

Vastakkainasettelullinen riskianalyysi asejärjestelmien vaikuttavuusarvioinnissa

Toteuttaja: Aalto-yliopisto
Johtaja: Ahti Salo
MATINE-rahoitus: 68 160€

Tutkimusryhmä

- Aalto-yliopisto
Matematiikan ja systeemianalyysin laitos
Systeemianalyysin laboratorio

Ahti Salo – Professori, projektin johtaja
Juho Roponen – Tohtoriopiskelija



- Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT)



David Ríos Insua – Professori

Esityksen sisältö

- 1. Vastakkainasettelullinen riskianalyysi (ARA)**
- 2. Tutkimusprojekti**
- 3. Jatkosuunnitelmat**

Esityksen sisältö

- 1. Vastakkainasettelullinen riskianalyysi (ARA)**
2. Tutkimusprojekti
3. Jatkosuunnitelmat

Riskianalyysi

1. Riskiarviointi

- Tunnistetaan riskit ja arvioidaan niiden todennäköisyydet ja seuraukset.

2. Riskien hallinta

- Valitaan ja toimeenpannaan toimenpiteet, jotka rajaavat riskien toteutumista ja seurauksia.
- Kehitetty alun perin teollisten riskien hallitsemiseen.

■ Menetelmissä riskien toteutuvan satunnaisesti.

- Eivät sellaisenaan sovellu tilanteisiin, joissa joku tarkoituksellisesti pyrkii aiheuttamaan vahinkoa.

Vastakkainasettelullinen riskianalyysi

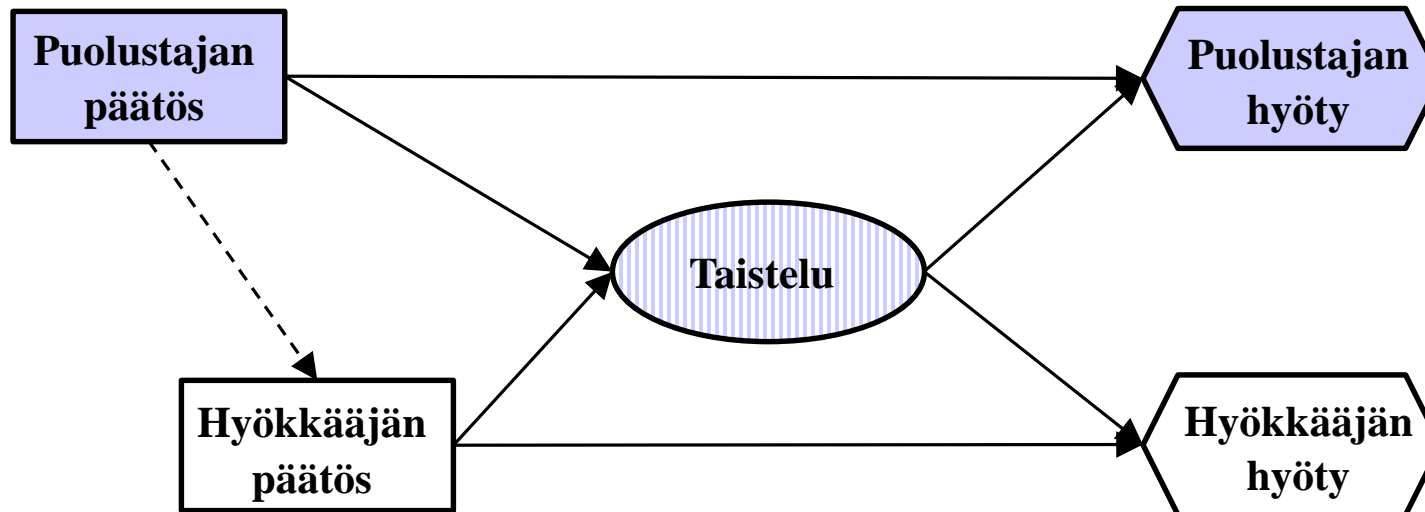
(Adversarial risk analysis, ARA)

- Tukee riskien arviointia asetelmissa, joissa riskit ovat tavoitteellisten toimijoiden aiheuttamia.
- Tarjoaa menetelmiä vastakkainasettelusta aiheutuvien riskien hallitsemiseksi.
- Perinteisillä menetelmillä rajoitteita (Parnell et al 2008)
 - Tavalliset riskianalyysimenetelmät eivät huomioi tahallisuutta.
 - Peliteoria tekee epärealistisia oletuksia osapuolten tietopohjasta.
 - Päätösanalyysi ei tarjoa menetelmiä vastustajan toimien ennustamiseen.
- Vastakkainasettelullisessa riskianalyysissä näitä rajoitteita ei ole.

ARA metodiikka

- Menetelmä vastustajan toimien ennakoimiseksi ja niihin vastaamiseksi.
 - Vastustajan pyrkii yleensä hyötynsä maksimointiin.
 - Muut preferenssimallit ovat myös mahdollisia.
- Vastustajan toimiiin liittyy epävarmuutta.
 - Tavoitteita, kykyjä ja tietopohjaa ei tunneta tarkkaan.
 - Osapuolten päätösten välillä keskinäisriippuvuuksia.
- Vastustajasta voidaan tehdä eri rationaalisuusoletuksia.
 - Satunnainen, kognitiiviseen hierarkiaan perustuva, omaa ajattelua peilaava jne.

Vaikutuskaavio



ARA-ongelman ratkaisu puolustajan näkökulmasta

- Halutaan löytää puolustajan (Defender) paras päätös olettaen, että hyökkääjä (Attacker) yrittää maksimoida oman hyötynsä.
- Mikä päätös $d \in D$ maksimoi puolustajan odotetun hyödyn

$$\psi_D(a, d) = \int u_D(c) \pi_D(c|a, d) dc,$$

kun hyökkääjä valitsee vaihtoehdon $a \in A$?

Ratkaisu vaiheittain

1. Määritetään puolustajan hyötyfunktio $u_D(c)$ seurauksille c .
2. Arvioidaan todennäköisyysjakauma $F(u_A, \pi_A)$, joka kuvaa puolustajan epävarmuutta hyökkääjän hyötyfunktioista $u_A(c)$ sekä hyökkääjän näkemystä päätöksistä a ja d riippuvista seurauksista $\pi_A(c|a, d)$.
3. Ratkaistaan tehtävä hyökkääjän näkökulmasta, jotta saadaan todennäköisyysarvio siitä, miten hyökkääjä reagoi puolustajan päätöksiin, ts.

$$p_D(a|d) = \mathbb{P}_F[a = \operatorname{argmax}_{x \in A} \psi_A(x, d)],$$

missä

$$\psi_A(a, d) = \int u_A(c) \pi_A(c|a, d) dc.$$

4. Puolustajan odotusarvoisen hyödyn maksimoi päätös $d^* = \operatorname{argmax}_{d \in D} \int p_D(a|d) \psi_D(a, d) da$.

Esityksen sisältö

1. Vastakkainasettelullinen riskianalyysi (ARA)
2. Tutkimusprojekti
3. Jatkosuunnitelmat

ARAn laajentaminen portfolioiden arviointiin

- Hyötyfunktioita voi olla vaikeata arvioida.
- Taisteluaasetelmassa on usein helpompi arvioida, mihin seurauksiin osapuolten päätökset voivat johtaa.
- Seuraamusten yli määritellyt todennäköisyysjakaumat voidaan asettaa osittaiseen paremmuusjärjestykseen, kun käytössä on jotakin tietoa preferensseistä ja riskiasenteista.
- Näin voidaan tunnistaa osapuolten kannalta tehokkaita, eli ei-dominoituja, päätösportfolioita.
 - Päätösyhdistelmiä, joista kumpikaan osapuoli ei voi päätyä omalta kannaltaan kiistatta parempaan tulokseen.

Haasteet

- Tehokkaiden päätösvaihtojen löytäminen ei aina ole mahdollista preferenssi-informaatiolla.
 - Hankittava lisää tietoa preferensseistä.
- Seurausten todennäköisyyksien arviointi voi olla laskennallisesti tai muutoin haastavaa.
 - Hankittava lisää tietoa tutkittavasta ilmiöstä, kehitettävä menetelmiä tai lisättävä laskentakapasiteettia.
- Kun päätösten tai päätösvaihtoehtojen lukumäärä kasvaa, ratkaisuja on vaikeampi löytää.
 - Jaettava ongelma eriteltäviin osiin tai harkittava muita menetelmiä.

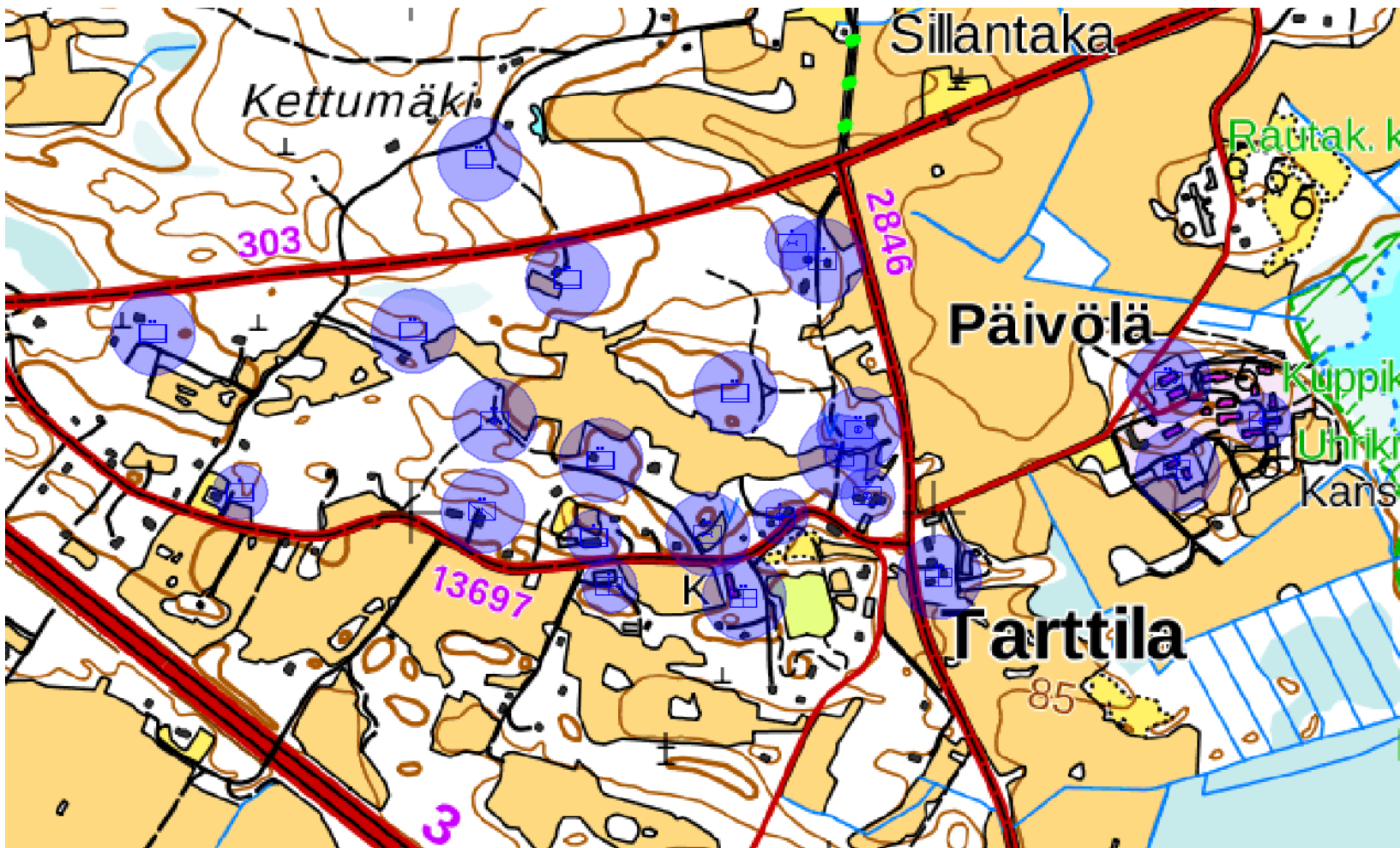
Vahvuudet

- Ei tarvitse määrittää vastustajan hyötyfunktioita.
- Seuraamukset taistelussa ovat usein vahvasti korreloituneita.
 - Jos meillä menee hyvin, niin vastustajalla ei yleensä mene.
 - Hyvien ja huonojen päätösvaihtoehtojen erottelu onnistuu vähäisilläkin preferenssitiedoilla.
- Laajaa laskennallista analyysiä ei ole pakko tehdä.
- Systemaattinen tarkastelu auttaa tunnistamaan puutteet omassa tiedossa.

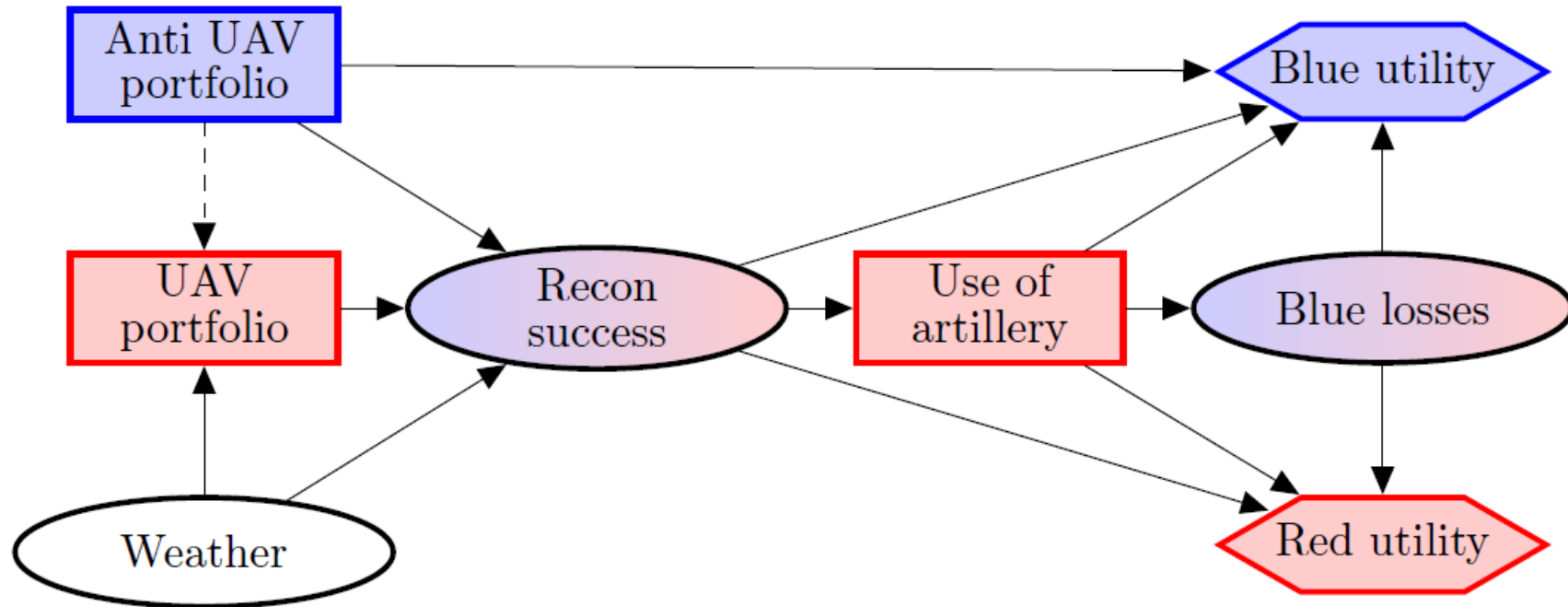
Realistinen esimerkkitarjelu

- Huoltokomppania on perustanut huoltokeskuksen Tarttilan kylän maastoon.
- Hyökkääjä tietää komppanian olevan alueella ja käyttää miehittämättömiä ilma-aluksia (unmanned aerial vehicle, UAV) epäsuoran tulen maalien paikantamiseen.
- Hyökkääjän epäsuoran tulen käyttöä koskeva päätös riippuu siitä, miten paljon tietoa UAV:t löytävät.
- Puolustaja voi varautua tilanteeseen erilaisilla vastakeinoilla ennen hyökkääjän tiedustelua.

Huoltokomppania



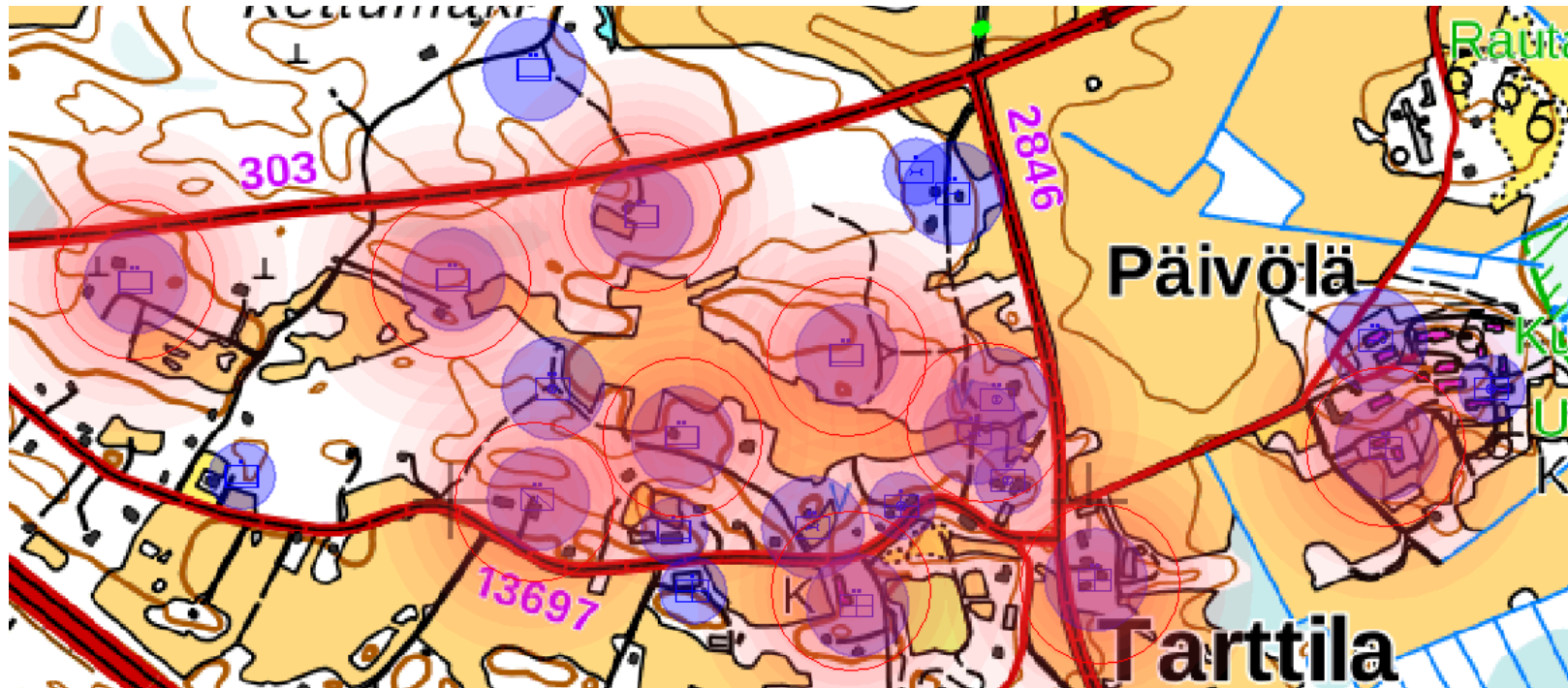
Vaikutuskaavio



Tehokkaiden vastakeinoportfolioiden etsintä

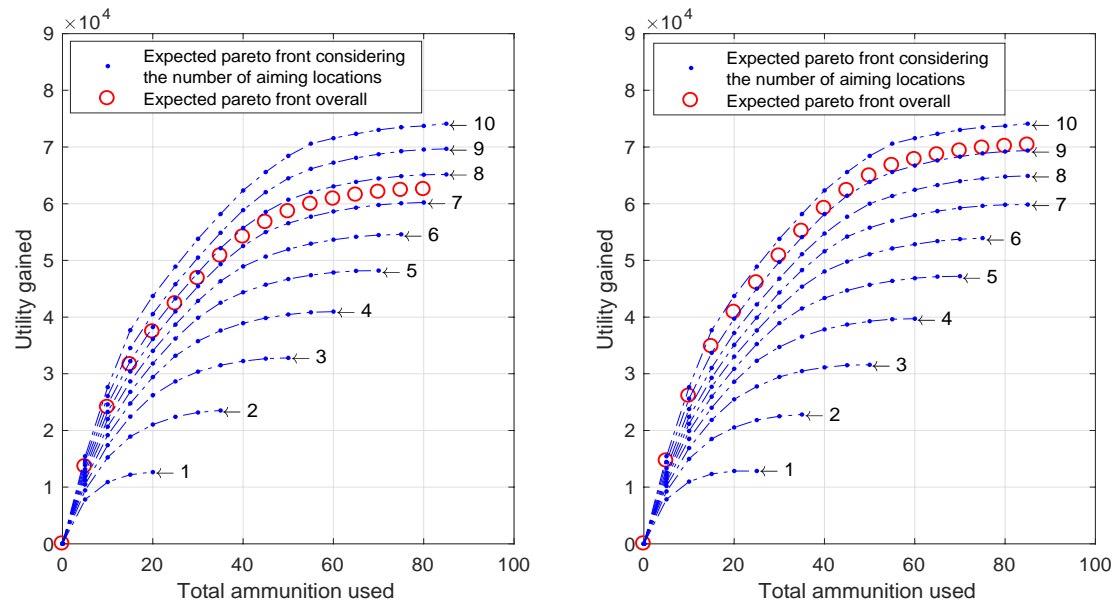
- Päätösvaihtoehtojen seurauksia arvioidaan kahdella simulaatiomallilla.
 - Sandis (Puolustusvoimien Tutkimuslaitokselta)
 - Mockup UAV-simulaattori
- Vastakeinoportfoliot asetetaan paremmuusjärjestykseen lisäämällä preferenssidataa vaiheittain.
- Analyysi tuottaa listauksen ei-dominoiduista portfolioista ehdollisessa paremmuusjärjestyksessä.

Huoltokomppania tulen kohteena



Epäsuoran tulen vaikutukset

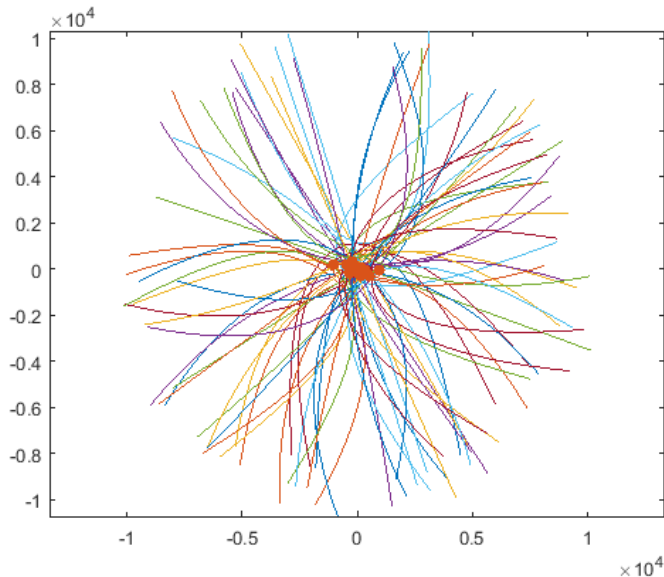
- Tiedämme, miten hyökkääjän kannattaa optimoida tulenkäyttönsä tiedustelutiedon pohjalta.
 - Menetelmät kuvattu Tuukka Stewenin kandidaatintyössä (2017).



Esimerkkejä tehokkaista tulenkäyttötaktiikoista käytettyjen ammusten ja tunnistettujen maalipisteiden lukumäärän suhteen.

UAV-tiedustelun onnistuminen

- Projektissa kehitetty yksinkertainen simulaattori.
 - Voidaan huomioida puolustajan tutka- ja ilmatorjuntajärjestelmät, maastoutuminen, sää sekä hyökkääjän käyttämät UAV-järjestelmät.
- Lisälaskentoja tehdään.



Simulaattorin tuottamia satunnaisia lentoratoja. Huoltokomppania näkyy pienenä keskellä.

Tutkimuksen esittely

- The 5th Nordic Military Operational Analysis Conference 2017
 - Tukholma 6-7 syyskuuta
- Society for Risk Analysis (SRA) Nordic Chapter Conference
 - Espoo 2-3 marraskuuta
- Tuloksista syntymässä artikkeli korkealaatuiseen sarjajulkaisuun

Esityksen sisältö

1. Vastakkainasettelullinen riskianalyysi (ARA)
2. Tutkimusprojekti
3. Jatkosuunnitelmat

2018

- Tutkimme uhkaa, jonka UAV-tiedustelu muodostaa alustäydennyksille Saaristomerellä.
 - Ongelma on Merivoimille tärkeä.
 - Teemme yhteistyötä prof. Kai Virtasen tutkimusryhmän kanssa, jolla on pitkä kokemus lentosimulaattorimalleista.
- Laajennamme ARA-menelmäkenttää dynaamisiin ongelmiin.
 - Osapuolten liikkuminen
 - Aika
- David Ríos Insua vierailee Aallossa 1,6kk:n ajan vuonna 2018.

Mahdollisia tutkimusaiheita

- Moniperiodisten ongelmien ratkaiseminen käyttäen stokastisella optimoinnilla tuotettuja päivitettyjä ennusteita.
- Ongelmaratkaisun osittainen automatisointi koneoppimisella.
- Laskenta- ja ratkaisumenetelmien tehokkuuden parantaminen.
- Uusista sovelluskohteista nousevat ongelmat.

Kiitoksia!

juho.roponen@aalto.fi