

Technology forecasting with probabilistic cross-impact method

Kristo Laurila

16.06.2023

Ohjaaja: DI (Väit.) Juho Roponen

Valvoja: Prof. Ahti Salo

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Ristivaikutusanalyysi (Cross-Impact Analysis, CIA)

- Ristivaikutusanalyysin tavoitteena on koostaa epävarmuustekijöitä koskevat asiantuntija-arviot skenaarioiden tunnistamiseksi.
- Todennäköisyyspohjainen ristivaikutusanalyysi (Probabilistic Cross-Impact Analysis, PCIA) paikkaa CIA:n puutteita riski- ja päätösanalyysissä
 - Menetelmällä luodaan todennäköisyysjakauma kaikille mahdollisille skenaarioille

Ristivaikutusanalyysi

- Monte-Carlo –menetelmällä simuloitiin tapahtumien välisiin kausaalisiin suhteisiin perustuvia tapahtuma ketjuja, joita voidaan pitää skenaarioina [1]
- Monte-Carlo simulointi on raskasta, jos halutaan laskea kaikkien skenaarioiden todennäköisyydet tarkasti, koska tarvitaan paljon simulaatioita
- Myöhemmin BASICS, jolla lasketaan skenaariotodennäköisyydet abstraktoitujen ristivaikutus lausuntojen avulla (ei todennäköisyyspohjaisten)

Ristivaikutusanalyysi

- Osa ristivaikutusmenetelmistä (MICMAC, Cross-impact balances, konsistenssi-analyysi) eivät käytä todennäköisyyksiä, vaan pyrkivät tunnistamaan johdonmukaisimmat skenaariot järjestysasteikolla määriteltyjen ristivaikutuskertoimien avulla
- Myös PCIA toimii hyvin verrattain suuremmalla määrällä epävarmuustekijöitä ja niiden tiloja, eikä kaikkien ristivaikutusestimaattien tarvitse olla johdonmukaisia

Todennäköisyyspohjainen ristivaikutusanalyysi (Probabilistic Cross-Impact Analysis, PCIA)

- PCIA:
 - Pystyy käsittelemään todennäköisyysväittämiä epävarmuustekijöistä
 - Vastaavat skenaariotodennäköisyydet lasketaan optimoimalla
 - Todennäköisyyksistä luodaan Bayes-verkko analyysin tekemiseksi
- Tässä työssä PCIA –menetelmää hyödynnetään teknologia ennakointiin miehittämättömien lennokkien (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) osalta Suomessa 2040

Skenaariot

Maailman BKT kasvu	Öljyn mailman markkinahinta	Geopoliittiset jännitteet	OPEC:n yhtenäisyys
< 2 % / vuosi	<50 \$ / barreli	Vahva	Vahva
2 – 3 % / vuosi	50 – 70 \$ / barreli	Kohtalainen	Kohtalainen
>3 % / vuosi	>70 \$ / barreli	Heikko	Heikko

- Epävarmuustekijät valitaan niin, että niillä voidaan kattavasti kuvata tutkittavan systeemin tilaa
- Epävarmuustekijän tila voi olla kvalitatiivinen tai kvantitatiivinen
- Epävarmuustekijän tilat ovat toisensa poissulkevat
- Esimerkin skenaarioiden lukumäärä on $3^4 = 81$

Ristivaikutusmatriisi

[illegible]

Ristivaikutuskertoimet

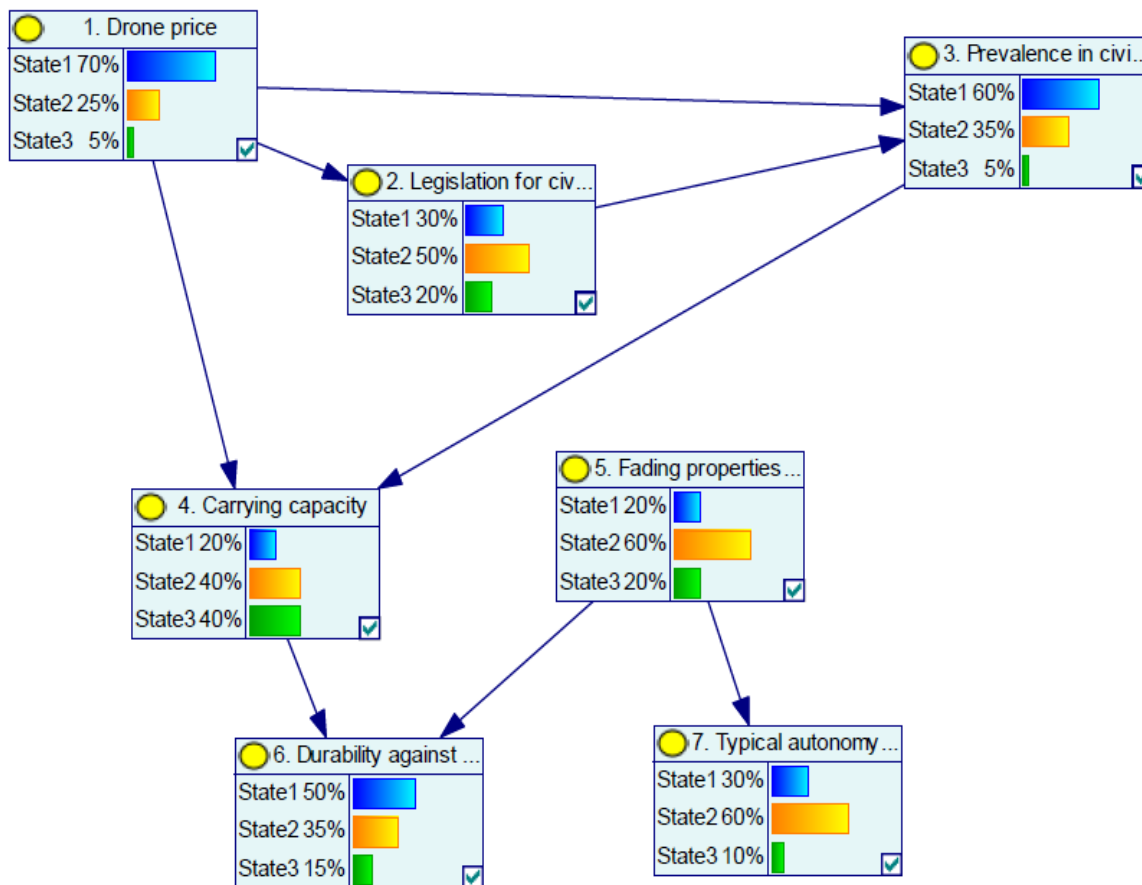
- Ristivaikutuskerroin C_{ab} ilmaisee kuinka monta kertaa todennäköisemmin tapahtuma a tapahtuu, jos tapahtuman b tiedetään tapahtuneen

		Prevalence			Carr. cap.		
		Everybody owns a drone	Some amateur/professional users	Very little	Stays the same as current	Doubles	Multiples
Drone price (Civilian use)	Mass product	3	0	-3	0	1	1
	Rare product	0	1	0	0	0	0
	Availability collapses	-3	-1	3	2	0	-2
Legislation for civilian drones	No legislation	2	-1	-3	0	0	0
	Some legislation	1	0	-1	0	0	0
	Use banned	-3	-1	3	0	0	0

Ristivaikutuskertoimet

- Ristivaikutuskertoimet arvioitiin X:llä merkityille epävarmuustekijöille
- Ristivaikutuskertoimet ovat symmetrisiä (esim. $C_{23} = C_{32}$)
- Valkoinen kenttä tarkoittaa ehdollista riippumattomuutta

	1	2	3	4	5	6	7
1. Drone price (Civilian use)		X	X	X			
2. Legislation for civilian drones			X				
3. Prevalence in civilian use				X			
4. Carrying capacity						X	
5. Fading properties of military UAVs						X	X
6. Durability against weapon systems							
7. Typical autonomy of military UAVs							



Todennäköisyyksien pohjalta luotu Bayes verkko GeNIe Modeler ohjelmistolla (BayesFusion, 2021). [2]

- Laskennalliset tulokset tuottavat todennäköisyysjakauman kaikille skenaarioille

Todennäköisimmät skenaariot

Skenaario	Epävarmuustekijöiden tilat	Todennäköisyys
1.	1,2,1,2,2,1,2	2.95%
2.	1,2,1,1,2,1,2	1.87%
3.	1,2,1,2,2,2,2	1.75%
4.	1,2,1,3,2,1,2	1.55%
5.	1,2,1,2,2,1,1	1.52%
6.	1,1,1,2,2,1,2	1.47%
7.	1,3,1,3,2,1,2	1.31%

Kaikissa skenaarioissa samat epävarmuustekijät:

- 1 (dronejen hinta) tilassa 1, massatuote
- 3 (yleisyys siviilikäytössä) tilassa 1, lähes kaikki omistavat
- 5 (sotakäyttöön tarkoitetun dronen häiveominaisuudet) tilassa 2, haastava havaita

Todennäköisimmät skenaariot

Skenaario	Epävarmuustekijöiden tilat	Todennäköisyys
1.	1,2,1,2,2,1,2	2.95%
2.	1,2,1,1,2,1,2	1.87%
3.	1,2,1,2,2,2,2	1.75%
4.	1,2,1,3,2,1,2	1.55%
5.	1,2,1,2,2,1,1	1.52%
6.	1,1,1,2,2,1,2	1.47%
7.	1,3,1,3,2,1,2	1.31%

Vain vähän variaatiota epävarmuustekijöiden:

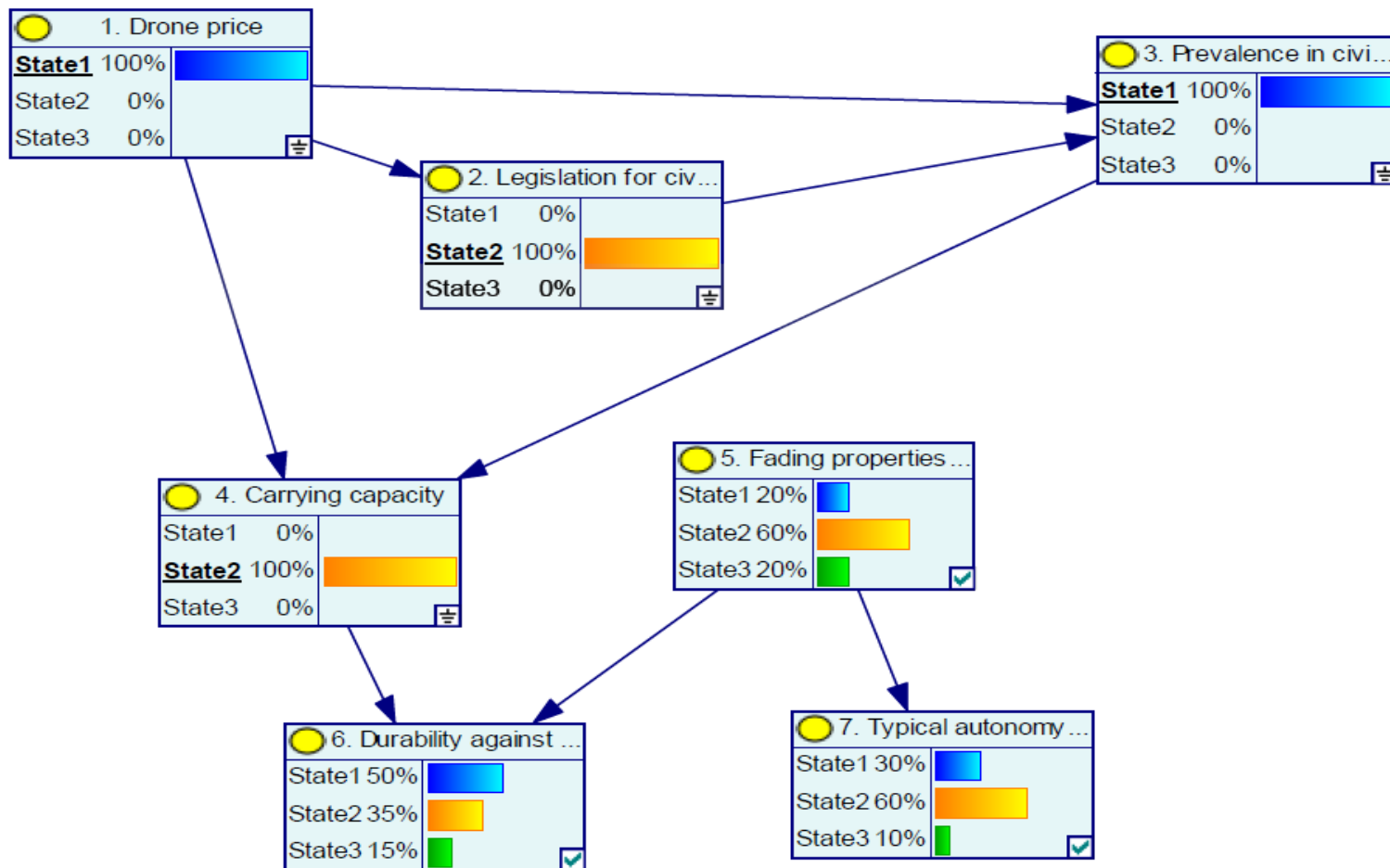
- 2 (lainsäädäntö) tilassa hieman lainsäädäntöä
- 6 (kestävyys asejärjestelmiä vastaan) tilassa helppoa ja halpaa tuhota
- 7 (sotakäyttöön tarkoitetun dronen autonomia) tilassa itseohjautuva, tarkkailussa

Tulokset – Suomi 2040

- Siviili-UAV:t ovat massatuote, joita kuka tahansa voi omistaa
- Siviili-UAV:n lainsäädäntö ei muutu merkittävästi
- Sotilas-UAV:t ovat vaikeita havaita, helppo tuhota halvalla ja ne toimivat ihmisen ohjaamina lähes autonomisesti

Tulokset – Suomi 2040

- Skenaarioiden valossa Suomessa olisi mahdollista hyödyntää UAV-siviilikalustoa maanpuolustukseen lisäkoulutuksen tukemana
- Kantokyky on kevyempien UAV:den sovellutuskohteiden kannalta keskeinen:
 - Kuinka raskaita ase- tai sensorijärjestelmiä voidaan kantaa?



Todennäköisimmän (14,36%) siviili-ilmailun osittaisskenaarion pohjalta luotu verkko ei muuta sotilaskäytön epävarmuustekijöiden tiloja merkittävästi.

Päätelmät

- Skenaarioanalyysin tulokset ovat sikäli uskottavia, että Ukrainan kokemukset ovat saman suuntaisia kehityskulkuja
- Voiko UAV:iden hyödyntäminen Ukrainassa kasvaa ennakoitua nopeammin? Tämä tietoo mahdollisesti muuttaisi epävarmuustilojen estimointia
- Voisko häirintäjärjestelmät tekisivät UAV:ista käyttökelvottomia lyhyillä etäisyyksillä?

Päätelmät

- Skenaarioanalyysi ei pyri ennustamaan tulevaisuutta, vaan kuvaamaan uskottavia tulevaisuuden kehityskulkuja, joita voidaan käyttää päätöksenteon tukena

Lähteet

- [1] J. Roponen. Computational Models for Adversarial Risk Analysis and Probabilistic Scenario Planning. Väitöskirja. Aalto-yliopisto, Matematiikan ja systeemianalyysin laitos. 2023. ISBN: 978-952-64-1261-0. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/121054>
- [2] BayesFusion. Genie modeler, 2021. URL <https://www.bayesfusion.com/>.