



# **Online-oppiva ilmavalvontajärjestelmän suorituskykymalli**

**MATINE:n tutkimusseminaari  
16.11.2017**

Juha Jylhä ja Marja Ruotsalainen  
Tampereen teknillinen yliopisto  
Signaalinkäsittelyn laboratorio

Hankkeelle myönnetty MATINE-rahoitus: 60 000 €

# Esityksen sisältö

1. Johdanto
2. Suorituskyvyn laskeminen mittausaineistosta
3. Suorituskyvyn tallentaminen tietokantaan
4. Suorituskyvyn oppiminen
  - Tutkamallin automaattinen parametointi
  - Seurantalaskinmallin automaattinen muodostaminen
5. Oppivan suorituskykymallin sovellukset
  - Sensoriverkon kalibrointi ja diagnostiikka
  - Sensoriverkon konfigurointi ja ohjaaminen
6. Johtopäätökset ja yhteenveto



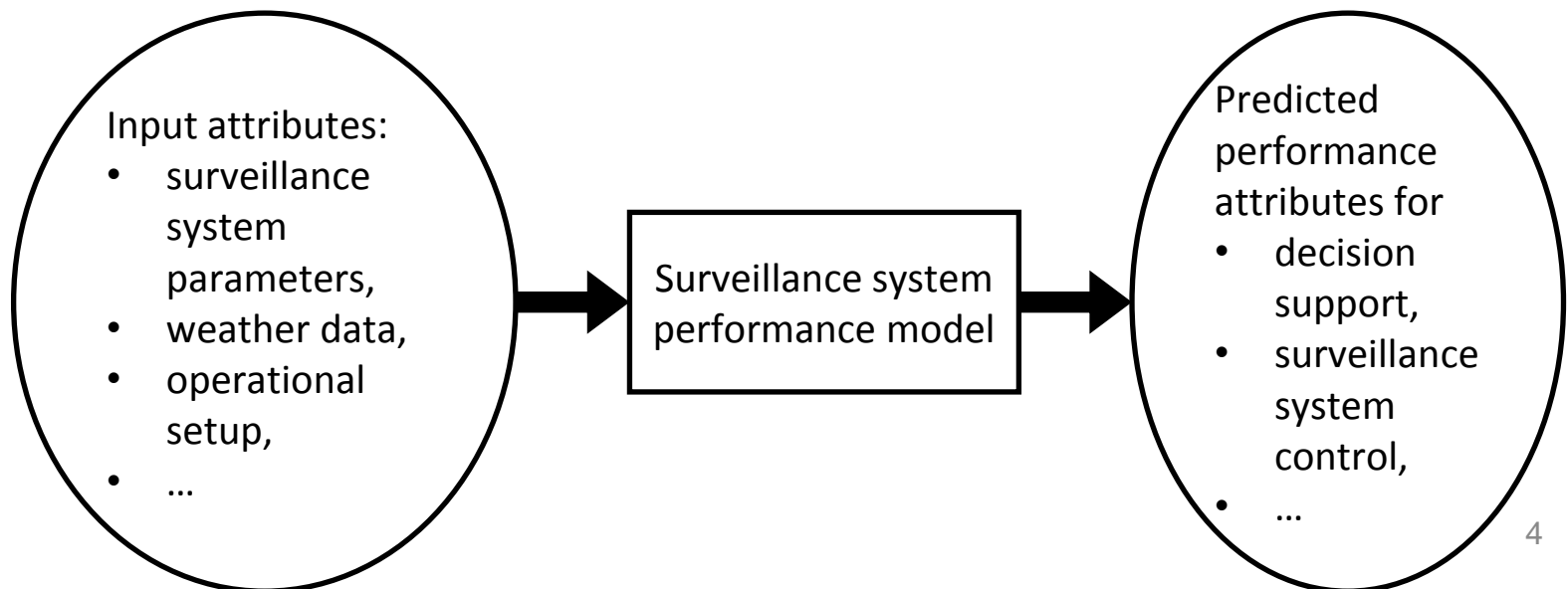
# Johdanto

- **Tutkimusongelma**
  - Ilmavalvontajärjestelmän suorituskykymallinnuksen kehittäminen aiempaa tarkemmaksi ja kattavammaksi
- **Tutkimusmenetelmä**
  - Kehitetään optimoinnin ja koneoppimisen menetelmiä, jotka validoidaan käyttäen suurta määrää mitattua aineistoa
  - Menetelmien kehityksessä pyritään hyödyntämään valvontajärjestelmän aihealueosaaminen (domain-tieto)
- **Tutkimuksen tavoite**
  - Valvontajärjestelmän ”älykkyyden” kehittäminen
  - Kyky käyttää valvontajärjestelmää tehokkaammin
  - Suorituskyvyn kustannustehokas kasvattaminen valvontajärjestelmän taktista käyttöä kehittämällä



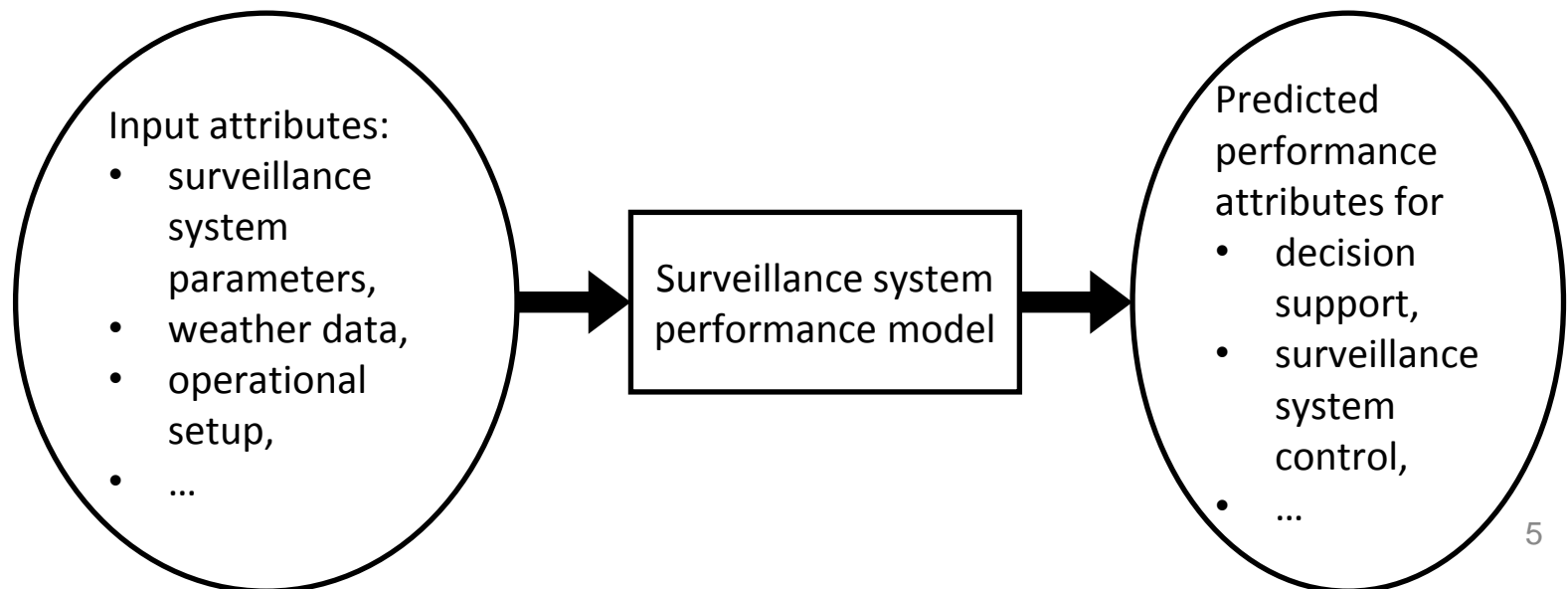
# Johdanto

Tarvitaan malli, joka ennustaa suorituskyvyn.

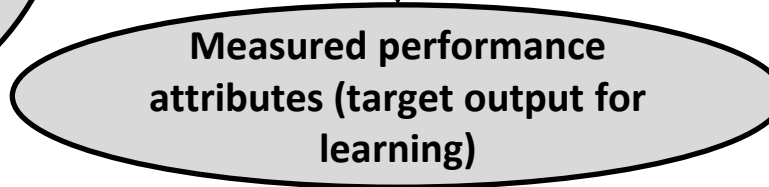
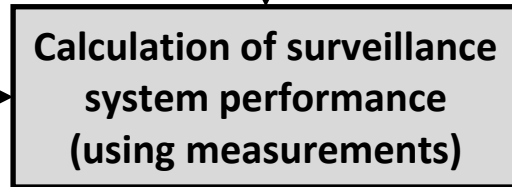
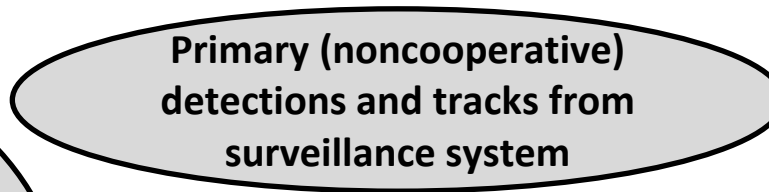
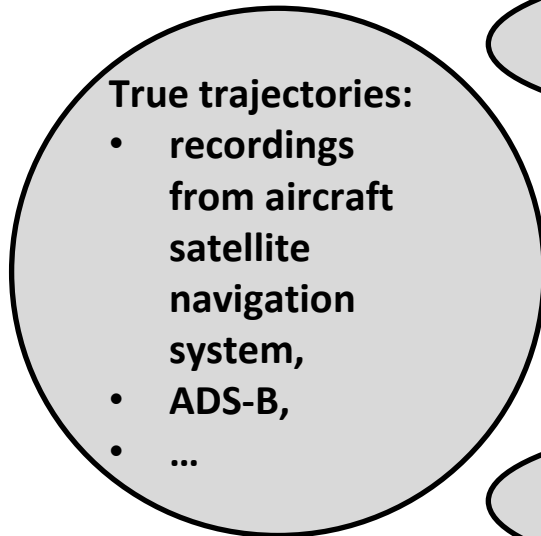


# Johdanto

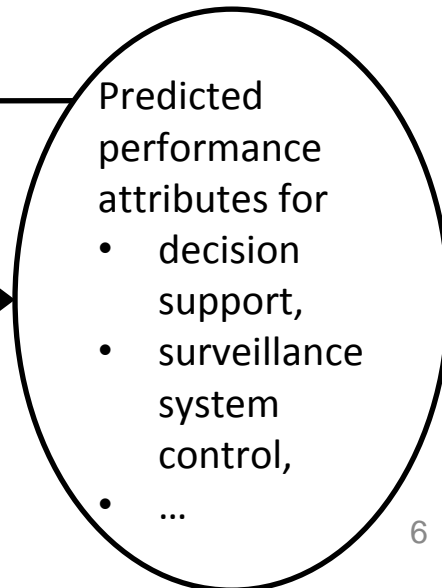
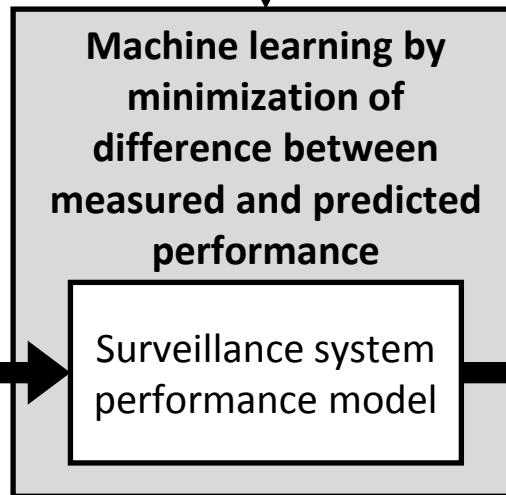
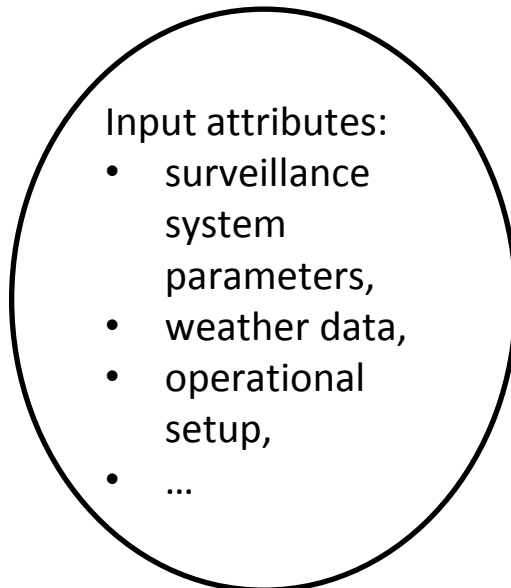
Miten varmistetaan, että malli on validi kaikissa olosuhteissa?



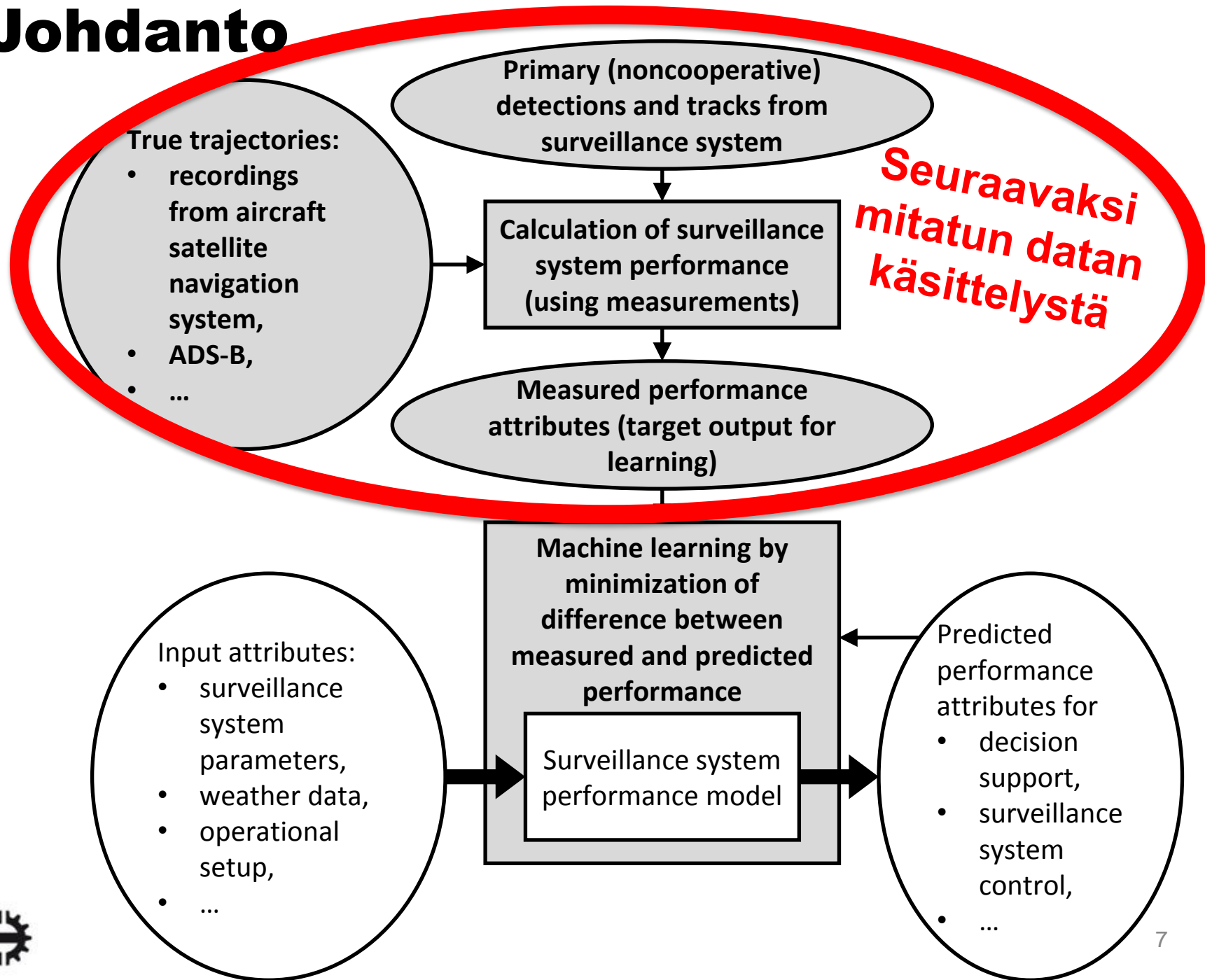
# Johdanto



Ehdotamme ratkaisuna koneoppimista



# Johdanto



# Suorituskyvyn laskeminen mittausaineistosta

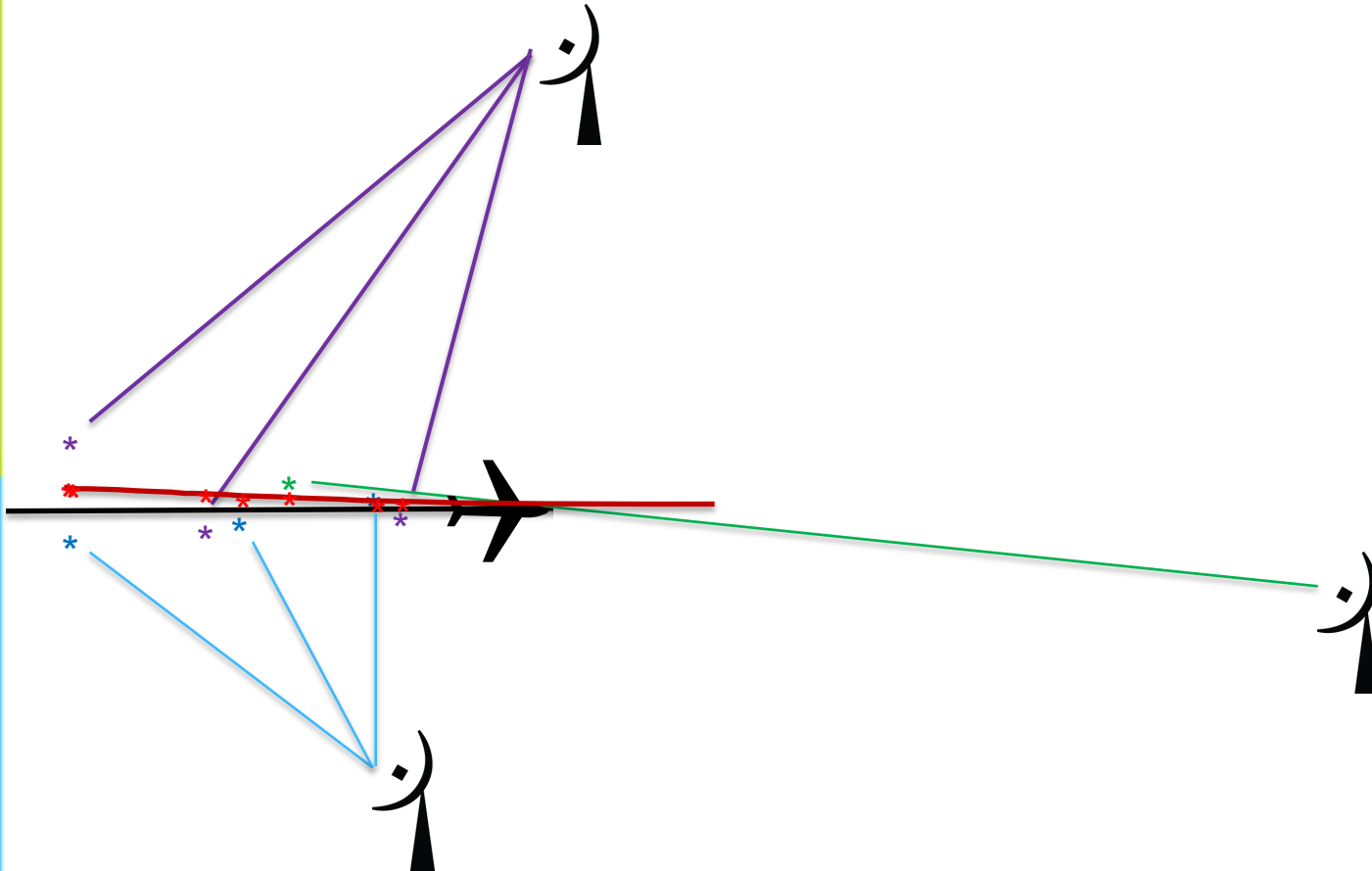




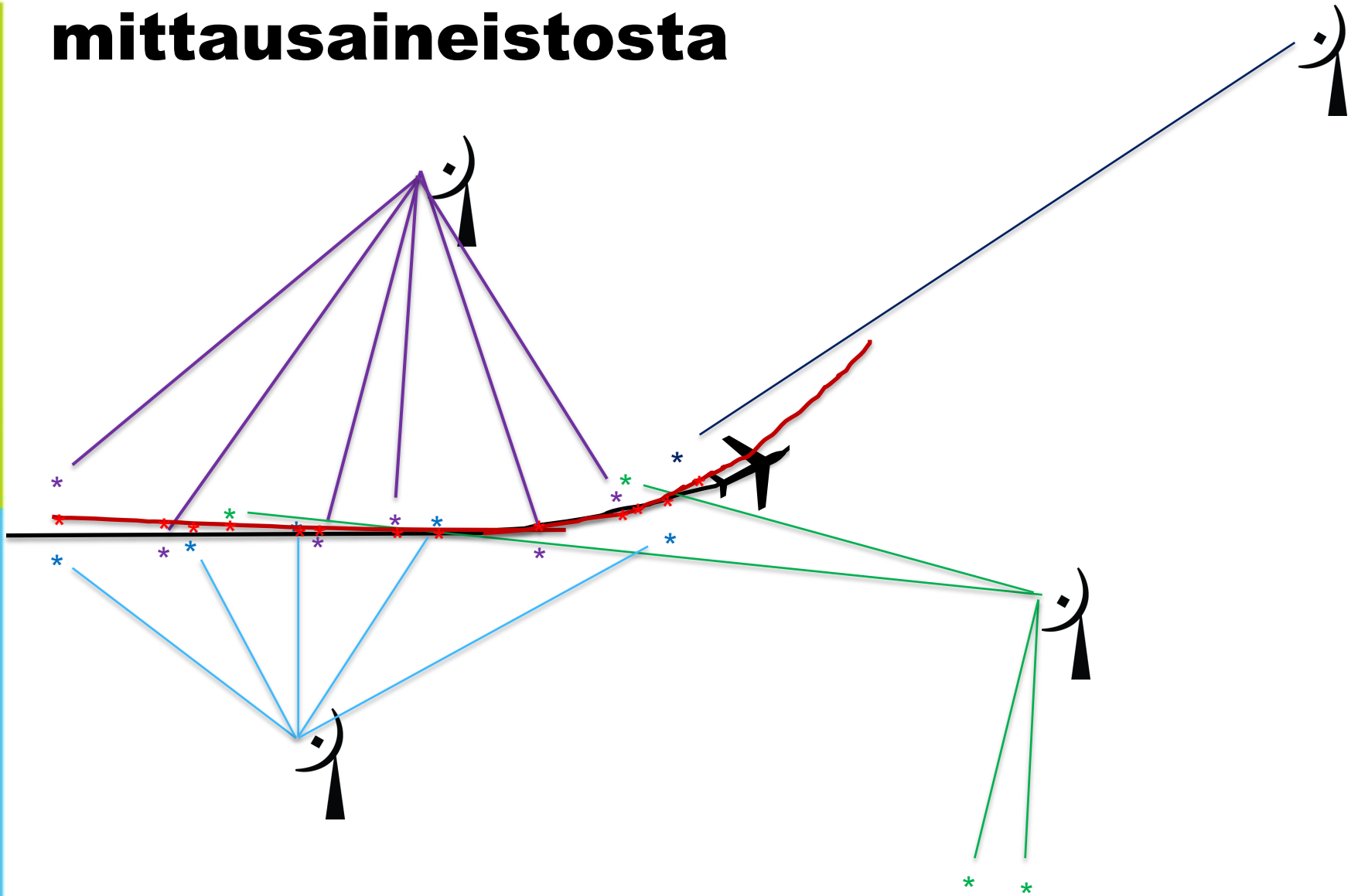
# Suorituskyvyn laskeminen mittausaineistosta



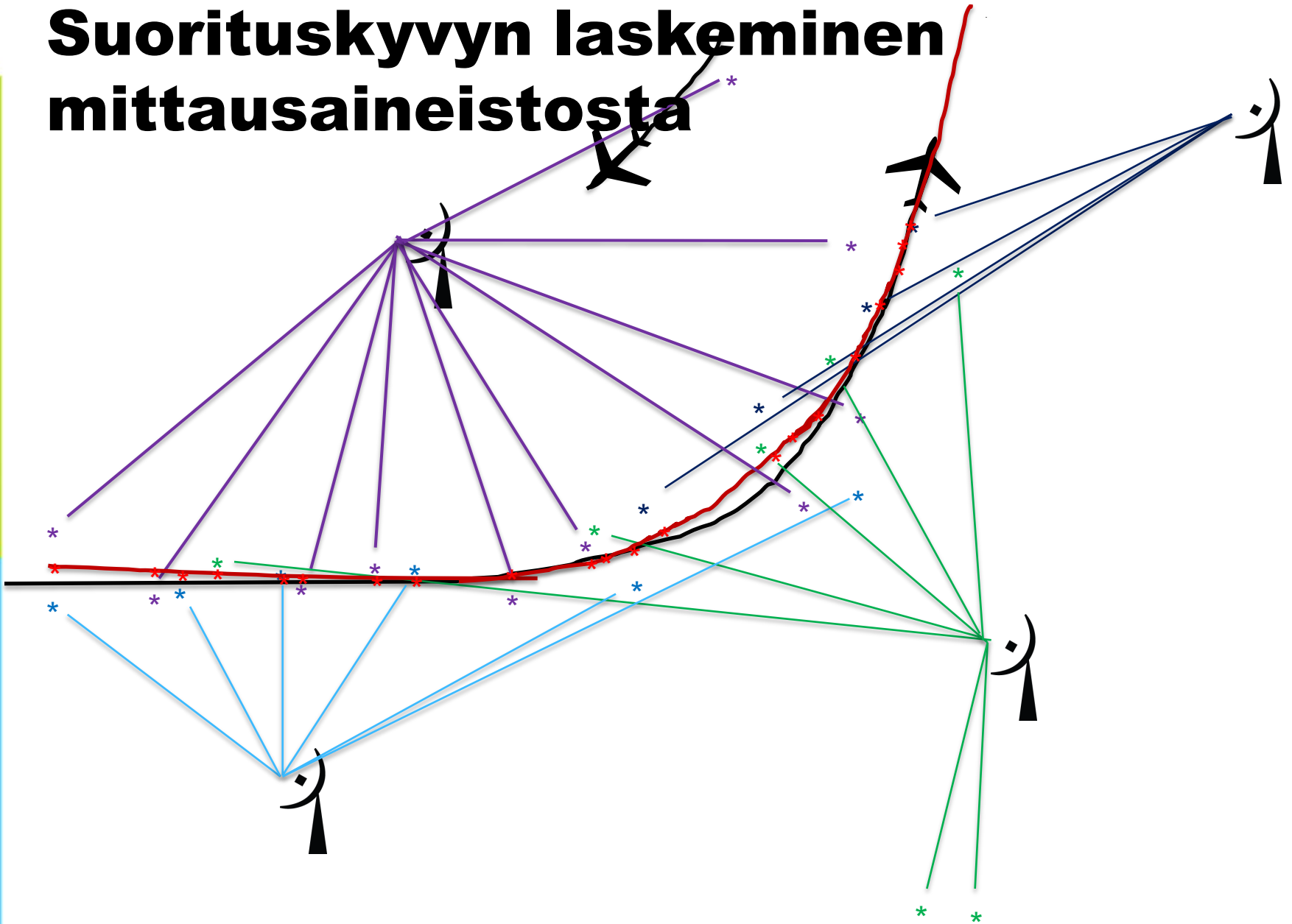
# Suorituskyvyn laskeminen mittausaineistosta



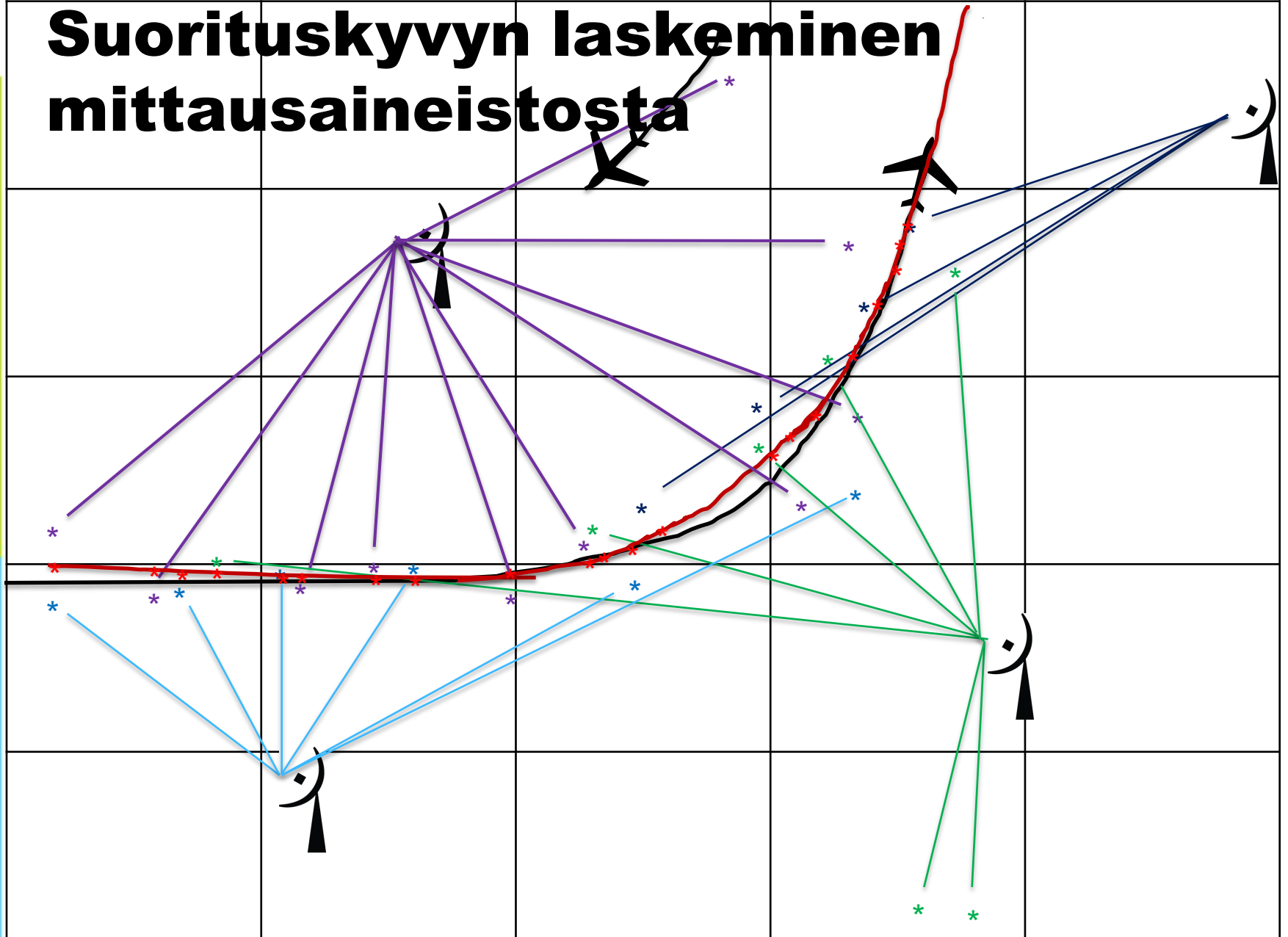
# Suorituskyvyn laskeminen mittausaineistosta



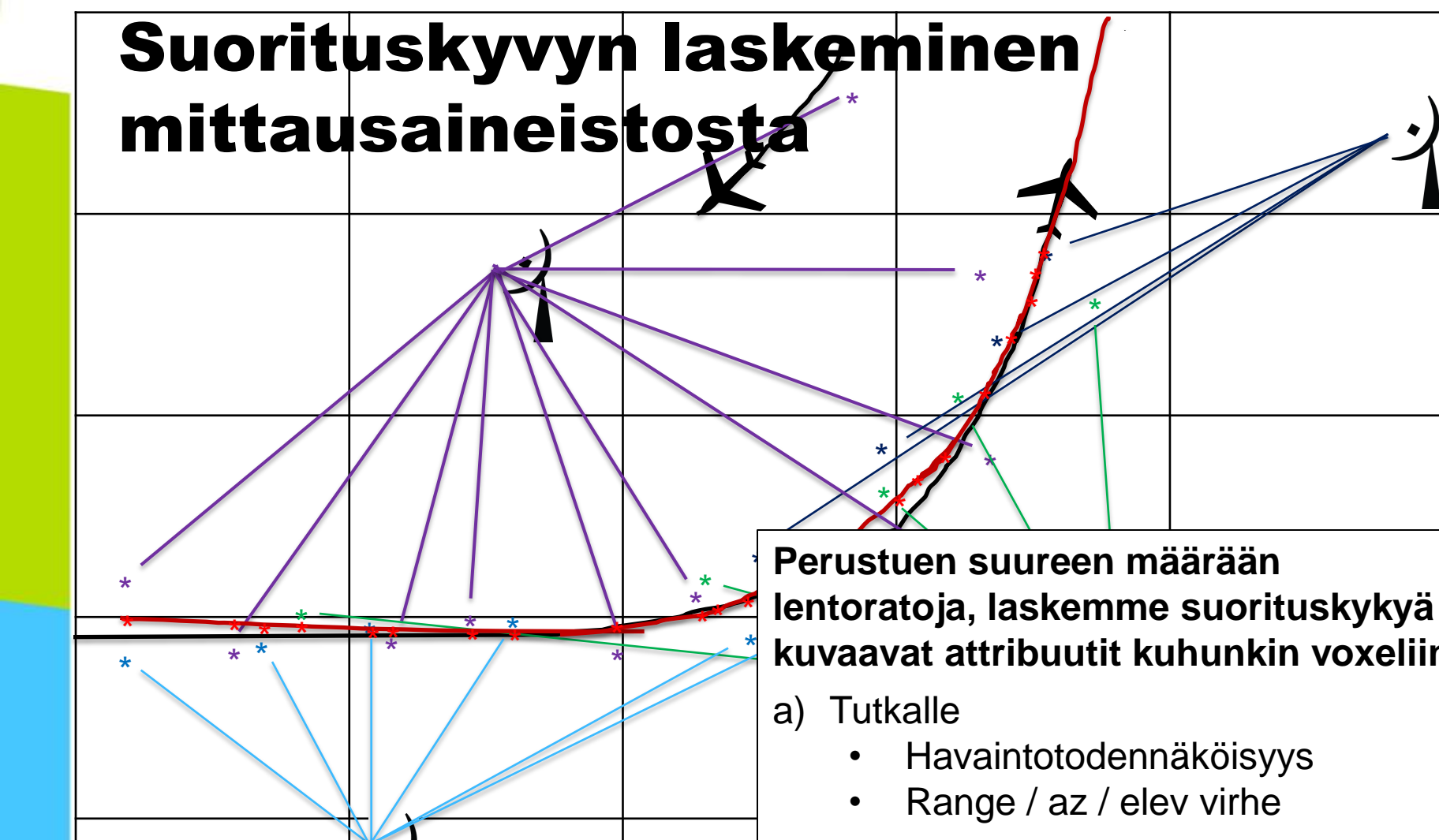
# Suorituskyvyn laskeminen mittausaineistosta



# Suorituskyvyn laskeminen mittausaineistosta



# Suorituskyvyn laskeminen mittausaineistosta



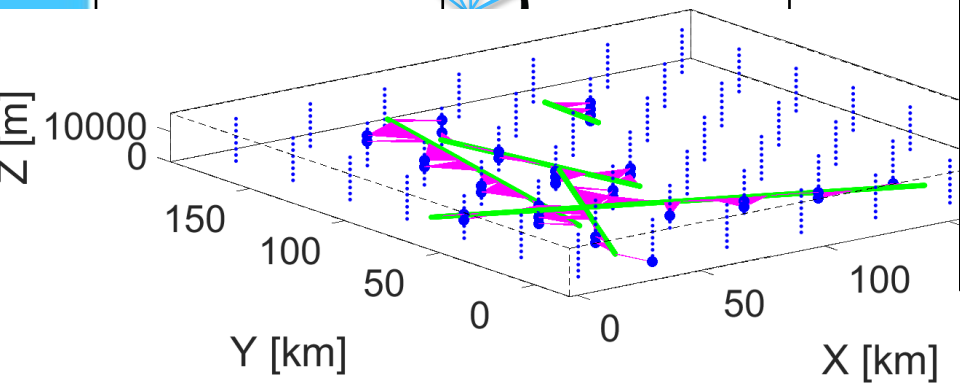
**Perustuen suureen määrään lentoratoja, laskemme suorituskykyä kuvaavat attribuutit kuhunkin voxeliin:**

a) Tutkalle

- Havaintotodennäköisyys
- Range / az / elev virhe
- ...

b) Seurantalaskimelle

- Seurannan todennäköisyys
- Sijaintivirhe
- ...

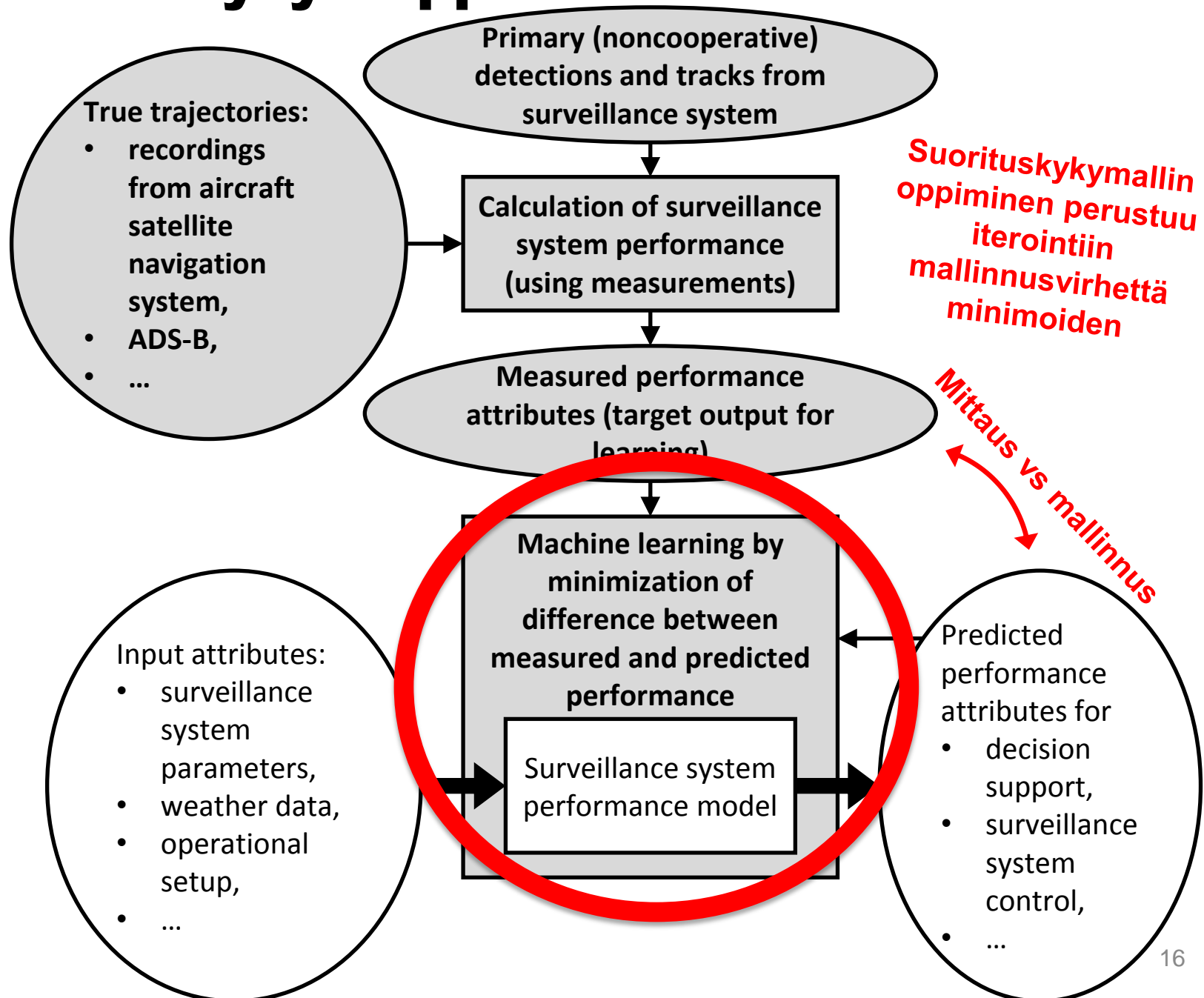


# Suorituskyvyn tallentaminen tietokantaan

- Ilmavalvontajärjestelmän hetkellinen mitattu suorituskykytieto kannattaa tallentaa sopivassa formaatissa historiatiedoksi tietokantaan.
- Mitä kattavampi historiatieto, sitä tarkempi suorituskykymalli on odotettavissa.
- Vuonna 2016 laadimme Javalla esimerkinomaisen tietokannan, jossa spatio-temporaalinen indeksointi.



# Suorituskyvyn oppiminen



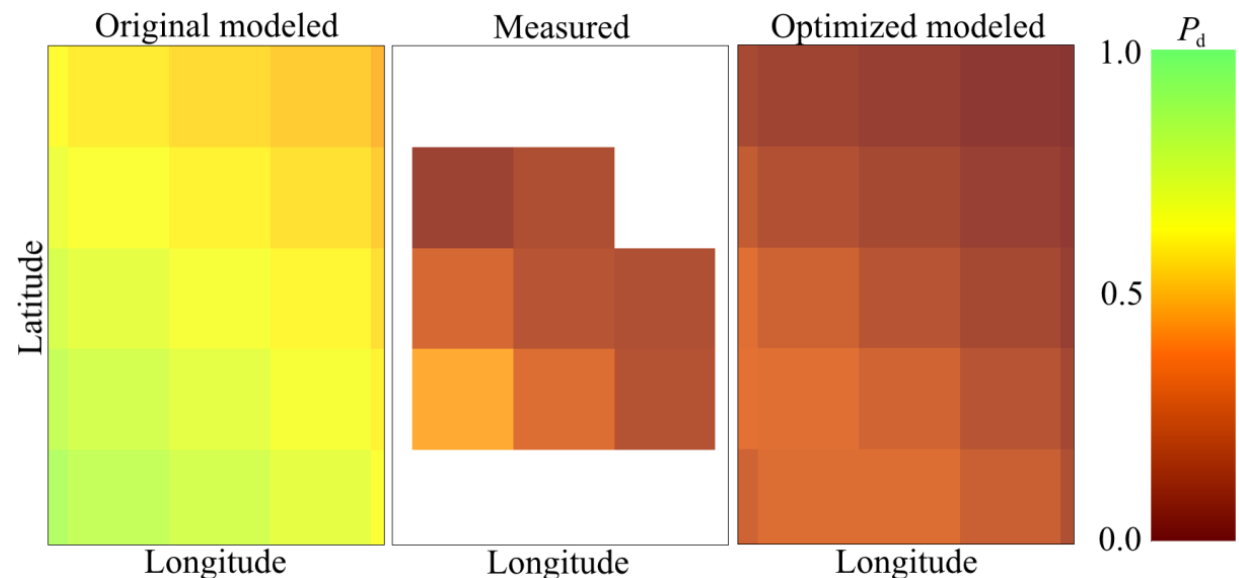


# Suorituskyvyn oppiminen

## Tutkamallin automaattinen parametointi

- Tutkan suorituskykymalli kuvaa tutkan kyvyn havaita maaleja, esim. havaintokyky  $P_d$  (SNR)
- Tässä testissä tutkayhtälön parametrit on optimoitu minimoimaan mitatun ja mallinnetun suorituskyvyn välisen eron

$$\frac{S}{N} = \frac{P G_T G_R \lambda^2 \sigma G_{3P} G_I}{(4\pi)^3 R^4 (FkT_0 B + S_w) L}$$



# Suorituskyvyn oppiminen

## Seurantalaskinmallin automaattinen muodostaminen

- Yleensä seurantalaskimen mallinnus toteutetaan Monte-Carlo toistokokeella (hidasta ja kömpelöä).
- Käytimme koneoppimista tuottamaan luokittimen, joka ennustaa viiteen tasoon jaetun seurannan suorituskyvyn. Luokittimen sisäänmenona on tutkan suorituskyvyn tunnusluvut.
- Oppimiseen testasimme useaa menetelmää ja parhaaksi valikoitui geneettiseen ohjelmointiin perustuva sääntöjä etsivä menetelmä.

TABLE I

AN EXAMPLE OF THE TRACKER PERFORMANCE MODEL CREATED BY OUR GPRL LEARNING METHOD. THE METHOD AUTOMATICALLY DETERMINES THE RULES AND THRESHOLD VALUES BASED ON MEASUREMENT DATA.

```
If ( $P_d > t_1$ ) and ( $(AccRAvg < t_2)$  or ( $AccAzAvg < t_3$ ))
```

```
Return "EXCELLENT"
```

```
Else if ( $P_d > t_4$ ) and ( $AccEuc < t_5$ )
```

```
Return "GOOD"
```

```
Else if ( $P_d > t_6$ ) and ( $(P_d > t_7)$  or ( $AccRAvg < t_8$ ))
```

```
Return "MODERATE"
```

```
Else if ( $FScan > t_9$ ) and ( $AccRAvg < t_{10}$ )
```

```
Return "WEAK"
```

```
Else
```

```
Return "POOR"
```

TABLE II

CONFUSION MATRIX FOR THE MODEL PRESENTED IN TABLE I. THE ROWS OF THE MATRIX REPRESENT THE TRUE PERFORMANCE LEVELS OF THE VOXELS AND THE COLUMNS THE CLASSIFICATION RESULT.

PREDICTED						
Excellent	Good	Moderate	Weak	Poor		
2	5	5	0	0	Excellent	TRUE CLASS
1	6	5	2	1	Good	
0	8	14	2	2	Moderate	
0	1	5	15	2	Weak	
0	0	0	2	7	Poor	

# Suorituskyvyn oppiminen

**Edellä esitetyt tulokset on julkaistu kahdessa konferenssiartikkelissa vuonna 2017:**

- M. Ruotsalainen ja J. Jylhä, “Learning of a tracker model from multi-radar data for performance prediction of air surveillance system,” *Proc. of the IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, IEEE, kesäkuu 2017.
- J. Jylhä, M. Ruotsalainen, V. Väisänen, K. Virtanen, M. Harju ja M. Väilä, “A machine learning framework for performance prediction of an air surveillance system,” *Proc. of the European Radar Conference (EURAD)*, IEEE, lokakuu 2017.



# Oppivan suorituskykymallin sovellukset

## Sensoriverkon kalibrointi ja diagnostiikka

- Kehitettyjä menetelmiä on mahdollista hyödyntää tutkaverkon virhetekijöiden analysoinnissa.
- Jos mitattu ja (validisti) mallinnettu suorituskyky poikkeavat, on syytä epäillä, että joku osa järjestelmää toimii virheellisesti.
- Huom. mittauksien analyysimenetelmä on täysin automatisoitu.



# Oppivan suorituskykymallin sovellukset

## Sensoriverkon konfigurointi ja ohjaaminen

- Validi mallinnettu suorituskyky voidaan visualisoida päätöksentekijöille.
- Tutkaverkon konfiguraation (ml. moodivalinnat) suunnittelu eri tilanteissa. What-if-tarkastelut.
- Tutkien (ja muiden sensoreiden) muodostaman sensoriverkon ohjaamisessa on jatkuvasti hyvin suuri – käytännössä ääretön määrä – vaihtoehtoja.



# Oppivan suorituskykymallin sovellukset

## Sensoriverkon konfigurointi ja ohjaaminen

- Laadimme sensoriverkon ohjaamisesta esimerkkitarkastelun, jossa yhtäaikaisesti optimoidaan ilmavalvontajärjestelmän valvontakykyä ja taistelunkestävyyttä.
  - Menetelmä löytää optimin suuresta määrästä esiasetettuja moodivaihtoehtoja – huomioiden asetetut kriteeripainotukset.
  - Tarkastelimme suorituskykymallin tarkkuuden (validius) merkitystä → virheellinen malli tuottaa väärän ”optimiratkaisun”.



# Johtopäätökset ja yhteenveto

- Tässä kaksivuotisessa (2016–2017) hankkeessa selvitettiin koneoppimisen mahdollisuuksia ilmavalvontajärjestelmän suorituskyvyn mallintamiseen.
- Laadimme kehyksen suorituskyvyn koneoppimiseen (machine learning framework).
- Oppimisen periaate vaikuttaa erittäin potentiaaliselta.
- Tutkamallin oppimisessa tarvitaan tutkajärjestelmäasiantuntijoita määrittelemään epävarmimmin tunnetut parametrit ja niille arvoalueen rajat. Oppiminen määritellään erikseen järjestelmäkohtaisesti. Tässä hankkeessa oppimismenetelmän proof-of-concept.
- Seurantalaskinmallin oppimisessa tarvitaan järjestelmäasiantuntijoita määrittelemään seurannan laatutasot. Tässä hankkeessa oppimismenetelmän proof-of-concept.



# Johtopäätökset ja yhteenveto

- Online-oppivuus viittaa (reaaliajan sijaan ennemminkin) uudelleen oppimiseen.
  - Reaaliajassa ei kannata pyrkiä oppimaan mitään.
  - Liki reaaliajassa voidaan suorittaa esim. tutkaverkon kalibrointia tai diagnostiikkaa.
  - Varsinainen suorituskykymallin oppiminen tehdään uudestaan aina tarvittaessa, esim. kun käyttöön tulee uusi tutka, tutkamoodi tai sijainti, tai kun mallissa havaitaan puutteita. Esim. diagnostiikkarutiinin ajaminen saattaa paljastaa tarpeen uudelleenoppimiselle.
- Oppivan suorituskykymallinnuksen laajamittaiseen hyödyntämiseen tarvitaan massiivinen määrä dataa erilaisista tilanteista.
  - Datan kerääminen kannattaa tehdä suunnitelmallisesti ja automaattisesti.
  - Laadimme koeluonteisen tietokannan mitatun datan ja suorituskyvyn taltioimiseen.
- Sovelluksina tarkastelimme tässä hankkeessa:
  - Valvontajärjestelmän opitun suorituskyvyn visualisointi – päätöksenteon tueksi.
  - Tutkaverkon ohjaamisen käyttötapauksena valvontakyvyn ja taistelunkestävyyden yhtäaikainen optimointi. Tutustuimme tarkaan (opitun) suorituskykymallinnuksen hyötyihin.

