



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Online-oppiva ilmavalvontajärjestelmän suorituskykymalli

MATINE tutkimusseminaari

17.11.2016

Juha Jylhä, Marja Ruotsalainen, Riitta Kerminen, Ari Visa

Tampereen teknillinen yliopisto

Signaalinkäsittelyn laitos

Hankkeelle myönnetty MATINE-rahoitus: 60 000 €

Esityksen sisältö

1. Tutkimuksen tavoitteet
2. Ilmavalvonnan suorituskykymallin opettaminen
 - Mittausdata ja esikäsittely
 - Suorituskyvyn mallinnus ja mittaaminen
 - Tutkamallin parametrien oppiminen
 - Seurantalaskimen mallin oppiminen
3. Mittausdatan ja suorituskykytiedon tallentaminen tietokantaan
4. Tulosten hyödyntäminen
5. Yhteenveto ja jatkokehitys



1. Tutkimuksen tavoitteet

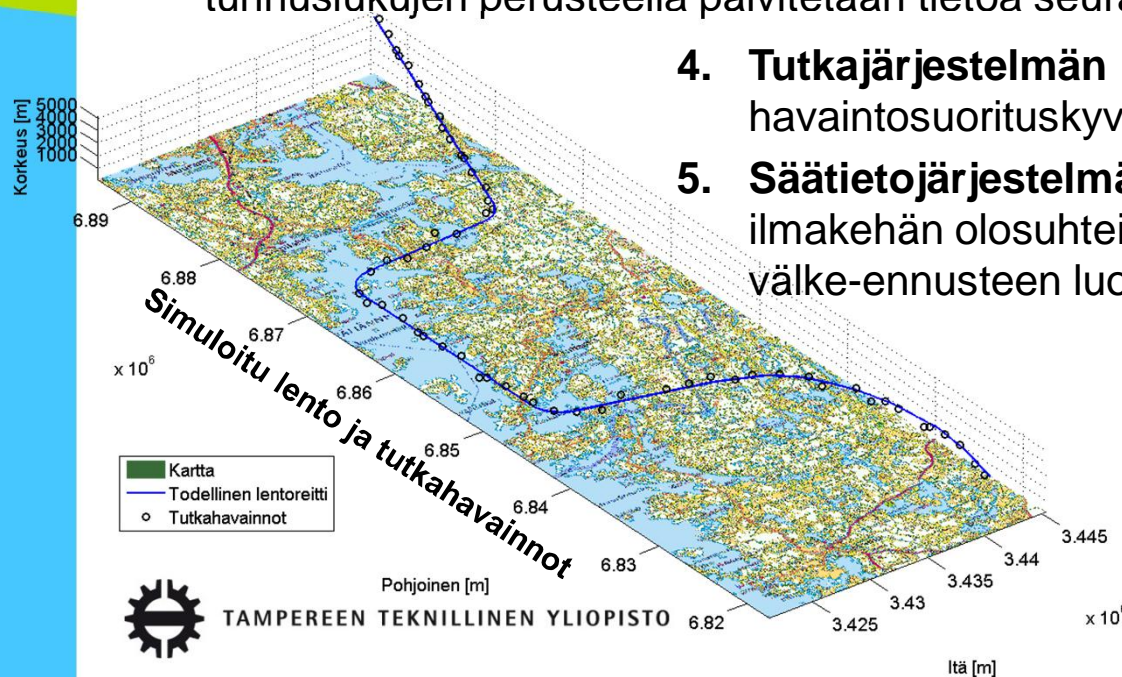
- Tarkastellaan valvontajärjestelmän suorituskyvyn online-oppimista perustuen järjestelmän toiminnassa jatkuvasti kertyvään aineistoon.
 - LAAJASTI: Työ tähtää TVM-suorituskyvyn kehittämiseen koskien erityisesti ilmavalvontaa ja maalittamista.
 - TARKASTI: Kun päätöksiä tehdään ja sensoriverkkoa ohjataan, päätöksentekoa tukeva suorituskykymalli on oltava validi, eli suorituskyky ja sen muutokset on ennustettava oikein. Online-oppivuus mahdollistaa muutoksiin ja poikkeamiin reagoimisen.
- Sovelluskohteita esimerkiksi
 - häiriöiden (ilmakehä ja häirintä) optimaalinen väistäminen tai suodatus,
 - havainto- ja seurantakyvyn sekä järjestelmän taistelunkestävyyden yhtäaikainen optimointi,
 - adaptiivisen tai kognitiivisen valvontajärjestelmän kehittäminen.



2. Ilmavalvonnan suorituskykymallin opettaminen

Mittausdata ja esikäsittely

1. **Sensoreiden sijainnit ja digitaalinen maastoaineisto.** Laskemme valaisugeometrian sekä ennustamme maavälkkeen ja katvealueiden vaikutuksen.
2. **Ilma-alusten raportoima lentoratatieto** muodostuu joko ilma-aluksen transponderin ilmoittamana tai ilma-aluksen lennon taltiointijärjestelmästä. Tästä saamme tiedon, missä ilma-alus on oikeasti ollut.
3. **Seurantajärjestelmän raportoimat seurannat.** Assosioimme seurannat automaattisesti (algoritmilla) ilma-alusten em. lentoratoihin. Näiden välisistä poikkeamista laskettujen tunnuslukujen perusteella päivitetään tietoa seurantajärjestelmän suorituskyvystä.
4. **Tutkajärjestelmän raportoimat havainnot.** Laskemme havaintosuorituskyvyn (kuten edellinen kohta).
5. **Säätietojärjestelmä** tarjoaa tietoa vallitsevasta säätilasta ja ilmakehän olosuhteista. Käytämme tiedon dynaamisen välke-ennusteen luomiseen (vuoden 2017 osuudessa).

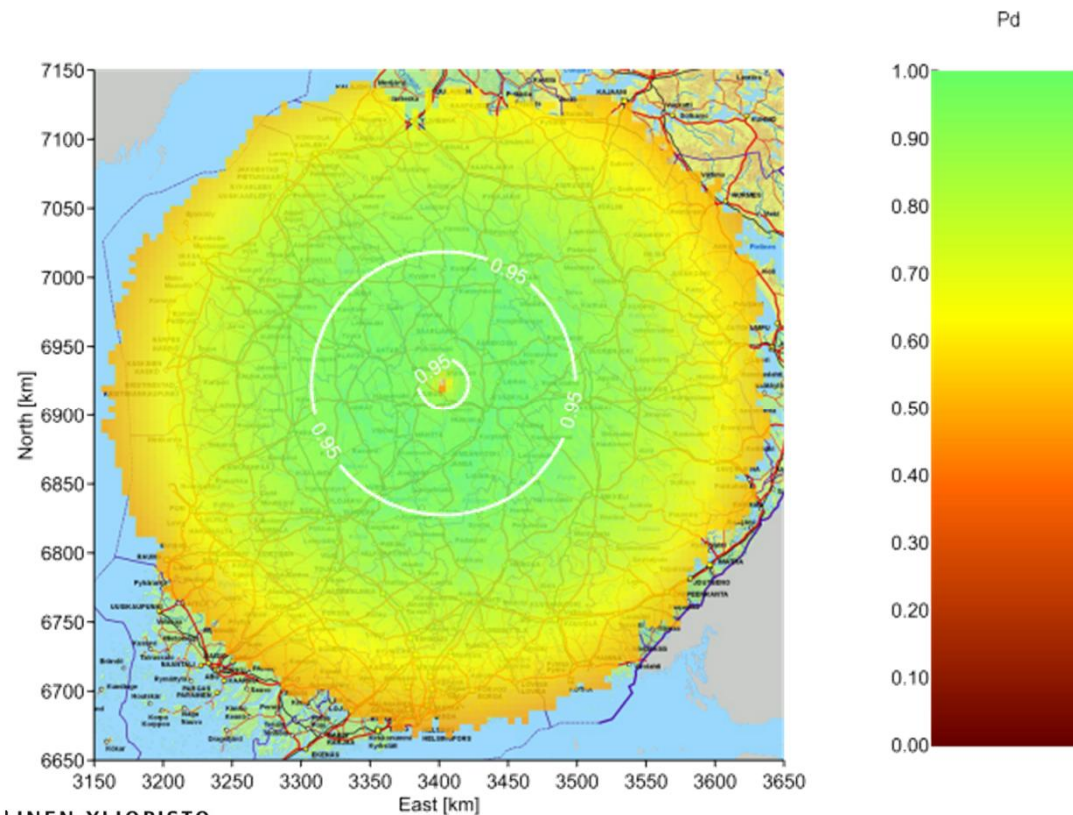


Huomioidaan eri syötetietojen hyödyntämisessä muodostuva viive ja minkälaisia vaikutuksia viiveellä on tiedon käyttöön ja käyttökelpoisuuteen.

2. Ilmavalvonnan suorituskykymallin opettaminen

Suorituskyvyn mallinnus ja mittaaminen

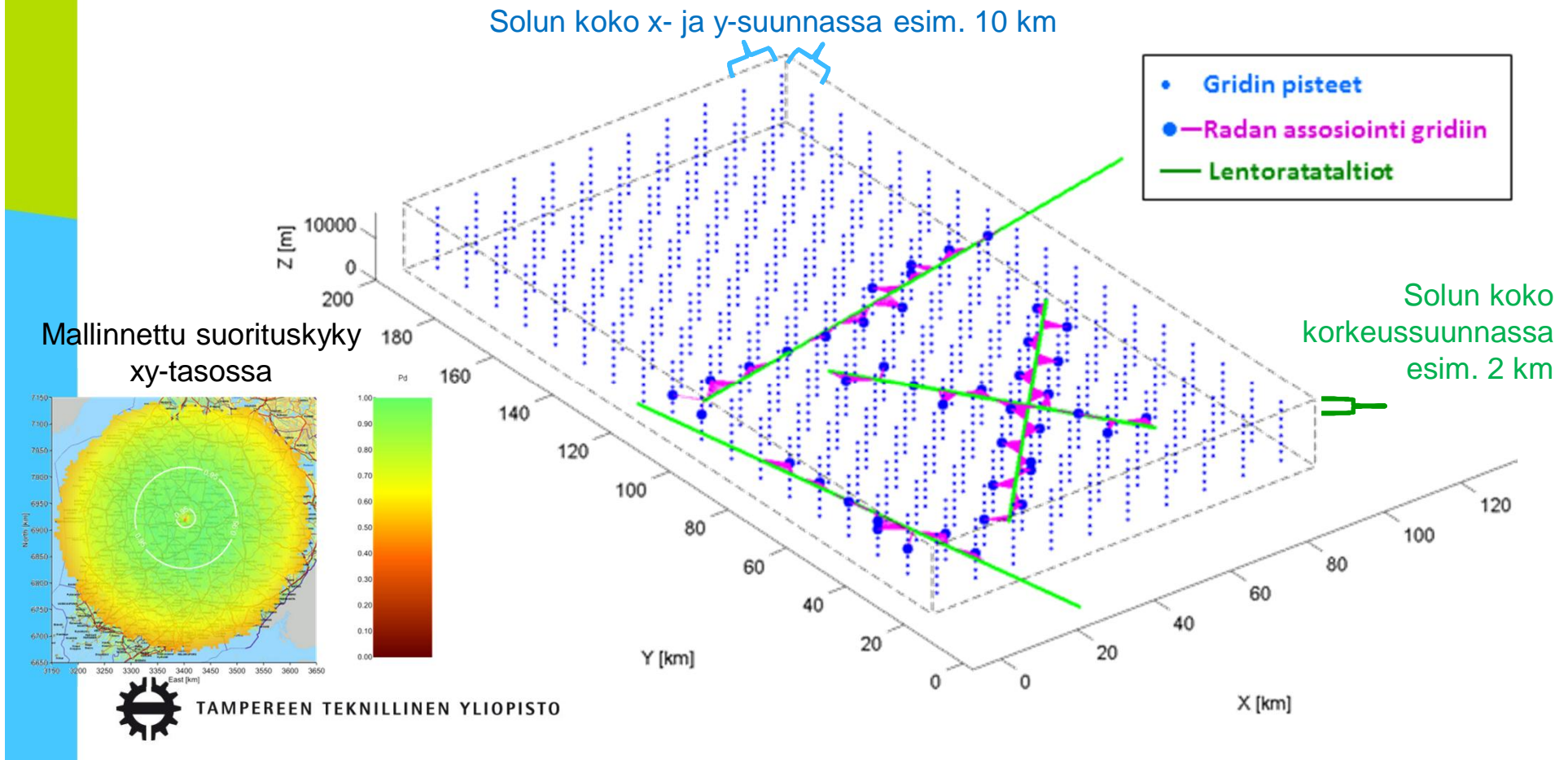
- MATLAB-ohjelmistolla toteutettu teknis-fysikaalinen malli suorituskyvyn kuvaamiseen muutamilla keskeisillä tunnusluvuilla, kuten havaintokyky (P_d , probability of detection) ja mittaustarkkuudet.
- Kuvassa simuloidun tutkan P_d korkeudella 9000 m meren pinnasta, kohteena Cessna C182.



2. Ilmavalvonnan suorituskykymallin opettaminen

Suorituskyvyn mallinnus ja mittaaminen

- Suorituskyky on mallinnettu ilmatilaa kuvaavaksi 3D-solukoksi.
- Verifiointia ja koneoppimista varten tarvitaan vastaava suorituskykykuvaus mittauksista.

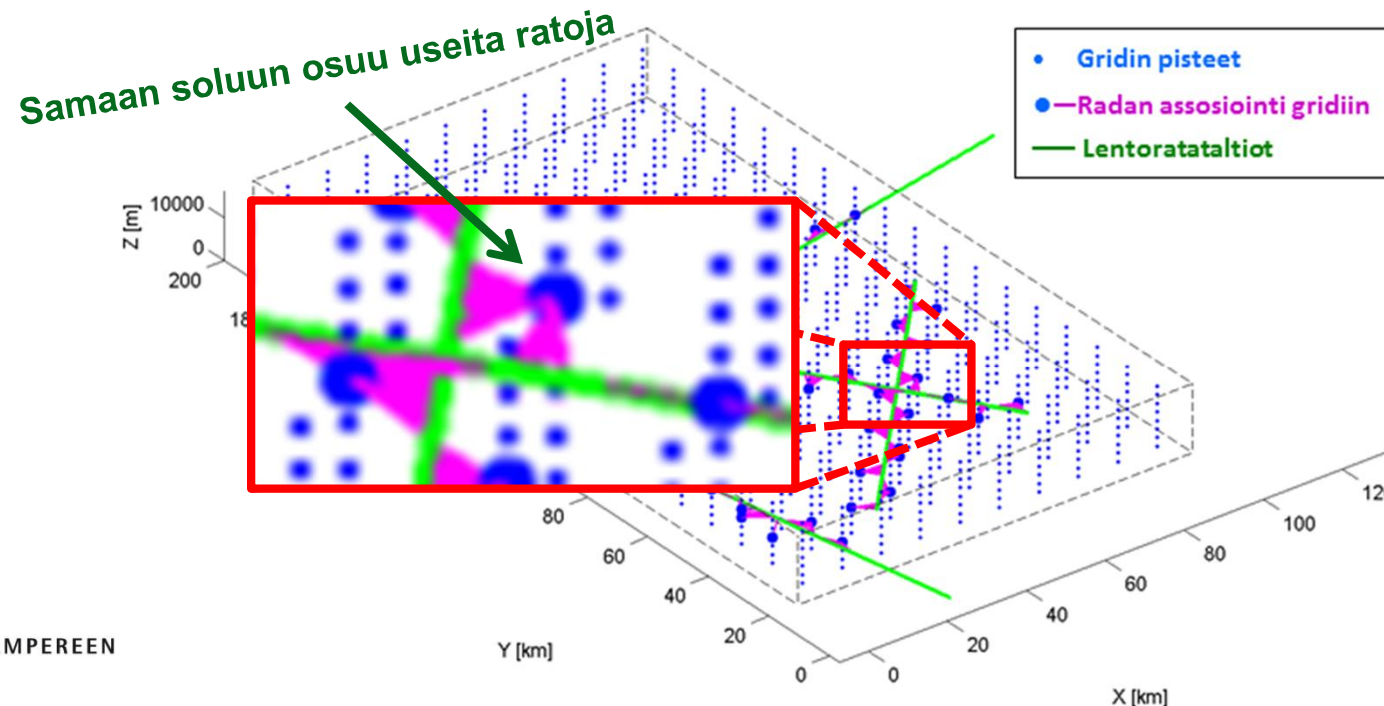


2. Ilmavalvonnan suorituskykymallin opettaminen

Suorituskyvyn mallinnus ja mittaaminen

Suorituskykytiedon laskenta mittauksista (verifiointia ja koneoppimista varten):

- Lentoradat ja muodostuneet tutkaseurannat assosioidaan keskenään (algoritmilla automaattisesti).
- Mitattu lentorata kertoo ilma-aluksen todellisen sijainnin.
- Lentoradan ja seurannan/tutkahavainnon välisestä poikkeamasta lasketaan hetkellinen/paikallinen suorituskyky → havaitaanko ilma-alus ja miten tarkka on havainto.
- Samaan 3D-soluun lasketaan kaikkien siihen osuneiden ratojen näytteiden tunnuslukukohtainen keskiarvo. Suuri määrä ratoja ja havaintoja → hyvä solukohtainen suorituskykyestimaatti.

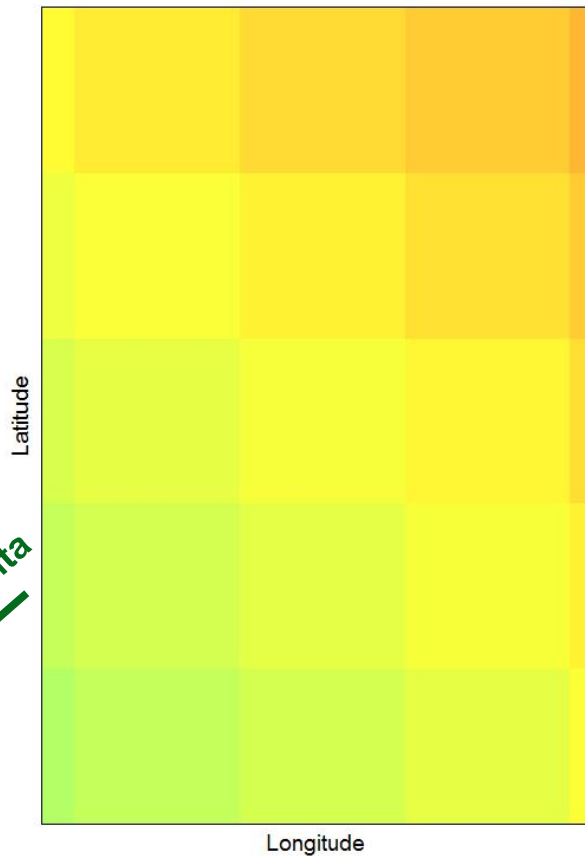


2. Ilmavalvonnan suorituskykymallin opettaminen

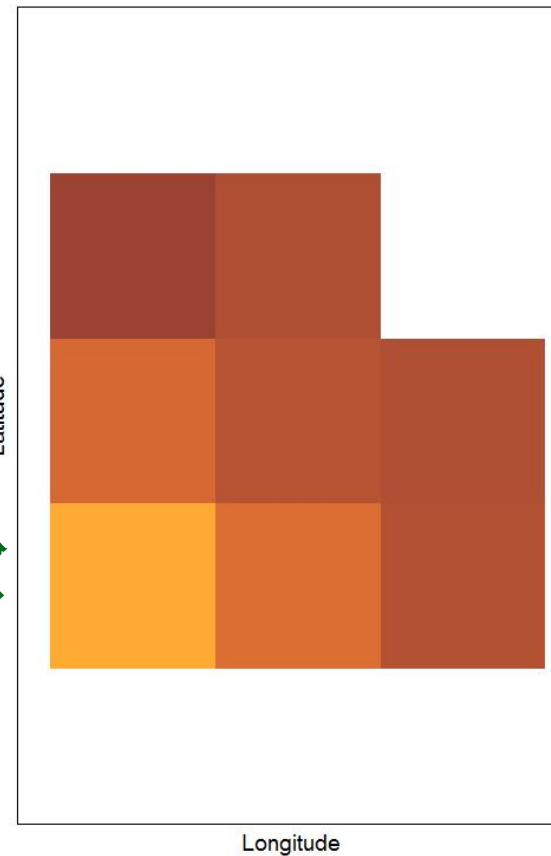
Tutkamallin parametrien oppiminen

- Tässä esimerkissä mittausdataa rajatulta alueelta (kuvassa valkoisella alue, josta ei dataa).
- Mitä tehdään, jos mallinnettu ja mitattu suorituskyky poikkeavat toisistaan, kuten tässä esimerkissä?

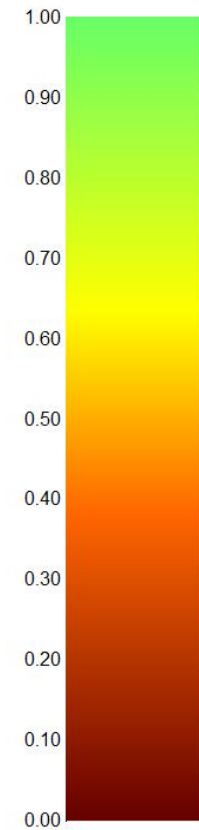
Mallinnettu havaintokyky (alkuperäinen)
Radar Probability of Detection



Mitattu havaintokyky
Radar Probability of Detection



Pd

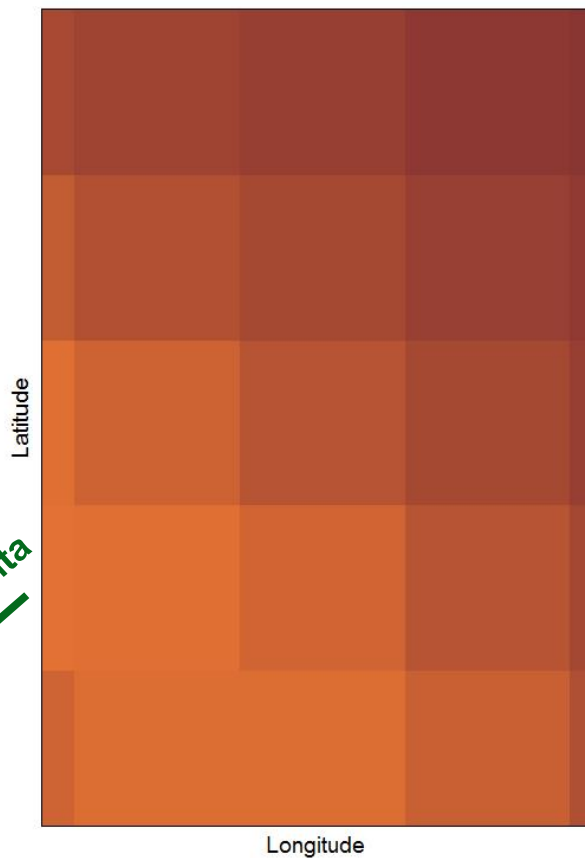


2. Ilmavalvonnan suorituskykymallin opettaminen

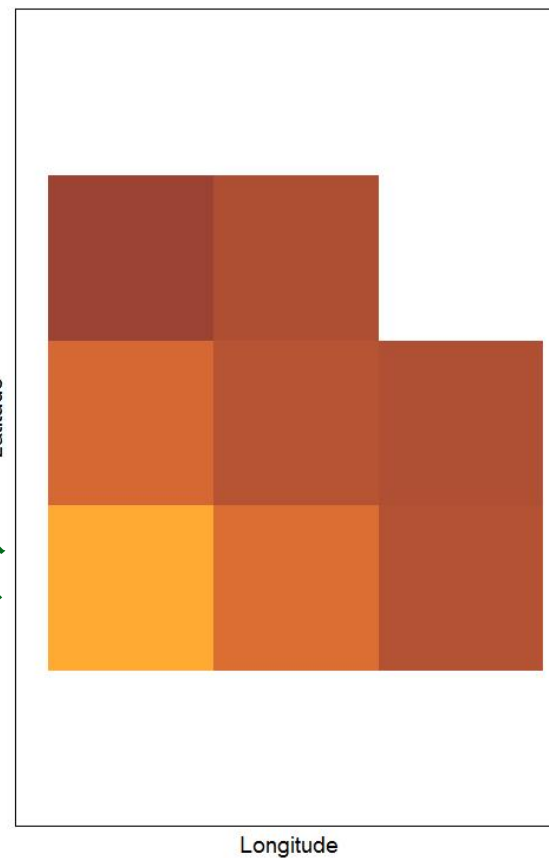
Tutkamallin parametrien oppiminen

- Laadimme algoritmin, joka automaattisesti parametrisoi tutkamallin tuottamaan koko tarkastellulle alueelle (3D-tilavuuteen) keskimäärin mahdollisimman tarkasti tavoitellun (mitatun) suorituskyvyn.
- Menetelmänä tutkan parametrien, kuten lähetysteho ja antennivahvistus, optimointi.

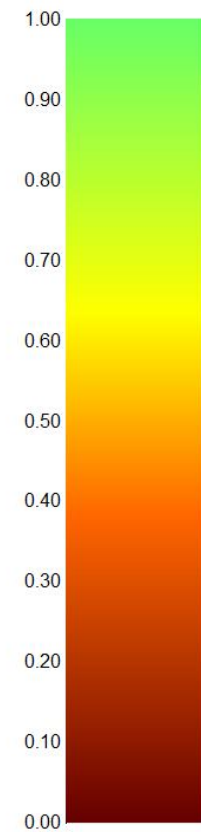
Mallinnettu havaintokky (koneopetettu)
Radar Probability of Detection



Mitatuu havaintokky
Radar Probability of Detection



Pd



2. Ilmavalvonnan suorituskykymallin opettaminen

Seurantalaskimen mallin oppiminen

Seurantalaskin on ohjelmisto, jolle ei ole olemassa suoraviivaisia suorituskyvyn kuvaavia fysikaalisia yhtälöjä kuten tutkalle. Miten sille laaditaan yleistävä malli?

- Mittausdatasta laskettuja tutkan ja seurannan suorituskykyarvoja hyödynnetään seurantamallin oppimisessa.
- Seurantalaskin mallinnetaan tutkien suorituskykyä kuvaavien tunnuslukujen ja seurannan suorituskykyä kuvaavien tunnuslukujen välisenä syy-seuraussuhteena.
- Yksinkertainen, helposti tulkittava, seurantalaskimen malli koneopetetaan kehittämällämme geneettiseen optimointiin (genetic programming) perustuvalla menetelmällä^[1].

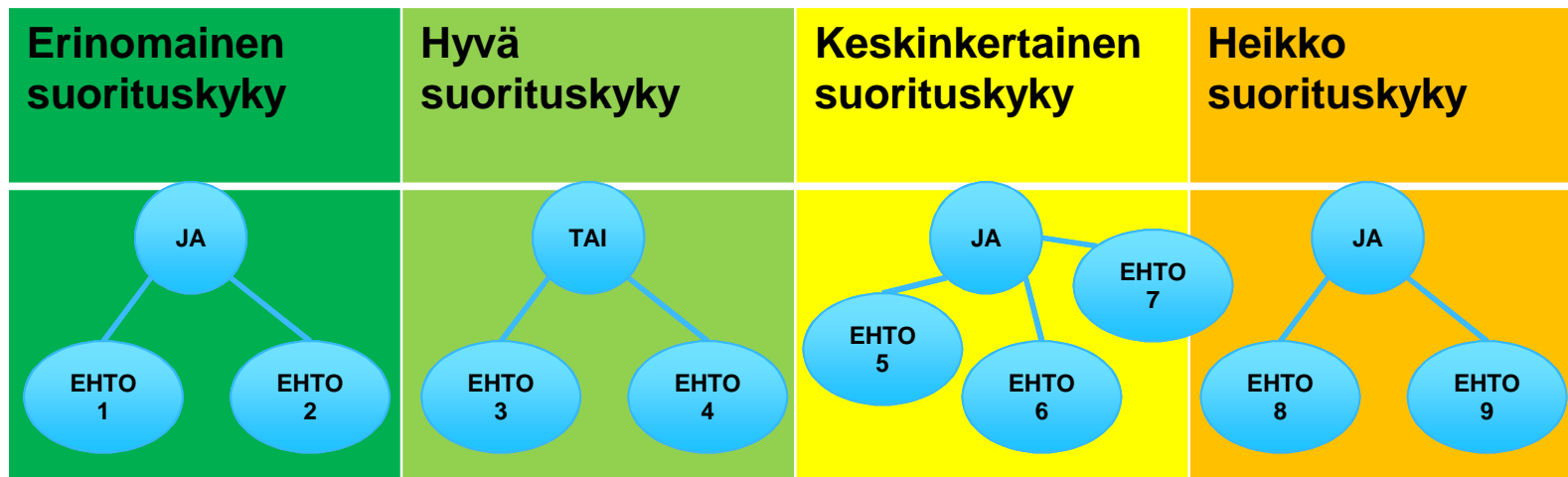
[1] M. Ruotsalainen, J. Jylhä ja A. Visa, Reasoning Logical Rules from Multi-sensor Data for Lifecycle Management of Aircraft Structures, *Proc. IEEE Congress on Evolutionary Computation*, s. 3221–3227, kesäkuu 2013.



2. Ilmavalvonnan suorituskykymallin opettaminen

Seurantalaskimen mallin oppiminen

Laaditun suorituskykymallin konseptitason kuvaus



- Menetelmää on testattu reaali-datalla siten, että ennustetaan tutkien suorituskykyä kuvaavista tunnusluvuista seurantalaskimen suorituskykyluokka (binäärinen luokitus).
- Saatujen tulosten perusteella seurantalaskimen suorituskykyluokka kyetään ennustamaan oikein yli 90 % todennäköisyydellä, joten seurantalaskimen suorituskyky mallintuu luotettavasti.



3. Mittausdatan ja suorituskykytiedon tallentaminen tietokantaan

- Miten ilmavalvontajärjestelmän hetkellinen suorituskykytieto saadaan tallennettua historiatiedoksi ja myöhemmin hyödynnettyä lähitulevaisuusesteeksi helposti ja nopeasti?
 - Ilmavalvontajärjestelmän alueellinen suorituskyky riippuu mm. tutkien ryhmityksestä, toimintatiloista ja vallitsevista olosuhteista.
 - Suunnittelimme ja ohjelmoimme Java-pohjaisen oliotietokannan, johon mittausdata ja tuotetut ilmavalvontajärjestelmän suorituskykyä kuvaavat tunnusluvut tallennetaan.
 - Tiettyä aluetta koskevan, olosuhteisiin sidotun, suorituskykytiedon nopeaa hakua varten tietokanta on indeksoitu paikan ja ajan perusteella.
- Suorituskykymallinnus + tietorakenne tarjoaa
 - Historia: monipuolinen koneoppiminen taltioidusta mittausdatasta.
 - Nykyhetki: arvio kyvystä muodostaa tilannekuvaa alueittain.
 - Lähitulevaisuus: muutoksien (käyttö, tilanne, olosuhteet, ...) vaikutuksen ennustaminen ja tiedon hyödyntäminen eri sovelluskohteissa.



```
>> tic
aircraftPathObject = javaMethod('loadAircraftPath', ...
    'objectdatabase.userinterface.Operation', searchAreaDB, searchTimeDB, ...
    'limited');
toc
Elapsed time is 0.171670 seconds.
>>
>> tic
apANDtpObject = javaMethod('loadAircraftPathsAndRelatedTrackPaths', ...
    'objectdatabase.userinterface.Operation', searchAreaDB, searchTimeDB, ...
    'limited');
toc
Elapsed time is 1.825964 seconds.
>>
>> tic
trackPathAndPlotObject = javaMethod('loadTrackPathsAndRelatedPlots', ...
    'objectdatabase.userinterface.Operation', searchAreaDB, searchTimeDB, ...
    'limited');
toc
Elapsed time is 1.457595 seconds.
>>
>> tic
voxelObject = javaMethod('loadVoxels', ...
    'objectdatabase.userinterface.Operation', searchAreaDB, searchTimeDB, ...
    'limited');
toc
Elapsed time is 0.037813 seconds.
>>
```

Haetaan lentoradat tietyltä alueelta.

Haetaan lentoradat ja niihin assosioidut seurannat tietyltä alueelta.

Haetaan seurannat ja niihin liittyvät tutkahavainnot tietyltä alueelta.

Haetaan suorituskykytunnusluvut tietyltä alueelta.

4. Tulosten hyödyntäminen

1. Ilmavalvontajärjestelmän suorituskyvyn esittäminen karttapohjalla operatiivisen suunnittelun (esim. sensoreiden toimintatilat ja ryhmitys) tueksi.
2. Ilmavalvontajärjestelmän itsediagnostiikka (esim. virheet ja viat) ja kalibrointi (esim. biaskorjaukset).
3. Ilmavalvontajärjestelmän optimaalinen ohjaaminen esimerkiksi, kun
 - tunnistetaan yhteistyöhaluttomat maalit,
 - väistetään tai suodatetaan häiriöitä (ilmakehä ja häirintä),
 - suojaudutaan säteilyyn hakeutuvilta ohjuksilta menettämättä liikaa valvontakykyä.
4. Adaptiivisen tai kognitiivisen valvontajärjestelmän kehittäminen.



5. Yhteenveto ja jatkokehitys

- Vuonna 2016
 - Laadittiin menetelmät valvonnan suorituskyvyn laskentaan ja koneoppimiseen mittausdatasta – periaate osoitettiin toimivaksi.
 - Toteutettiin Java-pohjainen oliotietokanta laaja-alaisen mitatun historiatiedon taltioimiseen ja tehokkaaseen hyödyntämiseen.
 - Kirjoitetaan marraskuussa saaduista tuloksista konferenssijulkaisu.
- Vuodelle 2017 ehdotetaan
 - Koneoppimisen menetelmien jatkokehitys:
 - Tutkamalli: huomioidaan toimintatilat, olosuhteet, ilma-aluksen lentosuunta
 - Seurantalaskinmalli: monipuolisemmat syötteen (tutkamallin ulostuloista), suorituskykyluokituksen kehitys
 - Tietokanta: testataan hyödyntäminen eri simuloituissa käyttötapauksissa
 - Lehtiartikkelin laatiminen.

