

ADVANCED ELECTRONICS AND SYSTEMS



DA
GROUP

Teknologiakumppaninne

LIKKUVAN MAALIN ILMAISU JA TUNNISTAMINEN SAR-TUTKALLA

OSAHAHKE B

DA-Design Oy

Ari Alanne, Torsti Poutanen, Markus Marttila, Juha-Pekka Louhos

MATINE-Rahoitus: 83 160 €

Matine – Tutkimusseminaari
22.11.2018 Helsinki

Tutkimuksen sisältö



Tutkimus on DA-Design Oy:n ja TTY Signaalinkäsittelyn laboratorion yhteishanke, jossa DA-Design keskittyy laitteiston tutkimukseen.

- Teknologiaakatsaus
- Laitteiston vaatimusten tarkastelu
 - Koejärjestelmän operatiiviset vaatimukset
 - Koejärjestelmän tekniset vaatimukset
- Pienen ja kevyen kaupallisiin komponentteihin perustuvan SAR-laitteiston tarkastelu
- Pienen ja kevyen SAR-antennin tarkastelu
- Yhteenveto

Teknologiakatsaus



	Sentinel 1A	TerraSAR-X	Iceye-X1	MIRANDA35	MIRANDA300
Mass	945 kg	394 kg	<70 kg	17.5 kg	5 kg
Transmit power	4380 W	2260 W		2 W (10 W)	3 mW
Frequency	5.504 GHz	9.65 GHz	~9.65 GHz	35 GHz	300 GHz
Bandwidth	0...100 MHz	150/300 MHz	60 MHz	600 MHz	30 GHz
Distance	693 km	512...520 km	494...506 km	< 6 km	< 20 m
Swath / Scene	80 km	4 x 3.7 km ²	35 km		5 m
Az. Res.	5 m	0.25 m	10 m	15 cm	5 mm
El. Res.	5 m	0.25 m	10 m	15 cm	5 mm
Swath / Scene	410 km	270 x 200 km ²	-	-	-
Az. Res.	20 m	40 m	-	-	-
El. Res.	40 m	49 m	-	-	-

Laitteiston vaatimusten tarkastelu



- SAR-järjestelmän tavoitteellinen suorituskyky
 - Algoritmien perustavaa laatua olevat vaatimukset
 - Laitteiston perustavaa laatua olevat vaatimukset
 - Yksityiskohtaiset vaatimukset
- Järjestelmän pieni paino, koko ja kustannus
 - Erittäin haasteellinen optimointityö.
 - Tulos on sovelluskohtainen ja vaihtoehtoja on runsaasti
- Laitteisto ei ole koskaan ideaalinen
 - Missä rajoissa laitteiston ominaisuudet saavat vaihdella ajan ja olosuhteiden mukaisesti.
 - Yksityiskohtaisten vaatimusten määrä ja täsmällisyys on merkittävä.

Koejärjestelmän operatiiviset vaatimukset



Koejärjestelmälle on asetettu seuraavat yleiset vaatimukset:

- Koko ja paino: Lennätettävissä dronella
- Edullinen: < 30 k€

Koejärjestelmälle on asetettu seuraavat operatiiviset vaatimukset:

- Erottelukyky: $\sigma < 15$ cm
- Kantama: $r = 50 - 500$ m
- Nopeus: $v_{\text{MAX}} = 29$ m/s
- Kyky liikkuvan maalin ilmaisuun (MTI)

Koejärjestelmän tekniset vaatimukset



Koejärjestelmän operatiivisista vaatimuksista seuraa seuraavat tekniset vaatimukset:

- Kaistanleveys: $f_{BW} \geq 1 \text{ GHz}$ (Erottelukyky: $\sigma < 15 \text{ cm}$)
- Keskitaaajuus: $f_C > 10 \text{ GHz}$ ($f_{BW} < 10\% * f_C$)
 - Riittävä kantama (teho) rajaa taajuusalueita: $f < 40 \text{ GHz}$
 - Soveltuva taajuusalue taajuusallokaatiossa: $f = 24 - 26 \text{ GHz}$
 - Soveltuvia laitteita saatavana ajoneuvojen tutkasovelluksiin
- Pyyhkäisy aika: $t_{SWEEP} < 100 \mu\text{s}$ ($v_{MAX} = 29 \text{ m/s}$)
- Näytteenoton taajuus: $f_{SAMPLE} > 35 \text{ MHz}$ ($r_{MAX} < 500 \text{ m}$)
- Antennin keilan leveys: $\theta_{AZ} = 10^\circ$, $\theta_{EL} = 30^\circ$ (σ , V_{MAX} , r_{MAX})

Koelaitteiston tarkastelu

Ominaisuuudet



Koejärjestelmän SAR-instrumentti

- Laaja toimintataajuusalue 24 – 26 GHz
- 1xTX, 4xRX –kanavat
- Lähetysteho: 13 dBm (20 mW)
- Kohinaluku: 12 dB
- Lineaarinen FMCW-chirp-modulaatio: Sawtooth ja Triangle
- Nopea taajuuspyyhkäisy: < 1 ms (Vaatus: < 0.1 ms)
- Näytteistystaajuus: 2 Msps max. (Vaatus: > 35 MHz)
- USB-liitäntä: ohjaus, RX-datan luku ja tehonsyöttö
- Pieni tehonkulutus 4.25 W (850 mA @ 5 V)
- Pieni koko: ulkomitat 100 x 150 x 40 mm (W x L x H)
- Kevyt laite: paino 240 g

→ COTS-laitteet eivät täysin vastaa vaatimuksia!



Koelaitteiston tarkastelu

Laboratoriomittaukset



Tutkalaitteistolle tehtyt laboratoriomittaukset

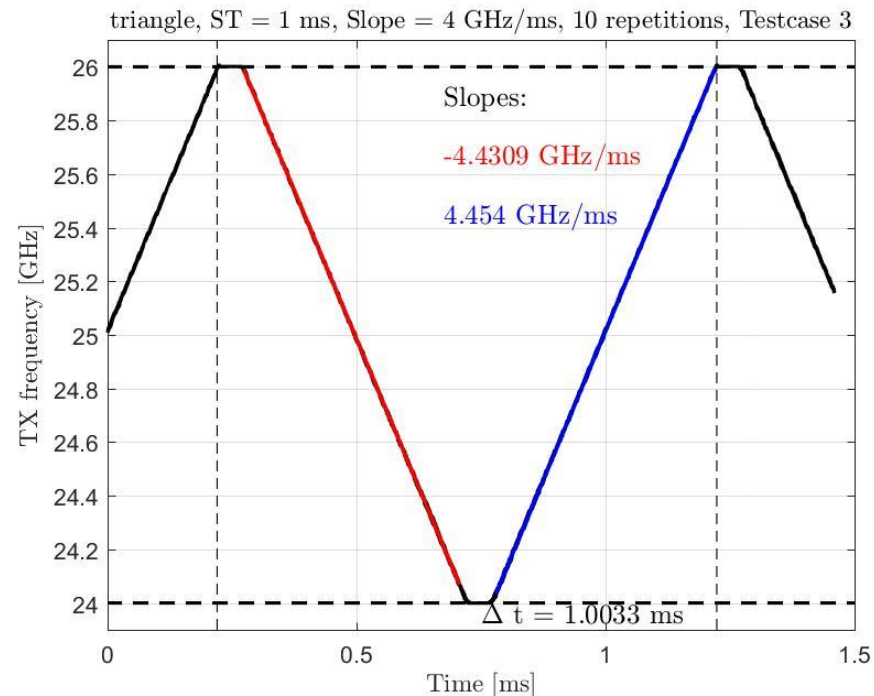
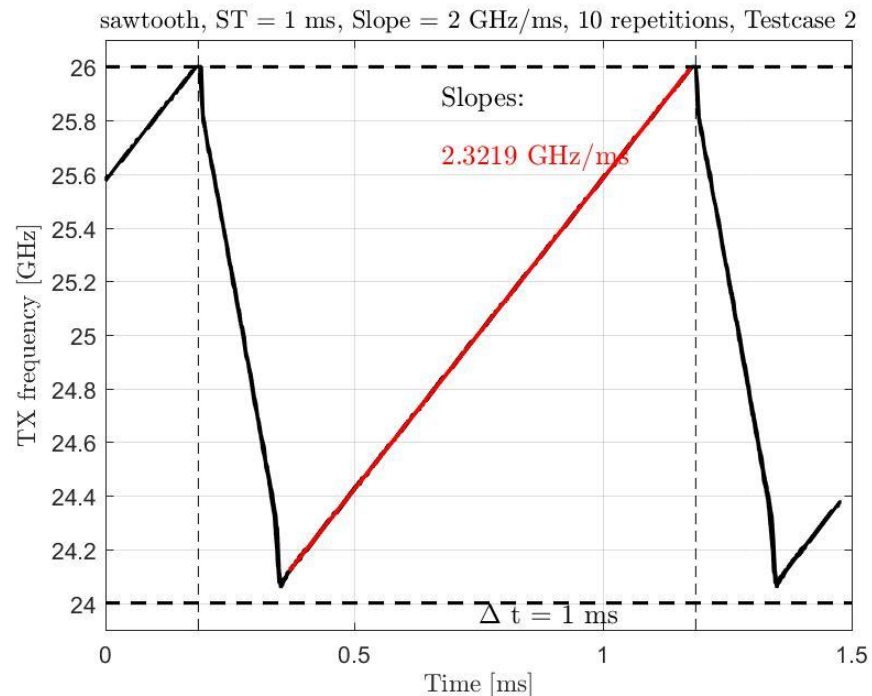
Testi	Aaltomuoto	Merkitys
Lähettimen taajuuspyyhkäisy	FMCW	Tarkka etäisyysmittauskyky: lähetystaajuus tunnettava pyyhkäisyn aikana.
Lähettimen vaihekohina	CW	Vaihekohina vaikuttaa vastaanoton SN-suhteeseen. Lentävän alustan tärinän ja melun vaikutus lähetyssignaaliin.
TX/RX-loop-back	FMCW	Varmistetaan etäisyysmittauksen toiminta tunnetuilla TX-RX-viiveillä. Mittaus tuottaa myös tiedon TX-RX ja RX-RX-isolaatioista.

Koelaitteiston tarkastelu

Laboratoriomittaukset

1. Lähettimen taajuuspyyhkäisy

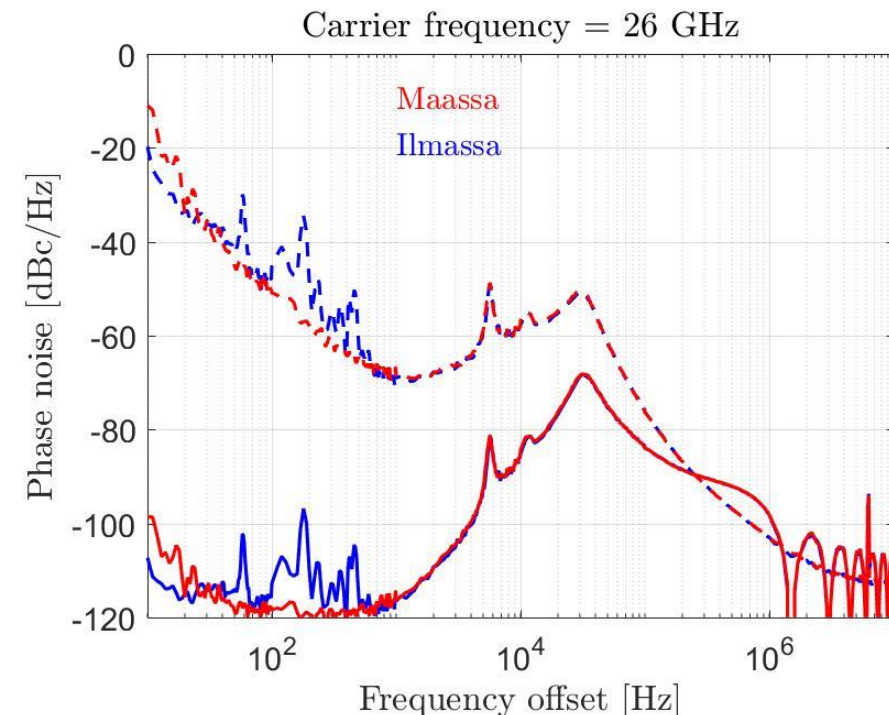
- Taajuus vs. aika on tarkkaan lineaarinen. → Hyvä asia SAR-kuvan kannalta.
 - Pyyhkäisyyn kulmakerroin ei ole suoraan pääteltävissä tutkan asetusparametreistä.
- Etäisyyksiin systemaattinen virhe ellei kalibroida.



Koelaitteiston tarkastelu Laboratoriomittaukset

2. Lähettimen vaihekohina

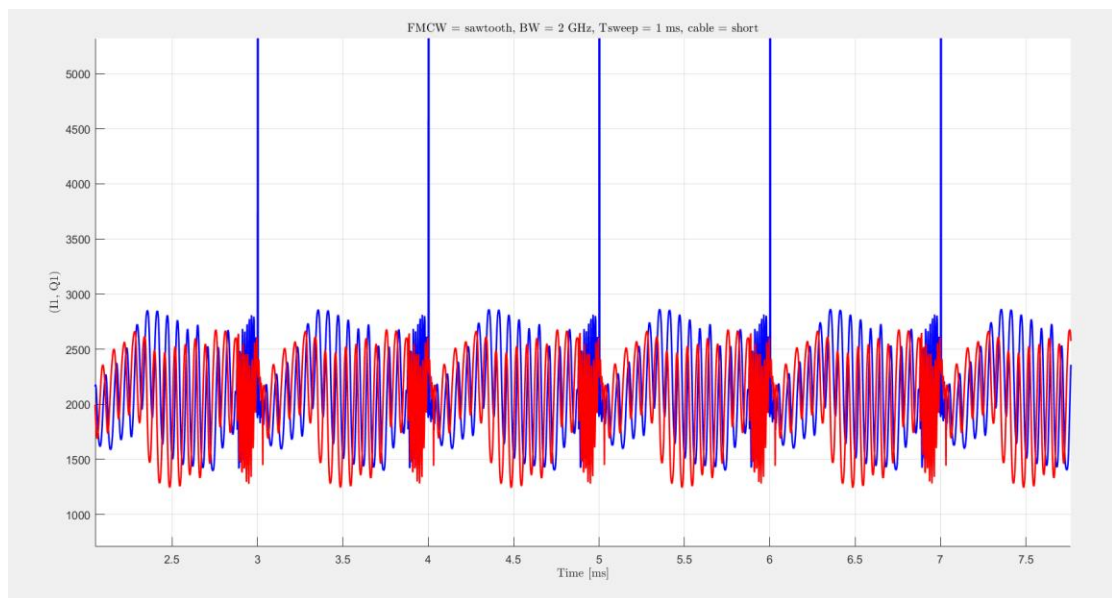
- Vaihekohina on oskillaattorisignaalin satunnaista vaiheflukтуаatiota, joka osaltaan huonontaa S/N-suhdetta.
- Siirtyy vaihekohinaksi vastaanotettuun IQ-signaaliin. Voi vaikeuttaa toisiaan lähellä olevien kohteiden erottelua.
- Koelaitteiston vaihekohina on pieni ja osa siitä kumoutuu vastaanottimessa, koska lähetyssignaali kerrotaan kohteesta heijastuneen viivästyneen kopionsa kanssa.
- Kopterin ei todettu merkittävästi lisäävän signaalin vaihekohinaa tai muita häiriöitä.



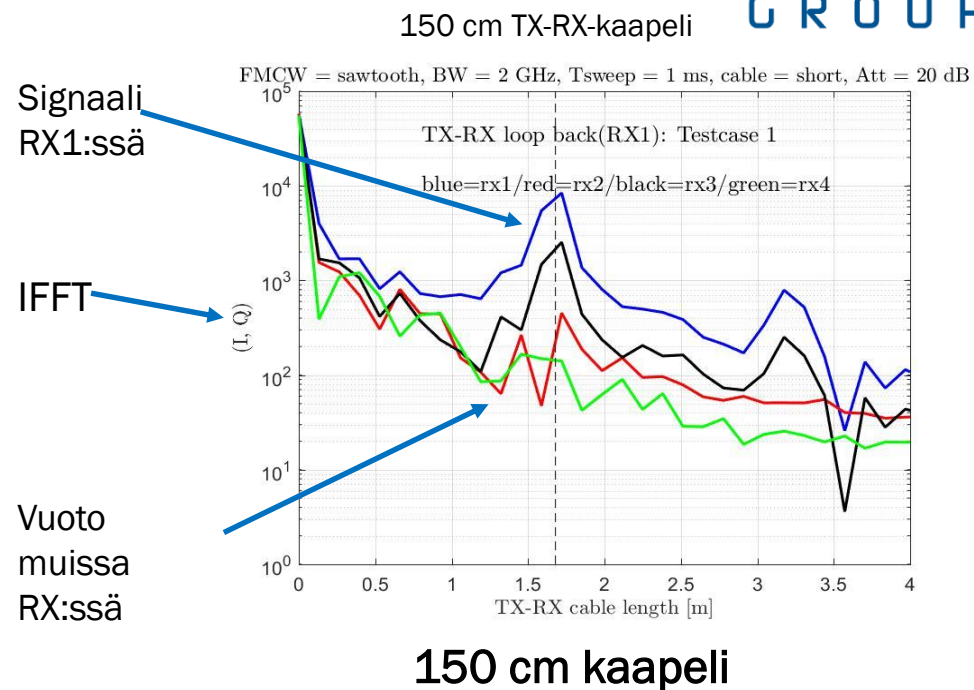
Koelaitteiston tarkastelu Laboratoriomittaukset

3. TX/RX-loop-back-testi

- TX-signaali viety RX:lle tunnetun mittaisella kaapelilla
- Kaapelin pituus mitattu IFFT-piikin taajuuden avulla.



RX IQ-signaalit: TX -> RX1



RX-RX-isolaatio:

- Tyypillisesti 20...30 dB
- RX1 - RX3 kuitenkin vain 10 dB

Koelaitteiston tarkastelu

Laboratoriomittaukset



3. TX/RX-loop-back-testi

- Tuloksista edustavia esimerkkejä
- Taulukoissa IFFT-spektreistä ”mitatut” kaapelien pituudet
- Tutkan sisäistä viivettä ei kalibroitu pois
- Tutkan pituusmittaustulokset järjestelmällisesti liian suuria
 - Laitteiston signaalipolut aiheuttavat viivettä
- RX3 ja RX4 antavat lyhyempiä pituuksia kuin RX1 ja RX2
 - Laitteiston erilaiset signaalipolut aiheuttavat eroja viiveisiin

150 cm TX-RX-kaapeli

FMCW-moodi	Start&stop freq [GHz, GHz]	Pyyhkäisy-aika [ms]	RX	Kaapelin pituus [cm], pyyhkäisy ylös	Kaapelin pituus [cm], pyyhkäisy alas
				Lyhyt kaapeli (150 cm)	
Sawtooth	[24.5, 25.5]	0.5	RX1	166.0	---
			RX2	160.9	---
			RX3	157.9	---
			RX4	157.1	---
Triangle	[24.5, 25.5]	0.5	RX1	171.1	171.1
			RX2	169.0	170.1
			RX3	156.7	157.0
			RX4	156.2	157.5

824 cm TX-RX-kaapeli

FMCW-moodi	Start&stop freq [GHz, GHz]	Pyyhkäisy-aika [ms]	RX	Kaapelin pituus [cm], pyyhkäisy ylös	Kaapelin pituus [cm], pyyhkäisy alas
				Pitkä kaapeli (824 cm)	
Sawtooth	[24.5, 25.5]	0.5	RX1	832.3	---
Triangle	[24.5, 25.5]	0.5	RX1	841.9	848.6

Koelaitteiston tarkastelu

Laboratoriomittaukset



Vahvuudet

- Suuri kaistanleveys:
 - Hyvä etäisyysresoluutio, teoriassa jopa 7.5 cm.
- Nopea taajuuspyyhkäisy ja suuri pulssin toistotaajuus.
 - Tutka-alustan nopea liike ja liikkuvan maalin ilmaisu mahdollisia.
- Monikanavainen vastaanotin (4 kanavaa).
 - Liikkuvan maalin ilmaisu tehokkaasti mahdollista (STAP).
- Pieni koko, paino ja tehonkulutus.
 - Voidaan lennättää esim. UAV:llä.
- Hinnaltaan kohtuullinen.

Heikkoudet / Kehitysmahdollisuudet

- Pieni näytteenottotaajuus.
 - Rajoittaa etäisyysmittausikkunan muutamaan sataan metriin.
 - Suurehko RX-kanavien ylikuuluminen.
 - Heikentää kykyä liikkuvan maalin ilmaisuun
 - Tarkka RX-näytteistykseen ja TX-taajuuden ajoitustieto puuttuu.
 - RX-datassa ei ole reaaliaik tietoa.
 - Vaikeuttaa tutkadatan synkronointia muiden sensorien kanssa (kiihtyvyysanturi, GPS-paikka, jne.).
 - Lähetysteho ja kohinaluku ovat vaatimattomia
 - Kantama on vaatimaton.
- Vain lineaarinen FMCW-chirp tarjolla.
- Aaltomuodon ohjelmoitavuus (mm. LPI/LPD-aaltomuodot) olisi toivottavaa. Pieni näytteenottotaajuus.

Pieni ja kevyt SAR-antenni

Antennijärjestelmän vaatimukset:

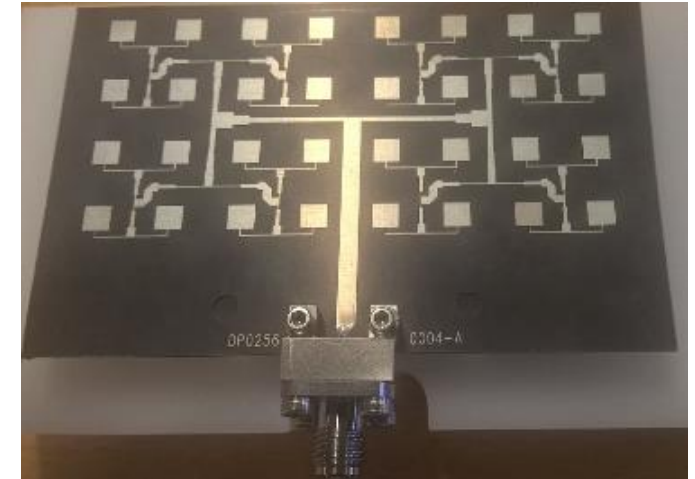
- Antenniryhmä: 1 x TX + N x RX (MTI). (Mikä on optimi konstellatio ?)
- Kaistanleveys: $f_{BW} > 1 \text{ GHz}$ (taajuusvaste, impedanssi, keilan muoto / SLL)
- Keilan leveys: $\theta_{AZ} = 10^\circ$, $\theta_{EL} = 30^\circ$ (epäsymmetrinen)
- Sovitus: $L_R < -10 \text{ dB}$
- Sivukeilataso: $SLL < -20 \text{ dB}$

Antennien yleiset ominaisuudet ja erot

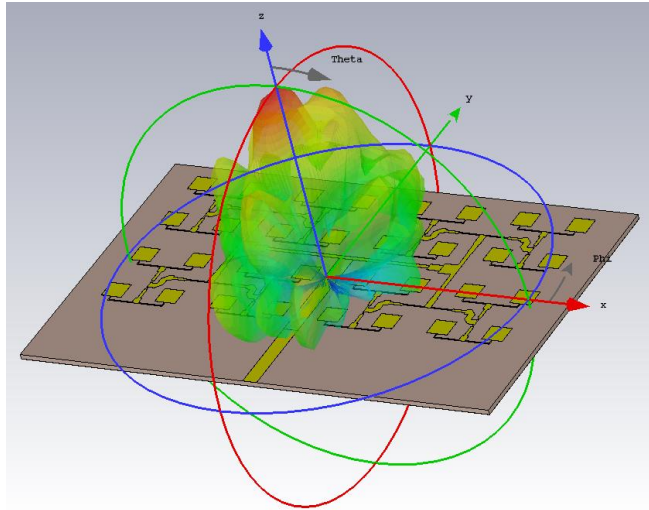
- Koko:
 - Torvi: $120 \times 54 \times 42 \text{ mm}^3$
 - Mikroliuska: $120 \times 54 \times 1 \text{ mm}^3$
- Paino:
 - Torvi 150 g
 - Mikroliuska < 30 g

→ COTS-antenneja heikosti (suuri, painava, kallis)!

→ Antenni on vaativa kokonaisuus, yksittäiset ominaisuudet eivät ole erikoisia!

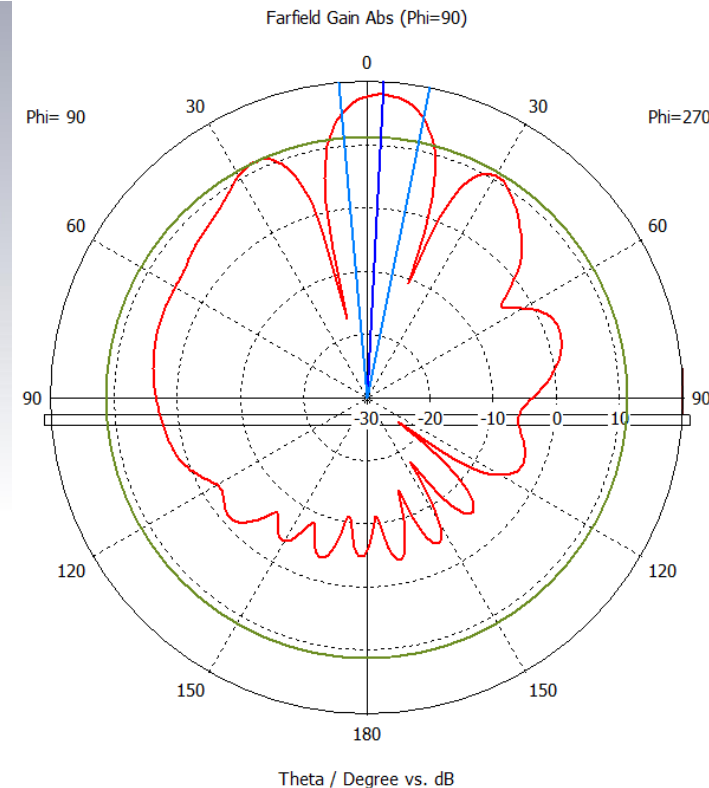


Pieni ja kevyt SAR-antenni

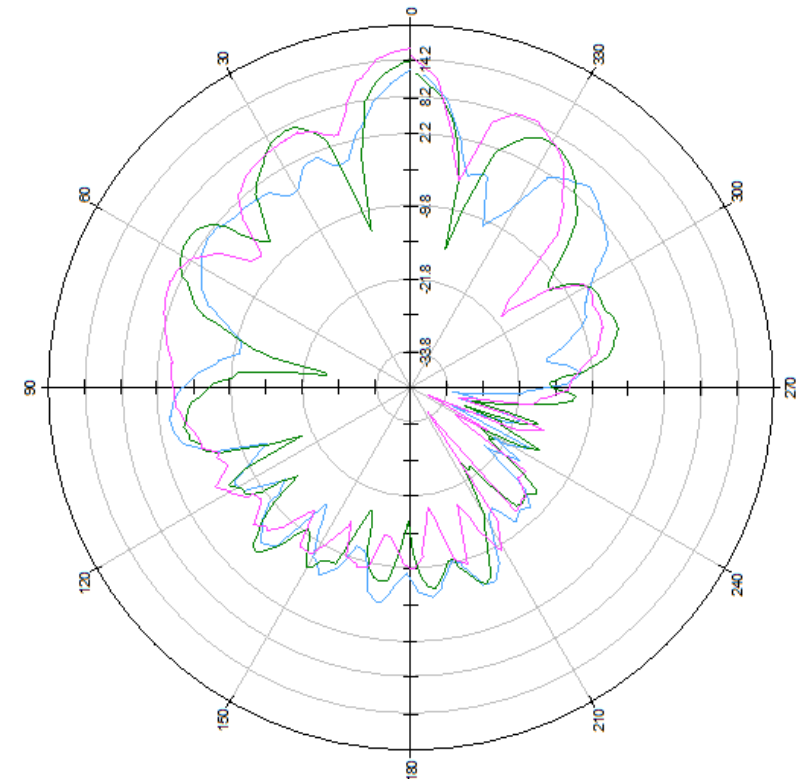


Frequency: 25 GHz
Gain: 17.84 dB
Az Angular width (3 dB): 16.6°
SLL = -6.7 dB

1. Proto → Optimointi jatkuu



Simulaatio



Mittaus

Yhteenveto



- Sensorijärjestelmä voidaan integroida COTS-laitteista, mutta se vaatii sovelluskohtaista räätälöintiä:
 - SAR-datan tuottava tutkalaitteisto on vain yksi sensori. Suoraan soveltuvaa COTS-laitetta ei välttämättä saatavilla.
 - Tarkka paikan mittaus (IMU, GPS, tms.)
 - Tarkka aikaleimaus
 - Ohjaustietokone ja ohjelmistot
 - Laskentatietokone (esiprosessointi datan vähentämiseksi) ja ohjelmistot
 - Datalinkki (järjestelmän ohjaus ja datan siirto)

ADVANCED ELECTRONICS AND SYSTEMS



GROUP

www.da-group.fi

Kiitos! - Ota yhteyttä!

Sami Kotiniemi, CEO

etunimi.sukunimi@da-group.fi

Tel. +358 29 0800 922

Juuso Kaitalo

Business Director, Defence and Security

etunimi.sukunimi@da-group.fi

Tel. +358 29 0800 912