



Maanpuolustuskorkeakoulu



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Operaatiotutkimus sotilasympäristössä: Simulointi, optimointi ja päätöksenteon tuki

Kai Virtanen

**Systemianalyysin laboratorio, Matematiikan ja
systemianalyysin laitos, Aalto-yliopisto
Sotatekniikan laitos, Maanpuolustuskorkeakoulu**



The Finnish Defence Forces
Puolustusvoimat • Försvarsmakten



PUOLUSTUSVOIMIEN SUORITUSKYVYN KEHITTÄMINEN



SUUNNITTELU

Strategiat &
Uhka-analyysit



KEHITTÄMINEN

Ohjelmat &
Yhteistyö



RAKENTAMINEN

Hankkeet &
Resurssit



KÄYTTÖ

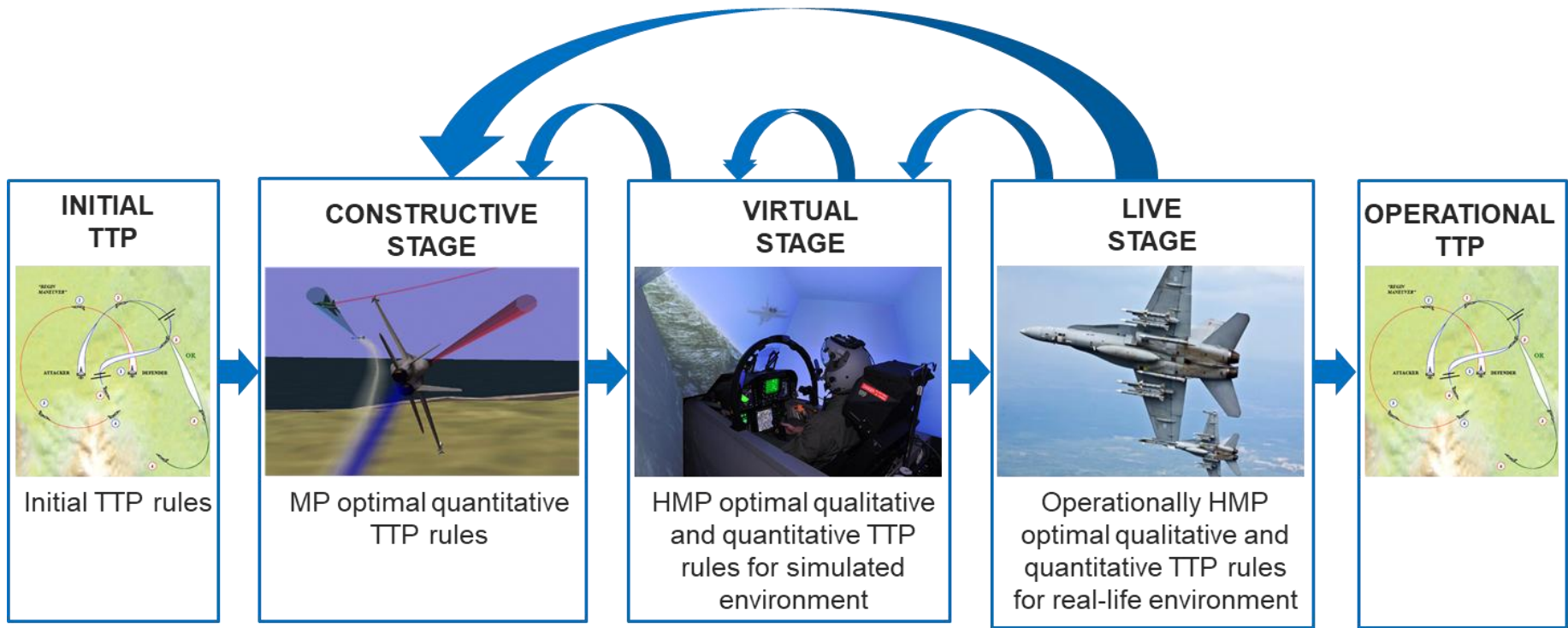
Tehtävät &
Toiminta

Esimerkkejä OR-malleista puolustusvoimien suorituskyvyn suunnittelun, kehittämisen, rakentamisen ja käytön tukena





Simulointi ilmataistelutaktiikoiden kehittämisen tukena



TTPs = Tactics, Techniques and Procedures; MP = Machine Performance; HMP = Human-Machine Performance

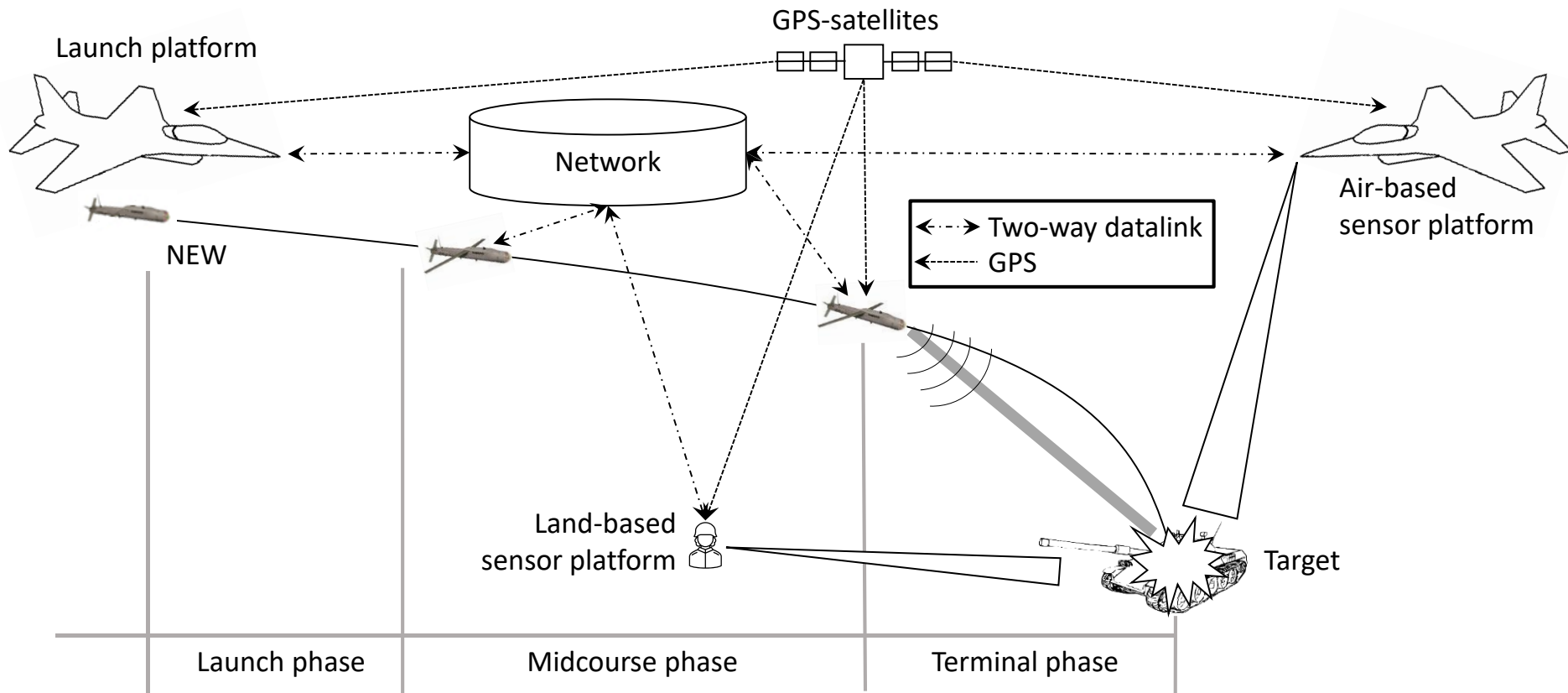
Mansikka, H., Virtanen, K., Harris, D., & Salomäki, J. (2021). Live–virtual–constructive simulation for testing and evaluation of air combat tactics, techniques, and procedures, Part 1: Assessment framework. *Journal of Defense Modeling and Simulation*.

Mansikka, H., Virtanen, K., Harris, D., & Salomäki, J. (2021). Live–virtual–constructive simulation for testing and evaluation of air combat tactics, techniques, and procedures, Part 2: Demonstration of the framework. *Journal of Defense Modeling and Simulation*.



Datalinkillä välitettävän maalitiedon vaikutus aseiden suorituskykyyn

Ilmataisteluohjusten ja ilmasta maahan –aseiden suorituskyvyn riippuvuus datalinkkimaalitiedon laadusta – sensoreiden & datalinkin ominaisuudet

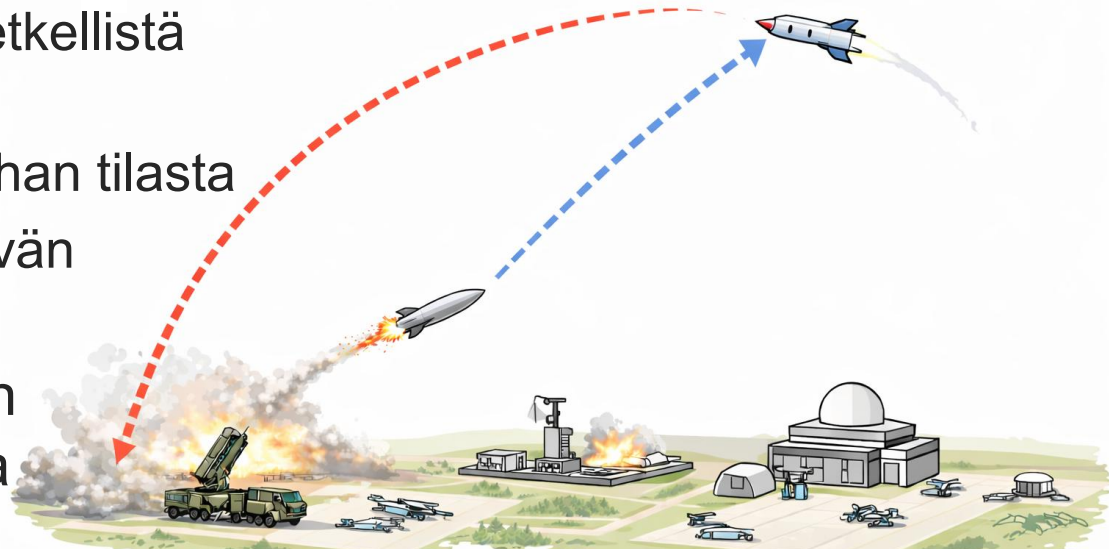


Öström, J., Sailaranta, T., & Virtanen, K. (2024). Effects of datalink target data on air-to-air missile performance. *Journal of Defense Modeling and Simulation*.



Maakohteiden suojauksen ohjauslaki hypersoonista uhkaa vastaan

- Suhteellinen navigointi
 - Pyrkii pitämään näkölinjan kulmanopeuden kohteeseen nollassa
 - ”Maksimoi osumatodennäköisyyden”
- Maakohteiden suojauksen ohjauslaki
 - ”Maksimoi maakohteiden selviytymistodennäköisyyden”
 - Perustuu suojausindeksiin, joka...
 - mittaa suojauksen hetkellistä tasoa
 - riippuu ohjuksen ja uhan tilasta
 - Maksimoi indeksin tehtävän keston yli
- Parempi suorituskyky kuin suhteellisella navigoinnilla



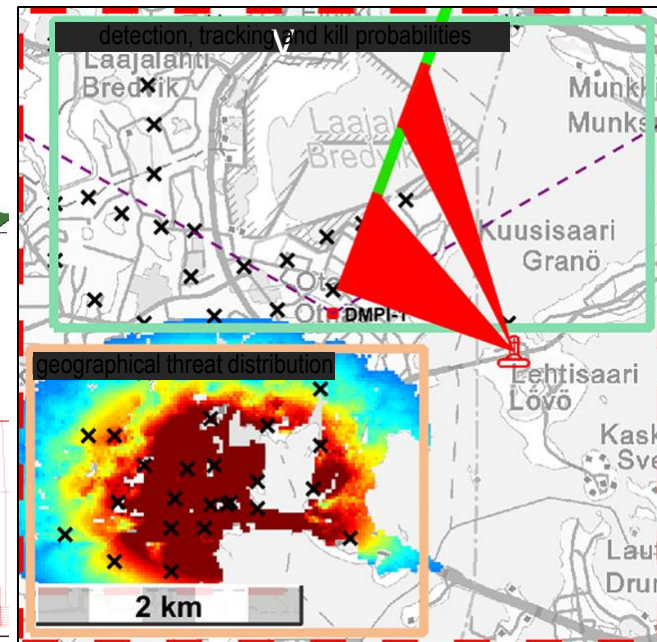
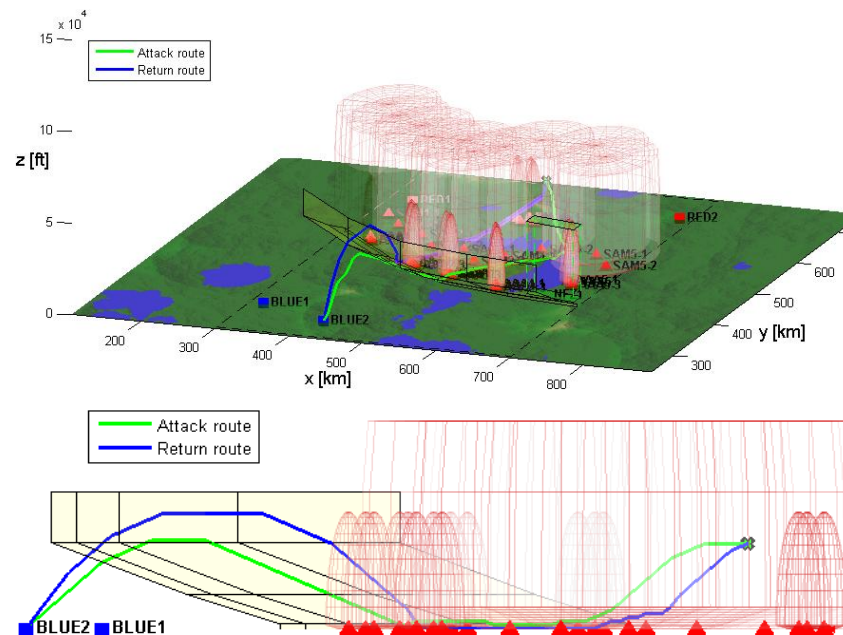


Lentoreittioptimointi – Ilmasta-ilmaan ja maasta-ilmaan uhan välttäminen

Monitavoitteinen verkko-optimointi ja simulointi

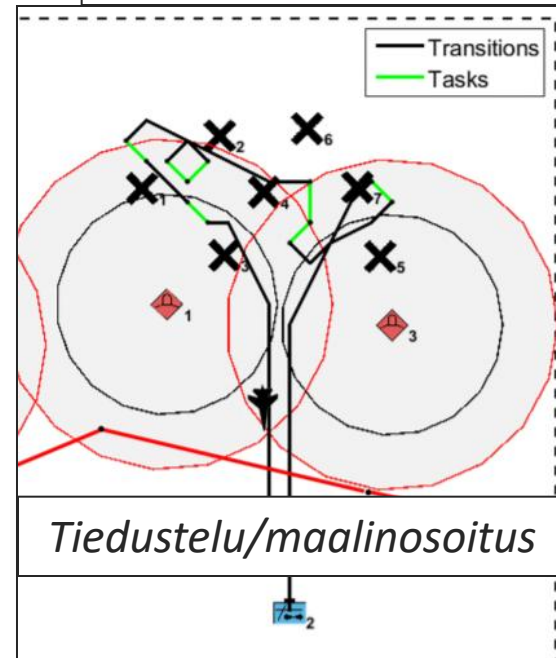
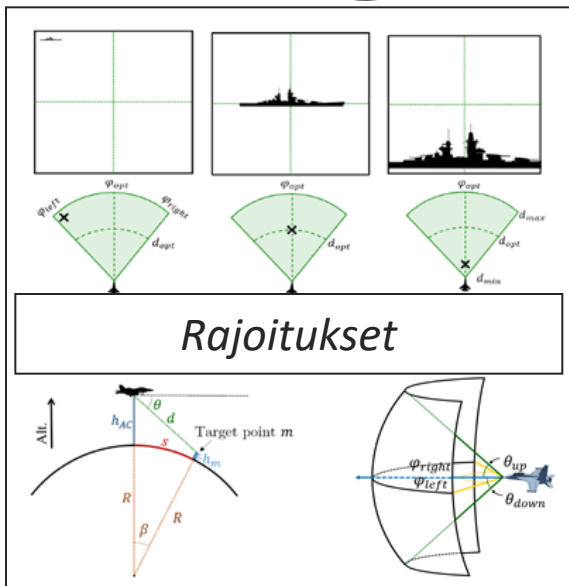
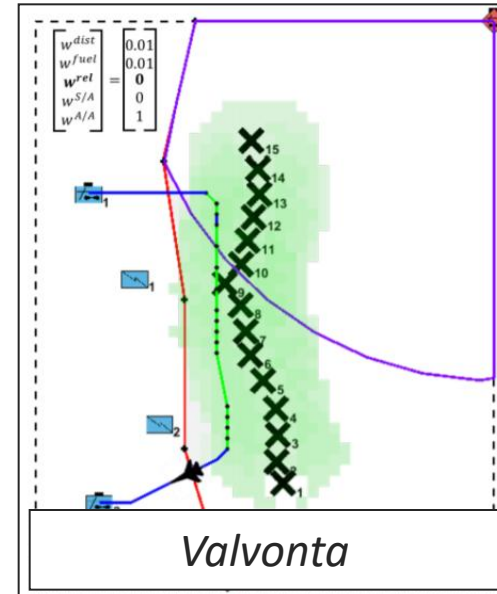
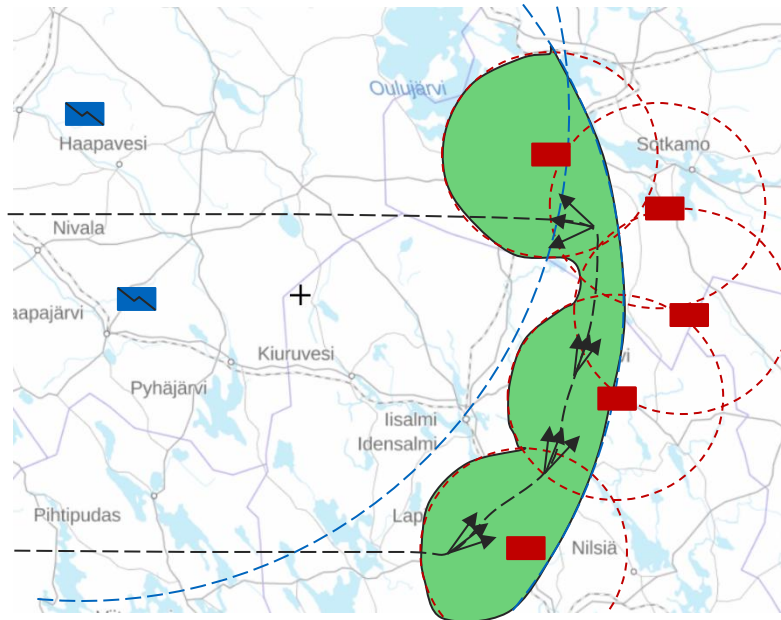
Ilmasta-ilmaan uhan simulointi

Maasta-ilmaan uhan sijaintijakauma – Bayesilainen päättely





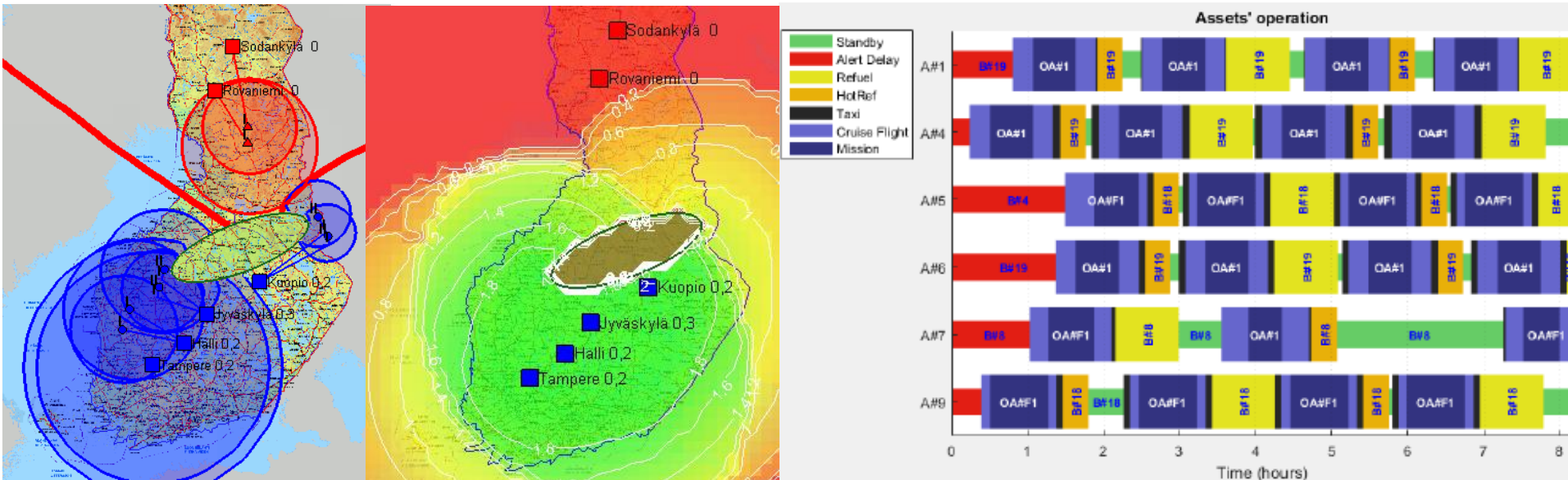
Monivaiheinen reitioptimointi





Hävittäjävoiman valmius-, ehtimis- ja riittävyystarkastelut

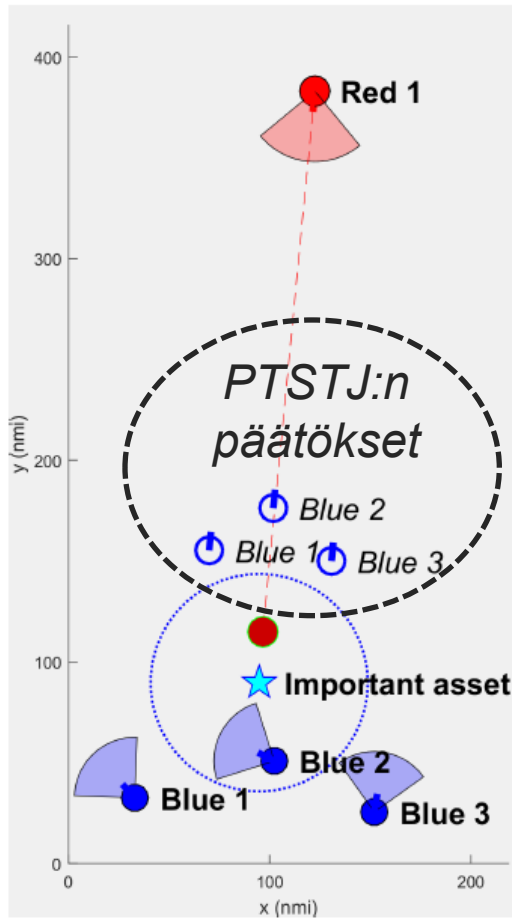
Osastojen optimaalinen kohdentaminen lentotehtäviin
Lentotehtävien optimaalinen ajoittaminen



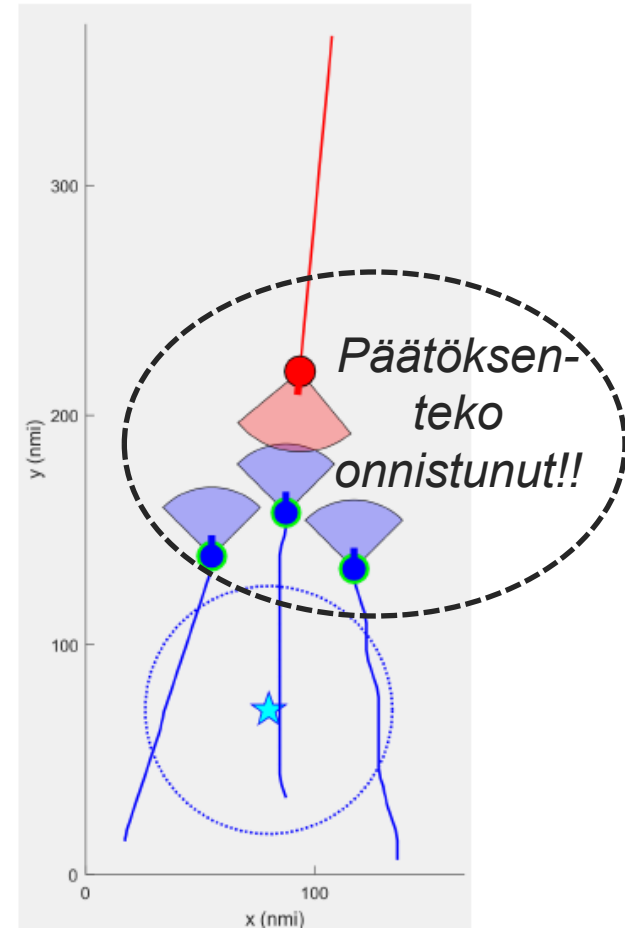
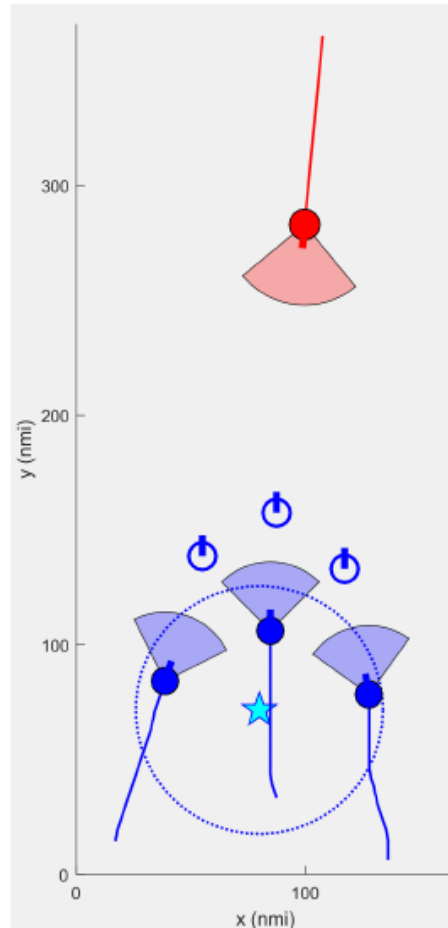


Mallipohjainen päätaistelujohtajan päätöksenteon koulutuksen tuki

Aloitustilane

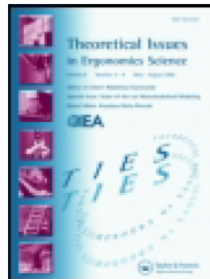
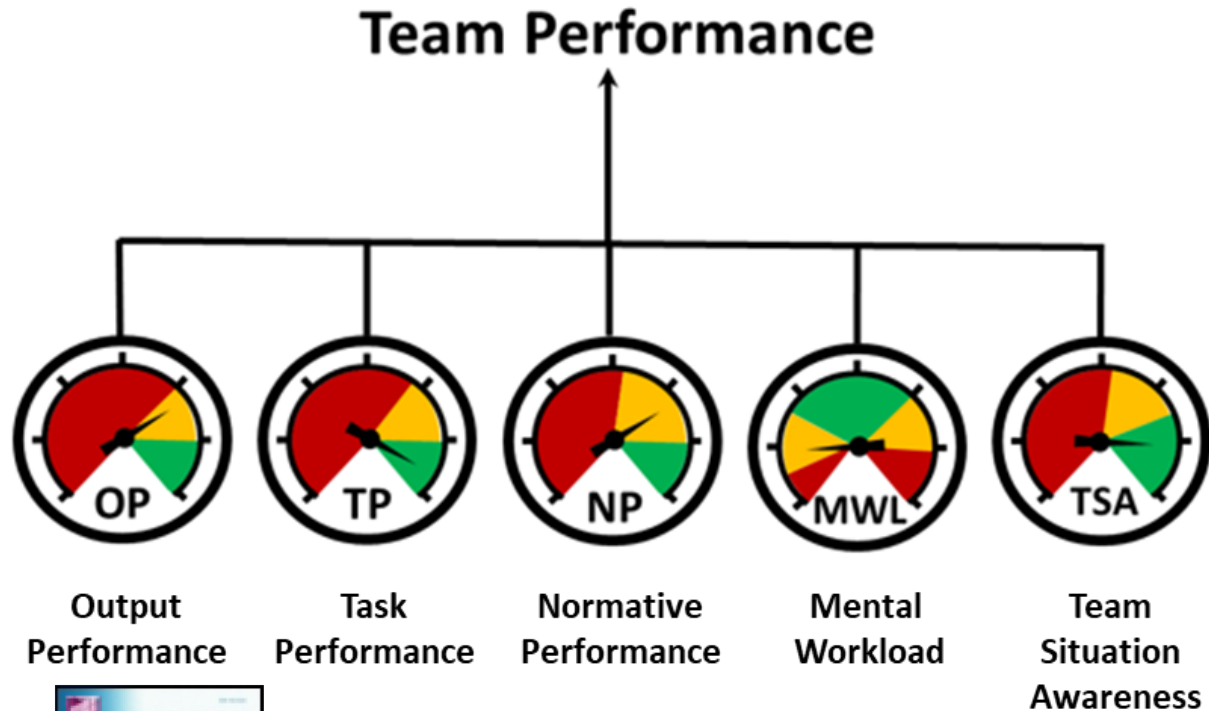


Simulointi





Joukon, sotavarusteen tai käyttöperiaatteen suorituskyvyn mittaaminen



Theoretical Issues in Ergonomics Science

ISSN: 1463-922X (Print) 1464-536X (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/ttie20>

Measurement of team performance in air combat
- have we been underperforming?

Heikki Mansikka, K. Virtanen, D. Harris & M. Jalava





Psykofysiologisista signaaleista tilanne-tietoisuuteen ja kognitiiviseen kuormitukseen

- HR/HRV (syke/sykevaihtelu)
- SpO₂ (veren happipitoisuus)
- EOG (silmänliikemittaus)
- Hengityksen tilavuus ja taajuus
- EEG & fNIRS
- Etc.





Ilmavalvontajärjestelmän suorituskykymalli

- Input: Tutkien paikat, tyypit ja moodit; Olosuhteet; Seurantalaskimen parametrisointi; Maalin tyyppi, RCS ja liikehdintä
- Output, seurannan laatu: Excellent, Good, Moderate, Weak, Poor



Opetusdatana lentoradat

- Lentokoneilta
- Seurantalaskimelta





Effectiveness of an Expendable Unmanned Ground Vehicle Stalling a Mechanized Infantry Company's Primary Combat Units—A Virtual Simulation Experiment

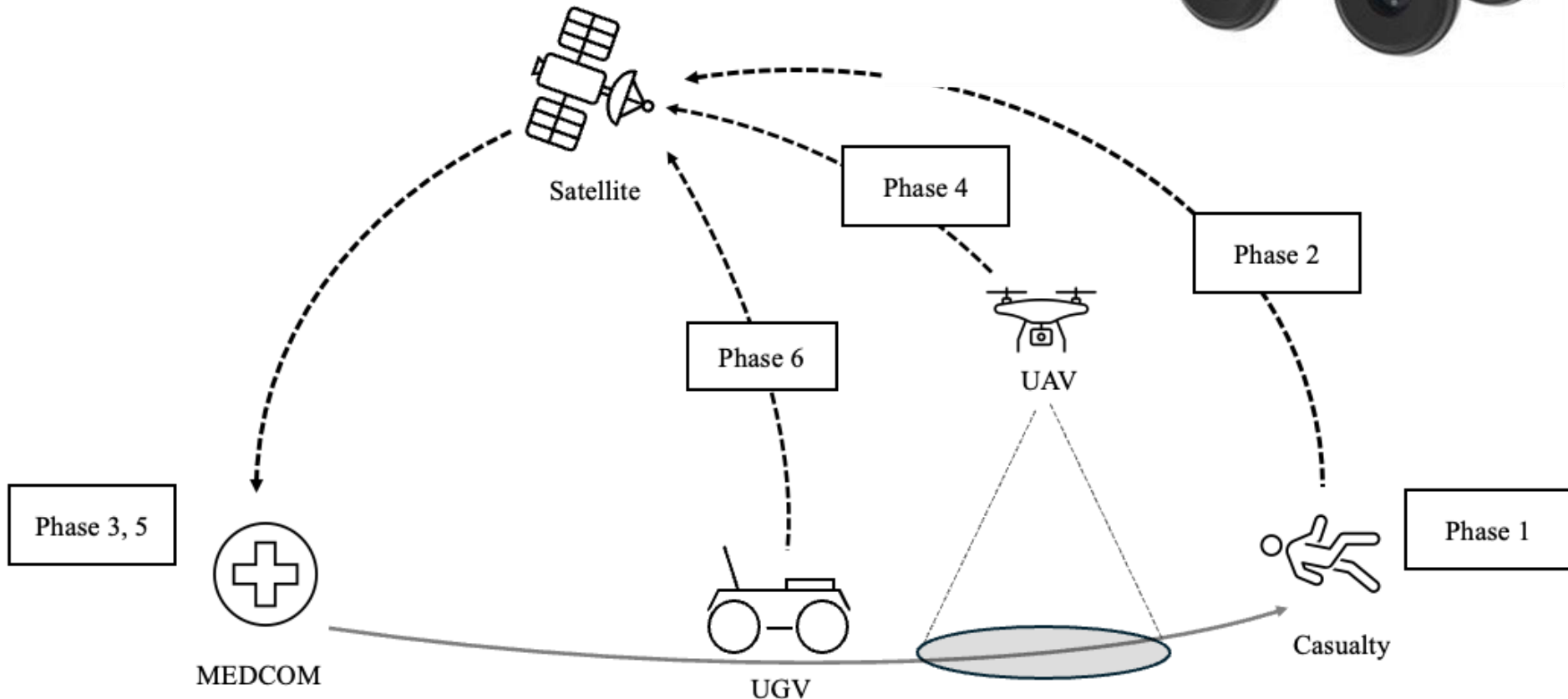
Christian A. Andersson¹  | Kasper Halme¹  | Mia Laine² | Ville Hulkko¹ | Kai Virtanen^{1,3}





Kenttälääkinnän tehtävien tukeminen miehittämättömillä ajoneuvoilla

Starlink-enabled communication for Arctic unmanned casualty evacuation missions: Field experiment assessment of mission success

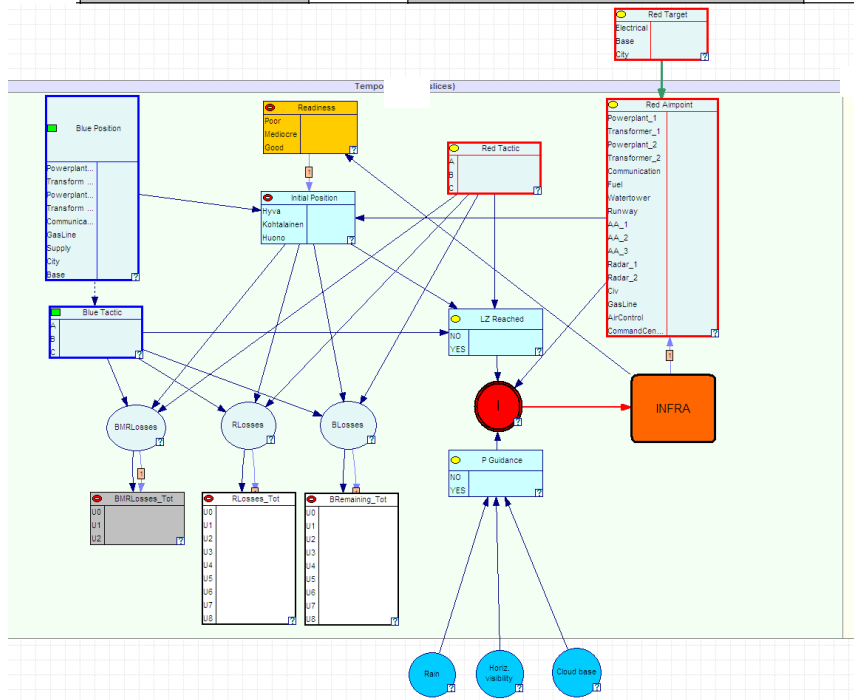




Monikriteerinen päätösanalyysi - Päätösvaihtoehtojen arviointi ja vertailu

Arvoteoria, Bayes-verkot, vaikutuskaaviot

LEVEL 1		LEVEL 2		LEVEL 3		OVERALL	1A	1	
CRITERIA	WEIGHT	CRITERIA	WEIGHT	CRITERIA	WEIGHT	WEIGHT	LEVEL	TOTAL	
VASTAILMATOIMINTA CA (SCN 1)	0,3	HYÖKKÄYKSELLINEN TOIMINTA STRAT STRAT ATTACK	0,1	VAIKUTUKSET	0,5	0,015	0,00	0,00	0,25
				RESURSSIEN KÄYTTÖ	0,5	0,015	0,00	0,00	0,85
		HYÖKKÄYKSELLINEN TOIMINTA OCA OCA	0,4	VAIKUTUKSET	0,5	0,060	0,00	0,00	0,29
				RESURSSIEN KÄYTTÖ	0,5	0,060	0,00	0,00	0,85
		PUOLUSTUKSELLINEN TOIMINTA DCA DCA	0,4	VAIKUTUKSET	0,5	0,060	0,00	0,00	0,53
				RESURSSIEN KÄYTTÖ	0,5	0,060	0,00	0,00	0,85
		TUKITEHTÄVÄT SUPPORT MISSIONS	0,1	JOHTAMINEN	0,1	0,003	0,00	0,00	0,19
				TIEDUSTELU	0,3	0,009	0,00	0,00	0,81
				VALVONTA JA MAALINOSOITUS	0,4	0,012	0,00	0,00	0,21
				ELEKTRONINEN VAIKUTTAMINEN	0,2	0,006	0,00	0,00	0,26



Journal of
Public Procurement
 Choosing the most economically
 advantageous tender using a
 multi-criteria decision
 analysis approach

Juha-Matti Lehtonen
*Department of Military Technology, National Defence University,
 Helsinki, Finland, and*
 Kai Virtanen
*Department of Mathematics and Systems Analysis, School of Science,
 Aalto University, Helsinki, Finland and Department of Military Technology,
 National Defence University, Helsinki, Finland*



Communicating Commander's Intent in a Chain of Command With Multi-Criteria Decision Analysis—An Experiment in Air Combat

Kai Virtanen^{1,2}  | Heikki Mansikka^{1,2}  | Mikko Kankaisto³  | Raimo P. Hämäläinen¹

Taso 0	Ilmaoperaation komentaja	Ilmaisee tahtonsa ilmaoperaation suorittamisesta
Taso I	Ilmaoperaatio-keskus	Tulkitsee komentajan tahdon ja suunnittelee toimintavaihtoehdon ilmaoperaation toteutukselle
Taso II	Pääjohtokeskus	Tulkitsee toimintavaihtoehtoa omalla vastualueellaan ja johtaa ilmataistelun
Taso III	Hävittäjälentolaihue	Toteuttaa hävittäjäkoneillaan toimintavaihtoehdon puitteissa valitsemaansa taistelutekniikkaa



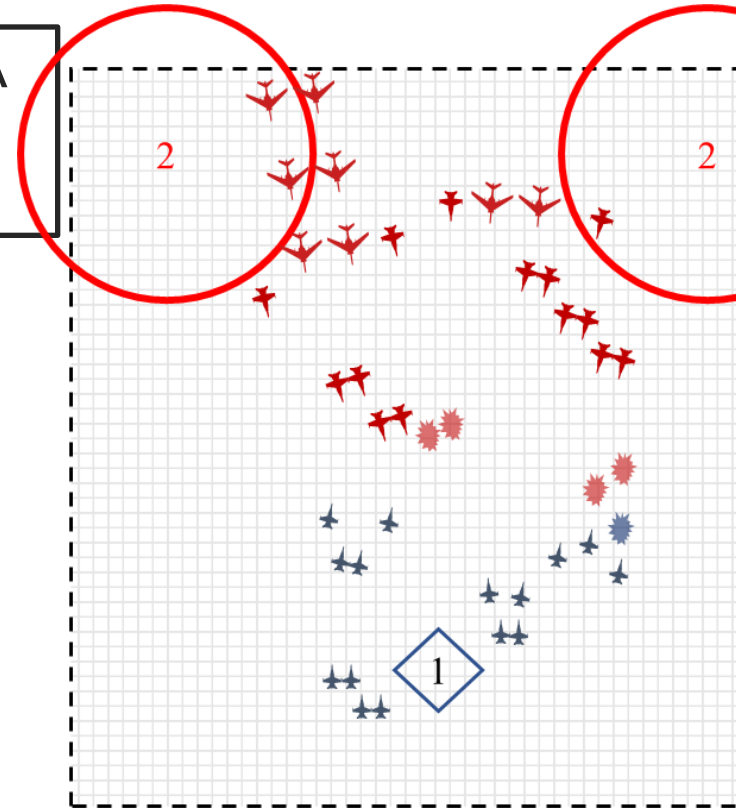
Päätösanalyysimallin testaaminen: Virtuaaliskonstruktivinen simulointitarkastelu

- Kaksi ilmaoperaation komentajana toimivaa henkilöä
- Komentajan tahto ja kriteeripainot kahteen ilmaoperaatioon

Perinteisellä suunnitteluprosessilla laadittu TVA
&
Päätösanalyysimallin tuella laadittu TVA

- Ilmaoperaatioiden simulointi toimintavaihtoehdoilla
 - MACE - Modern Air Combat Environment
 - Päätaistelunjohtaja ja neljä torjujaparven johtajaa
 - Parvien muut jäsenet konstruktivisia

Komentajat arvioivat operaatioiden toteutukset suhteessa antamiinsa komentajan tahtoihin





Operatiivisen tason ohjauksesta taisteluteknisen tason käyttöperiaatteisiin



Ilmaoperaation komentaja



Ilmaoperaatiokeskus



Pääjohtokeskus



Hävittäjälentolaivue

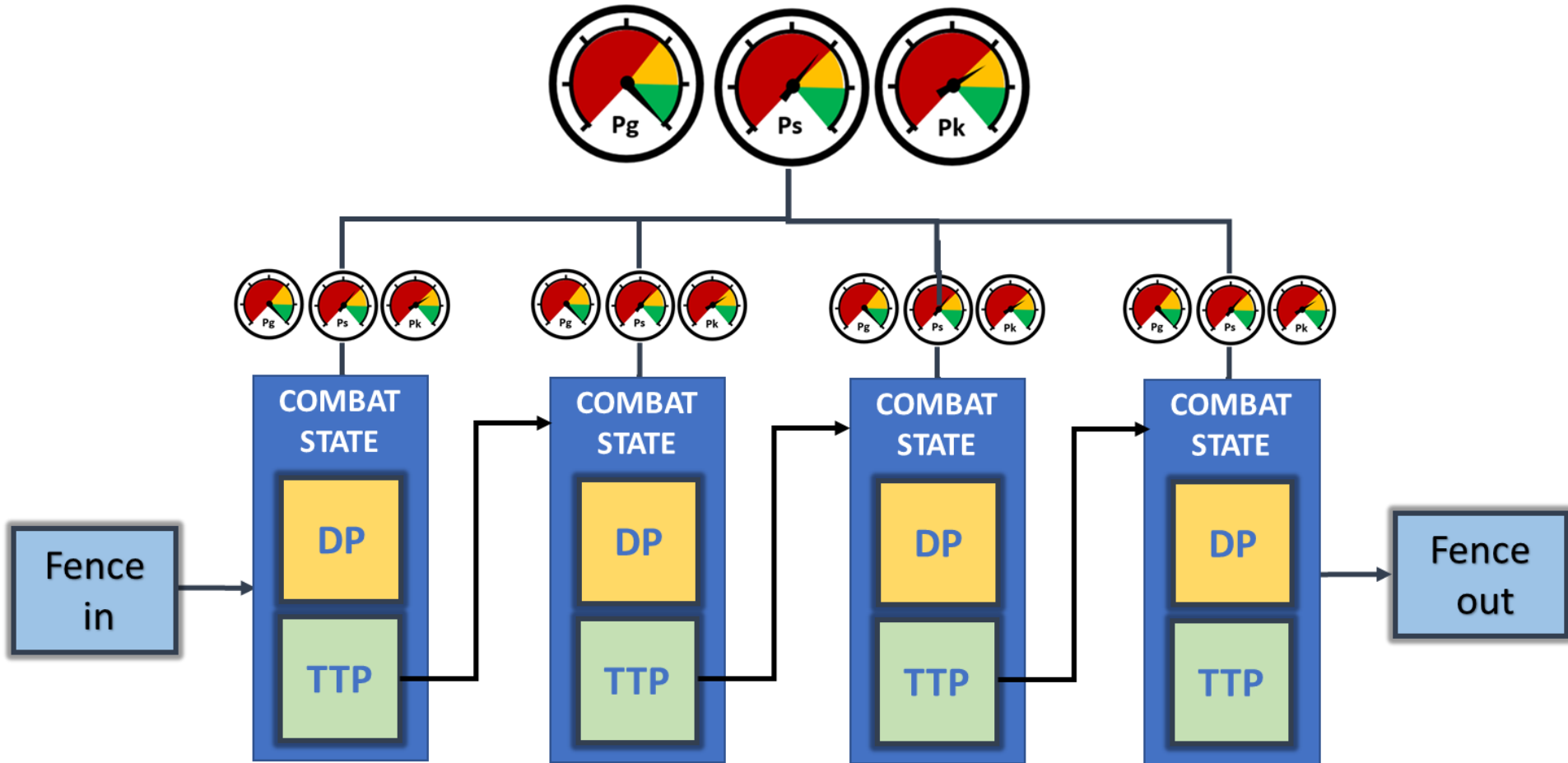
Monikriteerinen



päätösanalyysimalli



Etenevän suunnitteluhorisontin päätös-analyysimalli ilmataistelun simulointiin



DP = Decision Point

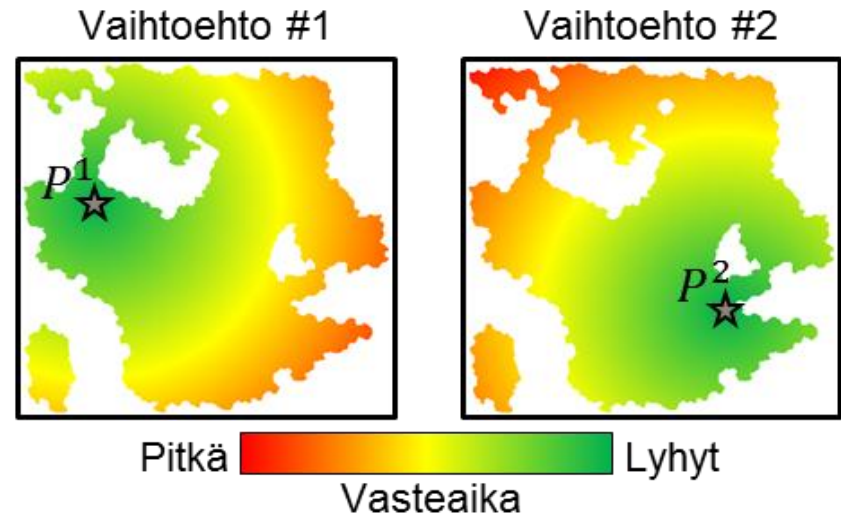
TTPs = Tactics, Techniques and Procedures





Spatiaalinen päätösanalyysi

- Vaihtoehtojen seurauksia tarkastellaan maantieteellisellä alueella
- QRA (Quick Reaction Alert) –tuki-kohta - P^1 vai P^2 ?
- Aksiomaattisen teorian kehittäminen



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

European Journal of Operational Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ejor



Decision Support

Spatial multi-attribute decision analysis: Axiomatic foundations and incomplete preference information

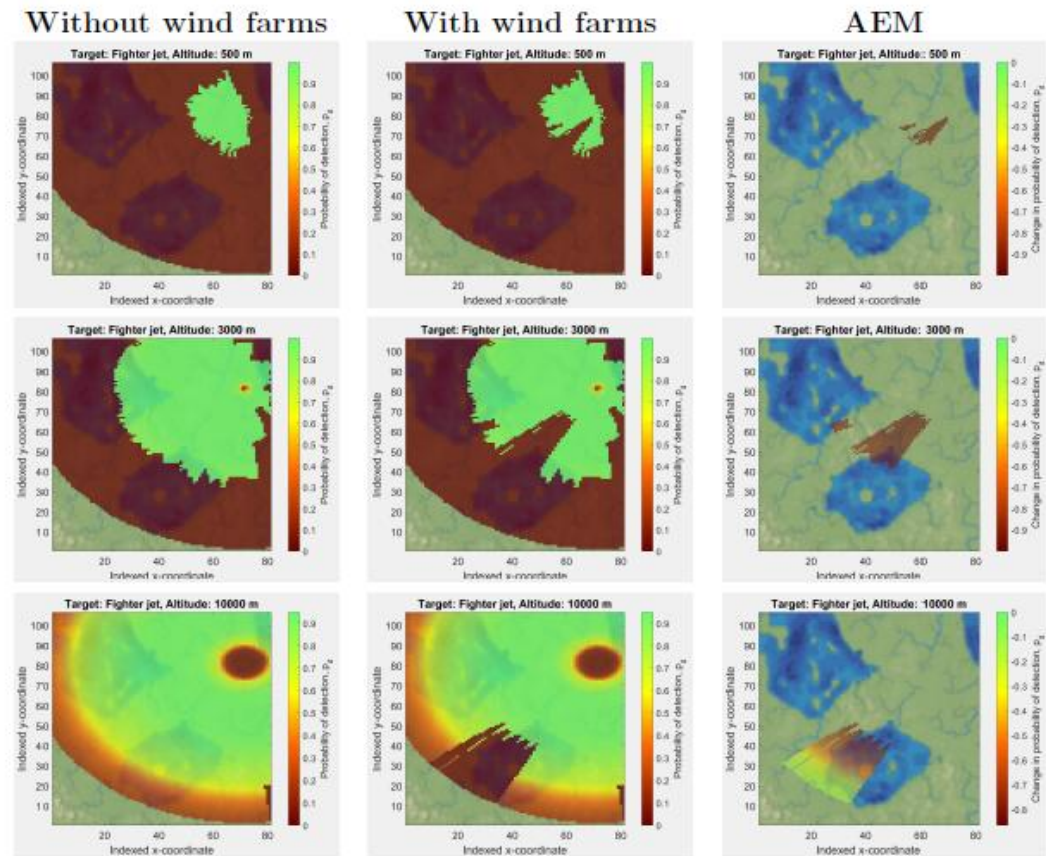
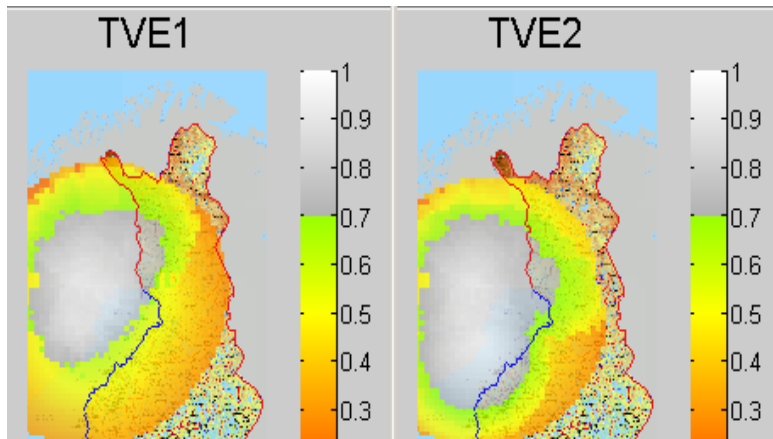
Mikko Harju^{a,*}, Juuso Liesiö^b, Kai Virtanen^{a,c}





Spatiaalisen päätösanalyysin sovelluksia

- Ilmavalvonnan suorituskyvyn suunnittelun, rakentamisen ja käytön tuki
- Tuulivoimaloiden haittavaikutuksia ilmavalvontaan kompensoivien ratkaisuiden vertailu
- Vaikuttamisvaihtoehtojen vertailu kriittisten suorituskykyjen suhteen





Maanpuolustuskorkeakoulu



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY
2024, VOL. 75, NO. 3, 423–617
<https://doi.org/10.1080/01605682.2023.2253852>



THE
OPERATIONAL
RESEARCH
SOCIETY



REVIEW ARTICLE

Operational Research: methods and applications

Fotios Petropoulos^{a,b}, Gilbert Laporte^{a,c,d}, et al.

Virtanen K. & Hämäläinen R.P.: 3.16. Military and homeland security⁶³

The birth of OR is related to the use of optimisation modelling for military operations and resource planning during the Second World War. The early linear programming (§2.14) problems ranged from the efficient use of weapon systems to logistics and strategy planning. Today, the arena of defence has expanded extensively with new areas including information and cyber warfare. The need to counter