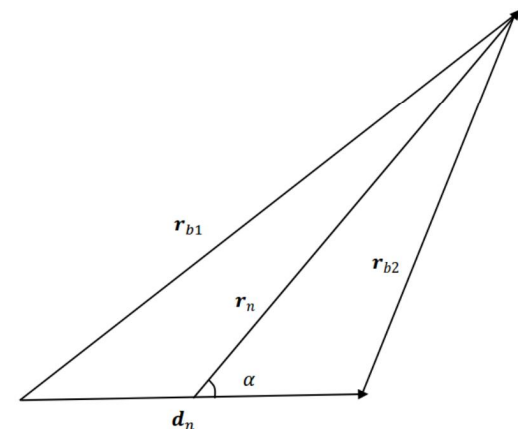


Ratkaisu: monikanavainen vastaanotto

- Käytetään systeemiä, jossa yksi lähettävä antennielementti ja useita vastaanottoelementtejä
- Kunkin vastaanottokanavan signaali näytteistetään ja tallennetaan



$$\frac{d_n^2}{2r_n} \ll \lambda_c$$



Monikanavainen vastaanotto

- Yhdestä lähetetystä pulssista saadaan useita näytteitä, joita käytetään hyödyksi SAR-laskennassa
- Kaksi erilaista tapaa hyödyntää monikanavaista systeemiä:
 - Kustakin lähetetystä pulssista saadaan antenniryhmän läpimitan puolikkaan verran näytteitä, jotka vastaavat yksikanavaisen systeemin näytteitä
 - SAR-laskennassa voidaan muodostaa haluttu määrä spotlight-keiloja digitaalisella keilanmuodostuksella
- Lähettimelle voidaan käyttää matalaa pulssintoistotaajuutta → Saadaan molemmissa suunnissa iso yksikäsitteinen SAR-kuva korkealla erottelukyvällä



Tulokset

- Korkea erottelukyky ja suuri kuva-alue tarkoittavat suurta laskentakuormaa
- SAR-kuvanmuodostus voidaan suorittaa useilla erilaisilla laskenta-algoritmeilla
- Tämä mahdollistaa erilaisia kompromisseja laskenta-ajan ja tarkkuuden välillä
- Paras kompromissi saavutettiin soveltamalla aika-alueen nopeaa takaisinprojektiio-algoritmia monikanavaiselle systeemille



Tulokset

- Laskenta-algoritmeja vertailtiin muodostetun kuvan laadun ja laskentakuorman suhteen
- Tuloksista on valmisteilla artikkeli tieteelliseen lehteen

Algorithm	Rel. speed	PSLR	ISLR	δy
MAKE	0.007	-14.35 dB	-11.47 dB	0.1437 m
BP	1	-13.76 dB	-11.13 dB	0.1440 m
FFBP 1	569	-13.69 dB	-11.04 dB	0.1451 m
FFBP 2	1590	-13.65 dB	-10.83 dB	0.1460 m
RSA	6.31	-13.23 dB	-10.31 dB	0.1441 m
RMA	6890	-13.09 dB	-10.29 dB	0.1477 m

TABLE II: Simulation results.

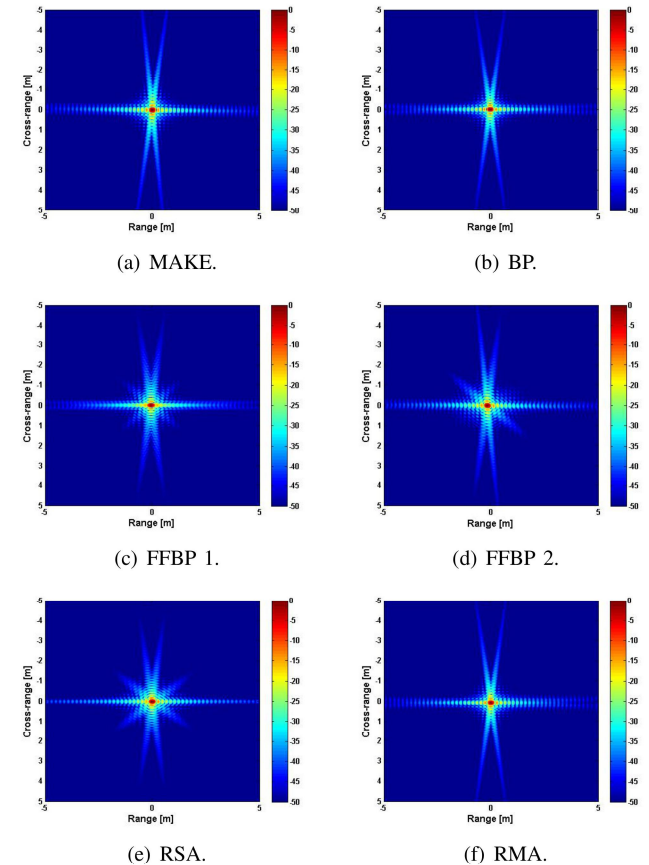
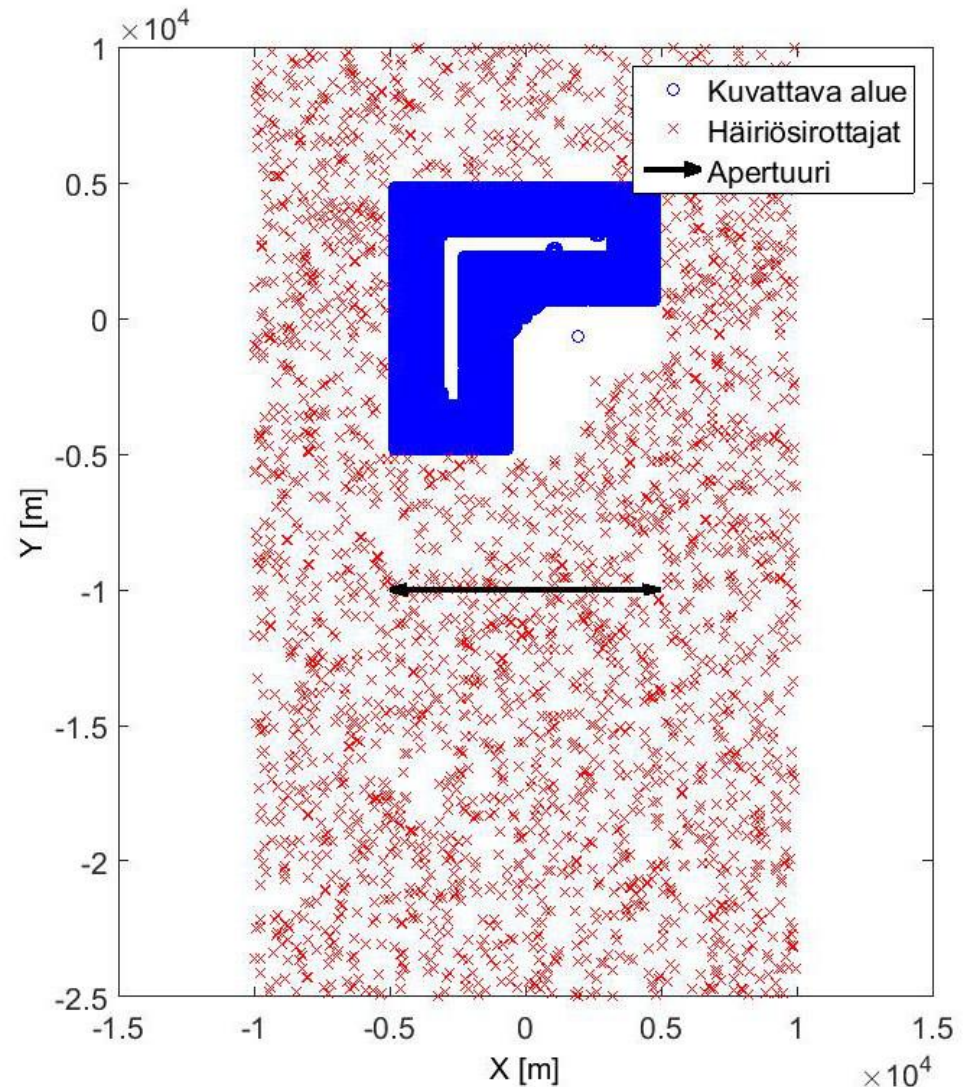


Fig. 5: The intensity (in logarithmic scale) of the point spread functions for the different reconstruction algorithms.

Tulokset

- Suuren kuvan laskenta korkealla erottelukyvylä: 10 x 10 km alue 10 x 10 cm pikselikoolla
- Laskenta-aika täsmällisellä menetelmällä noin 10 vuotta
- Nopeilla menetelmillä vuorokausi – viikko riippuen toteutuksen yksityiskohdista



Yhteenveto

- Tutkimuksen tulos: Osataan laskea SAR-kuva suuresta alueesta korkealla erottelukyvyllä hyödyntämällä monikanavaista vastaanottoa ja digitaalista keilanmuodostusta
- SAR-laskenta osataan suorittaa sekä täsmällisesti että laskentatehokkaasti sopivia yksinkertaistuksia käyttäen
- Lisäksi ymmärretään näytteenoton aiheuttamat rajoitukset tutkan toimintaparametrien kannalta
- Merkittävin saavutettu tieteellinen uutuusarvo on laskentatehokkaan aika-alueen algoritmin soveltaminen hyvin suurelle kuva-alueelle ja korkealle erottelukyvylle



Yhteenveto

- Monikanavaisen SAR-systeemin hyödyt ja heikkoudet
 - + Näytteenoton vaatimukset helpottuvat
 - + SAR-kuvan signaali-kohina-suhde paranee
 - + Yksittäinen antennielementti voi olla hyvin pieni ja yksinkertainen (edullinen)
 - + Lähetin edullisempi toteuttaa (yksinkertaisempi aaltomuoto mahdollinen)
 - + Yksittäiseltä vastaanotinkanavalta ei välttämättä vaadita niin suurta herkkyyttä (koska saadaan useita näytteitä yhdestä pulssista) → edullisempi toteutus
 - + SAR-tutkan toiminnoista yhä suurempi osa siirtyy ohjelmistoihin ja laskenta-algoritmeihin (edullisuus, uusien ominaisuuksien MLU-päivitettävyys)
 - + Häirinnänväistökyky on parempi
 - Vaatii usean rinnakkaisen vastaanottokanavan (vrt. edellisiin kustannustekijöihin)
 - Vaatii suuren tallennuskapasiteetin
 - Reaaliaikainen kuvanmuodostus ei vielä nykylaskentateholla mahdollista hyvin suurelle kuva-alueelle



Tulosten hyödynnettävyys

- SAR on Suomen olosuhteissa lähes lyömätön tiedusteluinstrumentti
- SAR-tekniikassa on käynnissä kilpajuoksu kohti parempaa erottelukykyä, joka oli myös tämän tutkimuksen motivaationa
- Kilpailukykyisimpiä järjestelmiä ei myydä à Mikäli halutaan paras mahdollinen järjestelmä omaan käyttöön on kehitettävä omaa osaamista, jota tämän tutkimuksen tulokset tukevat



Jatkoajatukset

- Jatkorahoitusta haettu vuodelle 2016 (60000 euroa)
 - Vuonna 2016 monikanavaista systeemiä ehdotetaan sovellettavan hajautetulle antenniryhmälle sekä kolmiulotteiseen kuvantamiseen
 - Mahdollisia muita jatkotutkimusaiheita: Kokeellinen testaus äänitutkalaitteistolla ja liikekompensaatioalgoritmien jatkokehitys



Kiitos mielenkiinnosta!
Kysymyksiä?

