



**Aalto University**  
Department of Radio  
Science and Engineering

# Suurteholaskenta-algoritmien hyödyntämien suurten kohteiden tutkavasteen laskennassa

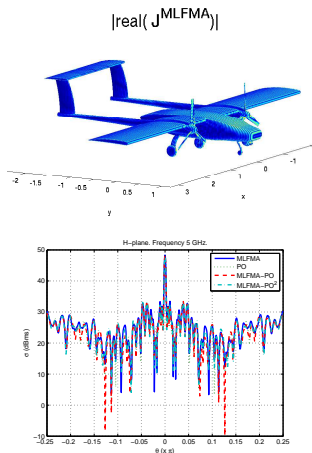
Pasi Ylä-Oijala, Pasi Koivumäki ja Seppo Järvenpää  
Radiotieteen ja -tekniikan laitos, Aalto-yliopisto

MATINE Seminaari 18.11.2015  
Myönnetty rahoitus 55 580 euroa

1. Taustaa ja tavoitteet
2. Menetelmät ja haasteet
3. Tuloksia
4. Yhteenvedo ja johtopäätökset
5. Jatkotutkimusaiheita

# Taustaa ja tavoitteet

- ▶ Tutkapoikkiponta (tutkavaste) on keskeinen suure tutka- ja häivetekniikassa
- ▶ Kohteen tutkavasteen avulla voidaan esim. pyrkiä tunnistamaan kohde tai tekemään se mahdollisimman huonosti havaittavaksi
- ▶ Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää tehokkaita laskenta-algoritmeja tutkapoikkinnan määrittämiseen sähköisesti suurille kohteille



# Menetelmät ja haasteet

## Kokoaallon (full-wave) menetelmät:

- ▶ Esim. FDTD, FEM ja momenttimenetelmä (MoM)
- ▶ Perustuvat fysikaalisiin yhtälöihin ja ovat siten periaatteessa tarkkoja
- ▶ Vaadittava tietokonekapasiteetti kasvaa nopeasti kohteen koon tai taajuuden kasvaessa
- ▶ Tarkkoja mutta hitaita

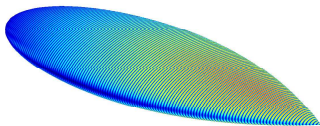
## Asymptoottiset menetelmät:

- ▶ Esim. GTD ja fysikaalinen optiikka (PO)
- ▶ Approksimatiivisia menetelmiä joiden tarkkuutta voi olla vaikea arvioida ja parantaa
- ▶ Nopeita ja toimivat yleensä sitä paremmin mitä korkeampi taajuus
- ▶ Nopeita mutta epätarkkoja

# Menetelmät

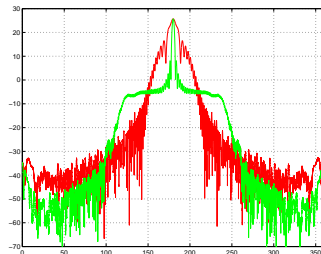
## Momenttimenetelmä:

- ▶ Pintavirta haetaan siten, että Maxwellin yhtälöt toteutuvat
- ▶ Mallintaa moninkertaiset heijastukset ja diffraktion
- ▶ Matriisiyhtälön ratkaiseminen
- ▶ Nopeutusmenetelmät (multilevel fast multipole algorithm, MLFMA) välttämättömiä



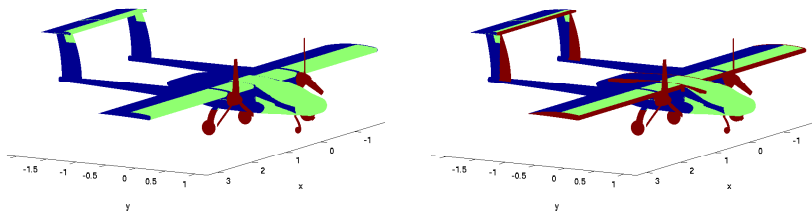
## Fysikaalinen optiikka:

- ▶ Pintavirta suoraan herättävästä kentästä
- ▶ Ei mallinna moninkertaisia heijastuksia eikä diffraktiota
- ▶ Ei matriisiyhtälöä



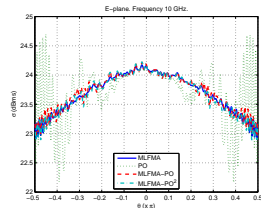
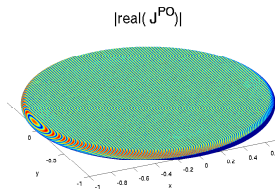
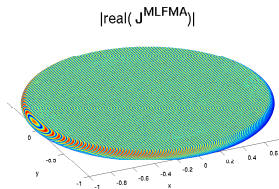
# Hybridimenetelmä – Tutkimusaiheita

1. Paikallistetaan PO menetelmän kriittiset kohdat
2. Toteutetaan yhdistetty MLFMA-PO menetelmä
3. Tutkitaan tarkkuutta erilaisilla PO ja MLFMA aluejaoilla
4. Yleistys pintaimpedanssielehdolle (ei-ideaalijohteet, pinnoitteet)



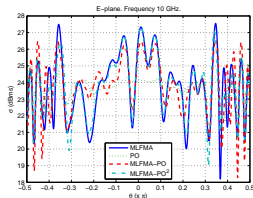
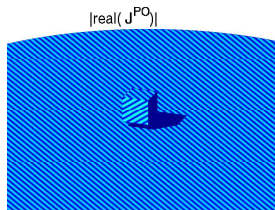
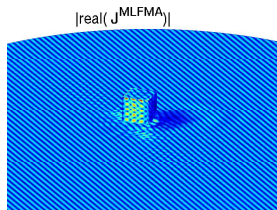
**Kuva:** Punainen: MLFMA, Sininen: PO varjoalue, Vihreä: PO valaistu alue.

# Tuloksia – Ympyrä levy, $d = 2$ m, $f = 10$ GHz



- Särmät aiheuttavat jonkin verran virhettä PO menetelmään

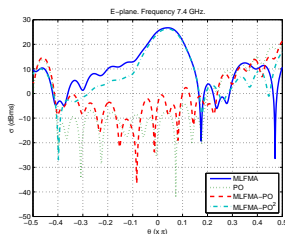
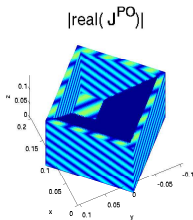
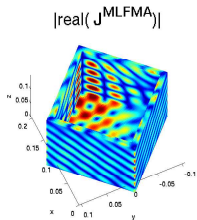
# Tuloksia – Levy ja kuutio, $d = 2$ m, $f = 10$ GHz



- ▶ Lähellä olevat kohteet aiheuttavat virhettä PO menetelmään erityisesti varjoalueelle

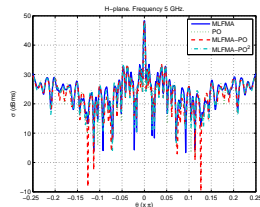
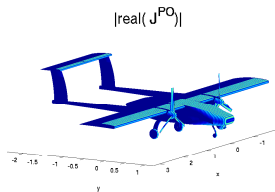
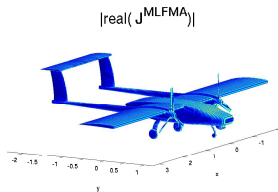


# Tuloksia – Avoin laatikko, $d = 0.2$ m, $f = 7.4$ GHz



- ▶ Resonoivat rakenteet näyttäisivät olevan erityisen suuri haaste PO menetelmälle

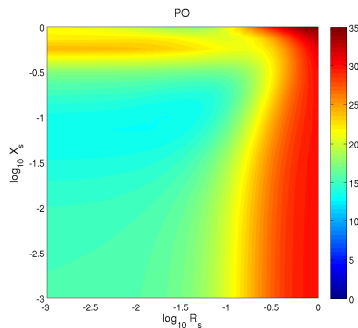
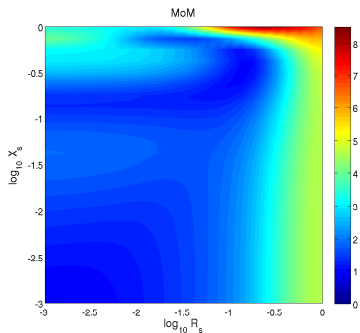
# Tuloksia – UAV $f = 5$ GHz



- ▶ Mutkikkaampien kohteiden tapauksessa virhelähteiden arviointi on haastavampaa

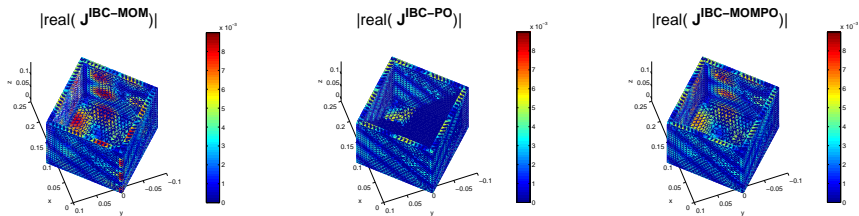
# Tuloksia – Pintaimpedanssi, pallo $r = 0.5\text{m}$ , $0.5\text{GHz}$

$$\tilde{Z}_s = R_s + iX_s$$



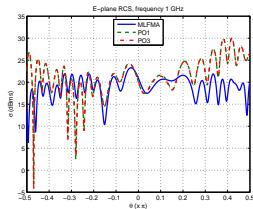
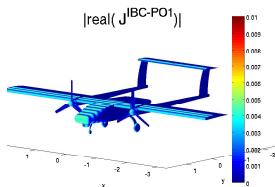
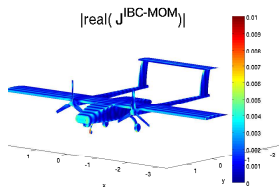
- ▶ Virhetarkastelu pallolle pintaimpedanssin suhteen
- ▶ Sekä MoM:in että PO:n virhe kasvaa kun pintaimpedanssia kasvatetaan

# Tuloksia – Avoin laatikko, $d = 0.2\text{m}$ , $f = 3.46\text{GHz}$ , $\tilde{Z}_s = 0.01 + 0.01i$



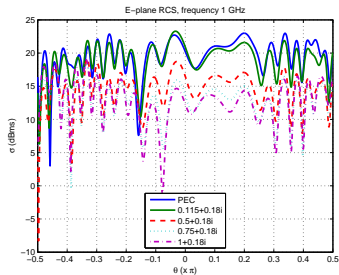
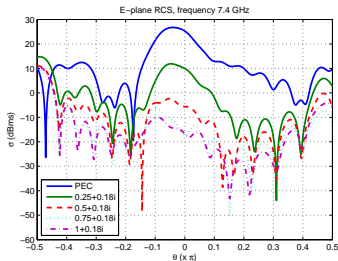
- ▶ Resonoivat kohteet näyttäisivät olevan PO:lle haaste myös pintaimpedanssin tapauksessa

# Tuloksia – UAV $f = 1$ GHz, $\tilde{Z}_S = 0.115 + 0.18i$



- ▶ PO ja MLFMA ratkaisujen vertailu impedanssireunaehdolle

# Tuloksia – Pintaimpedanssin vaikutus tutkapoikkipintaan



- ▶ Tutkapoikkipinta eri pintaimpedanssin arvoilla (MLFMA ratkaisu), vasemmalla avoin laatikko ja oikealla UAV

- ▶ Paikallistettiin PO menetelmät kriittiset kohdat
- ▶ Toteutettiin yhdistetty MLFMA-PO menetelmä ideaalijohteille
- ▶ Tutkittiin yhdistetyn menetelmän tarkkuutta erilaisilla PO ja MLFMA aluejaoilla
- ▶ PO, MLFMA ja yhdistetty MoM-PO yleistettiin pintaimpedanssiehdolle (ei-ideaalijohteet, pinnoitteet)
- ▶ Tutkittiin menetelmien tarkkuutta eri pintaimpedanssin arvoilla
- ▶ Tarkasteltiin pintaimpedanssin vaikutusta tutkapaikkipintaan

- ▶ PO menetelmän tarkkuus ongelmallinen:
  - ▶ varjoalueella (—→ korkeampi taajuus)
  - ▶ terävissä särmissä (—→ sileät pinnat, korjaustermit)
  - ▶ lähekkäin oleville rakenteille (—→ moninkertaiset heijastukset)
  - ▶ **resonoiville rakenteille**
  - ▶ korkealle pintaimpedanssille
- ▶ Yhdistetty MLFMA-PO parantaa merkittävästi PO ratkaisua mutta kasvattaa laskenta-aikaa ja muistin kulutusta
- ▶ Optimaalisen PO ja MLFMA aluejaon toteuttamien automaattisesti haastavaa
- ▶ Laskentaverkon muodostaminen muodostui pullonkaulaksi useissa realistisissa tilanteissa



## MLFMA:

- ▶ Terävät särmit, nurkat, lähekkäin olevat kohteet, resonoivat rakenteet, PO varjoalueen reuna, korkea pintaimpedanssi, ...
- ▶ Pidetään riittävän pienenä jotta on ratkaistavissa yhdessä laskentanoodissa ilman hajautettua rinnakkaislaskentaa

## PO:

- ▶ Suuret ja sileät pinnat (riittävän korkea taajuus)
- ▶ Tarkkuutta voidaan parantaa ottamalla huomioon useita peräkkäisiä heijastuksia ja käyttämällä korjaustermejä
- ▶ Hajautettu rinnakkaislaskenta suoraviivaista

1. Toteutus käyttäen hajautettua rinnakkaislaskentaa
2. CAD mallista aiheutuvien epäjatkuvien laskentaverkkojen käsittely MLFMA:ssa
3. Yleistys paikastariippuvalle ja/tai anisotrooppiselle ja/tai korkeamman asteen pintaimpedanssille
4. Laajentaminen yleisille materiaalirakenteille (dielektriset puoliläpäisevät pinnat)