



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Asiantuntija-arvioiden ristiriitojen käsittely ristivaikutusanalyysissä (valmiin työn esittely)

Tomas Toro

23.09.2022

Ohjaaja: *Juho Roponen*

Valvoja: *Ahti Salo*

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

Ristivaikutusanalyysi

- Tulevaisuuden ennakkoinnin menetelmä, jossa tutkitaan tapahtumien välisten riippuvuuksien vaikutuksia tuleviin tapahtumiin
 - Pohjautuu asiantuntijoiden todennäköisyys- ja ristivaikutusarvioihin
- Tapahtumien A ja B välinen ristivaikutuskerroin on $C_{AB} = \frac{P(A|B)}{P(A)}$
- Asiantuntijoiden arviot ristivaikutuksista ja yksittäisten tapahtumien tilojen todennäköisyyksistä voivat johtaa ristiriitoihin ehdollisissa todennäköisyyksissä $P(A|B)$

Ristivaikutusmatriisi

- Ristivaikutusarviot muutetaan ristivaikutuskertoimiksi kaavalla $C_{kl}^{ij} = 2^{0.5 * V_{kl}^{ij}}$, missä V_{kl}^{ij} on asiantuntija-arvio asteikolla -3,...3

			Tuotannon laajuus Suomessa		
			Hidastuu	Pysyy samana	Nopeutuu
			0.3	0.5	0.2
Tuotannon laajuus maailmalla	Hidastuu	0.3	2	-1	-3
	Pysyy samana	0.5	-1	2	-1
	Nopeutuu	0.2	-3	-1	2

marginaalitodennäköisyys- ja ristivaikutusarviot

			Tuotannon laajuus Suomessa		
			Hidastuu	Pysyy samana	Nopeutuu
			0.3	0.5	0.2
Tuotannon laajuus maailmalla	Hidastuu	0.3	2	0.7071	0.3536
	Pysyy samana	0.5	0.7071	2	0.7071
	Nopeutuu	0.2	0.3536	0.7071	2

ristivaikutuskertoimet

Ristiriidat

- Ehdollisten todennäköisyyksien tulisi summautua riveittäin yhteen

		Tuotannon laajuus Suomessa			
		Hidastuu	Pysyy samana	Nopeutuu	Summa
Tuotannon laajuus maailmalla	Hidastuu	0.60	0.35	0.07	1.02
	Pysyy samana	0.21	1.00	0.14	1.35
	Nopeutuu	0.11	0.35	0.40	0.86

- Vastaavasti yhteisjakauman tulisi summautua yhteen

		Tuotannon laajuus Suomessa			
		Hidastuu	Pysyy samana	Nopeutuu	
Tuotannon laajuus maailmalla	Hidastuu	0.1800	0.1061	0.0212	
	Pysyy samana	0.1061	0.5000	0.0707	
	Nopeutuu	0.0212	0.0707	0.0800	

– Summa: 1.1560

Lähestymistapa

- Tehdään korjauksia arvioituihin ristivaikutuskertoimiin lineaarisesti rajoitetun pienimmän neliösumman menetelmän avulla
 - Lineaarinen rajoite tarvitaan, jotta arvioidut marginaalitodennäköisyydet pysyvät muuttumattomina

Menetelmät

- Lineaarisesti rajoitettu pienimmän neliösumman menetelmä
 - Minimoidaan $\|Cx - d\|_2^2$ siten, että ehto $Ax = b$ toteutuu
 - Minimoitava lauseke muutettujen ja alkuperäisten ristivaikutuskertoimien etäisyys
 - Ehto $Ax = b$ pitää marginaalitodennäköisyydet muuttumattomina

Optimointiongelma

$$\min. \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n (C_{kl}^{ij} - C_{kl}^{ij} x_{k,l})^2$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k=1}^m p_{kl}^{ij} = p_l^j, \quad \forall l \in \{1, \dots, n\}$$

$$\sum_{l=1}^n p_{kl}^{ij} = p_k^i, \quad \forall k \in \{1, \dots, m\}$$

Aineisto

- 3D-tulostuksen kehityksen vaikutukset Suomen Puolustusvoimiin
- 11 epävarmuustekijää, joista jokaisella 3 mahdollista lopputulemaa
- Asiantuntija-arviot epävarmuustekijöiden marginaalitodennäköisyyksille ja ristivaikutuksille

Epävarmuustekijät

Epävarmuustekijä	Lopputulema	Todennäköisyys
Tuotannon laajuus maailmalla	Hidastuu	0.3
	Pysyy samana	0.5
	Nopeutuu	0.2
Tuotannon laajuus Suomessa	Hidastuu	0.3
	Pysyy samana	0.5
	Nopeutuu	0.2
Tekniikan kehittyminen: kustannukset	Korkeintaan puolittuvat	0.5
	Korkeintaan putoavat kymmenesosaan	0.4
	Putoavat alle kymmenesosaan	0.1
Tekniikan kehittyminen: nopeus	Korkeintaan kaksinkertaistuu	0.4
	Korkeintaan kymmenkertaistuu	0.5
	Yli kymmenkertaistuu	0.1
Vuosittain valmistuvien asiantuntijoiden määrä	Alle 100 (nykytila)	0.2
	Alle 300	0.6
	Yli 300	0.2
Lainsäädäntö Suomessa	Rajoittaa voimakkaasti	0.05
	Ei eroa muusta teollisuudesta	0.9
	Ei sääntelyä	0.05
Tulostusprosessien ja mallien standardointi	Ei standardointia	0.35
	Sisältää tekniset vaatimukset	0.45
	Täysi automatisaatio mahdollinen	0.2
Käytön yleisyys Puolustusvoimissa	Vain yksittäisiä tuotteita	0.1
	Vakiintunut käyttö ja tilauksiin prosessit	0.5
	Voi nostaa kapasiteettia tarvittaessa	0.4
Puolustusvoimien 3D-mallit	Vain yksittäisiä	0.2
	Mallit osana uusia hankintoja	0.7
	Mallit suurimmalle osalle systeemeistä	0.1
3D-tulostus rauhan aikana	Vähäinen merkitys	0.7
	Tärkeää ja suunniteltua	0.29
	Kriittistä ja hyvin kontrolloitua	0.01
Kapasiteetin käyttö Puolustusvoimissa kriisiaikana	Vähäinen merkitys	0.45
	Tärkeää ja suunniteltua	0.45
	Kriittistä ja hyvin kontrolloitua	0.1

Tulokset

Tuotannon laajuus Suomessa					
		Hidastuu	Pysyy samana	Nopeutuu	
		0.3	0.5	0.2	
Tuotannon laajuus maailmalla	Hidastuu	0.3	2	0.7071	0.3536
	Pysyy samana	0.5	0.7071	2	0.7071
	Nopeutuu	0.2	0.3536	0.7071	2

Tuotannon laajuus Suomessa					
		Hidastuu	Pysyy samana	Nopeutuu	
		0.3	0.5	0.2	
Tuotannon laajuus maailmalla	Hidastuu	0.3	2.0589	0.5581	0.5164
	Pysyy samana	0.5	0.5581	1.3396	0.8138
	Nopeutuu	0.2	0.5164	0.8138	2.1910

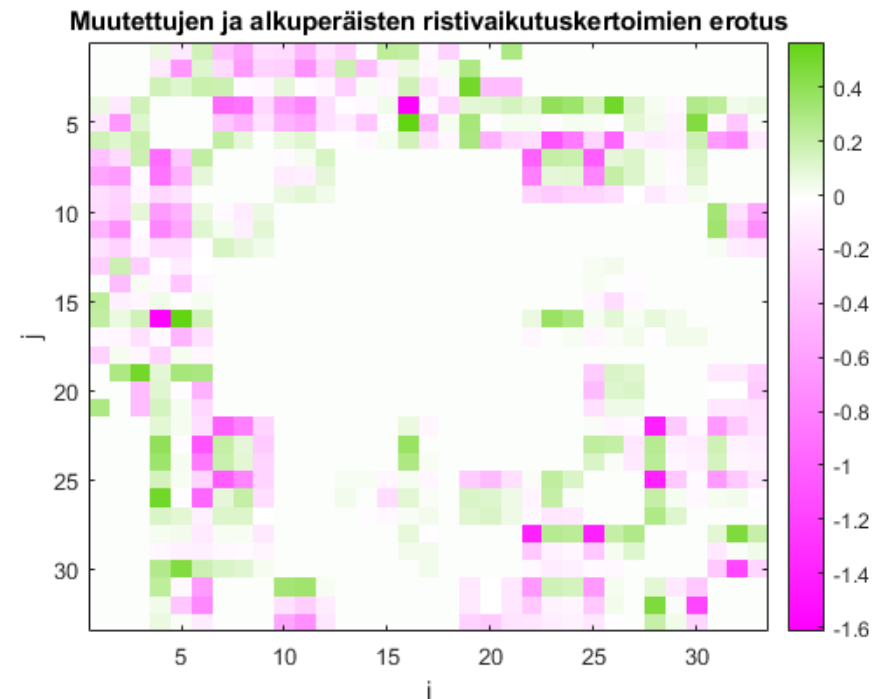
Tulokset

		Tuotannon laajuus Suomessa		
		Hidastuu	Pysyy samana	Nopeutuu
Tuotannon	Hidastuu	0.1800	0.1061	0.0212
laajuus	Pysyy samana	0.1061	0.5000	0.0707
maailmalla	Nopeutuu	0.0212	0.0707	0.0800

		Tuotannon laajuus Suomessa		
		Hidastuu	Pysyy samana	Nopeutuu
Tuotannon	Hidastuu	0.1853	0.0837	0.0310
laajuus	Pysyy samana	0.0837	0.3349	0.0814
maailmalla	Nopeutuu	0.0310	0.0814	0.0876

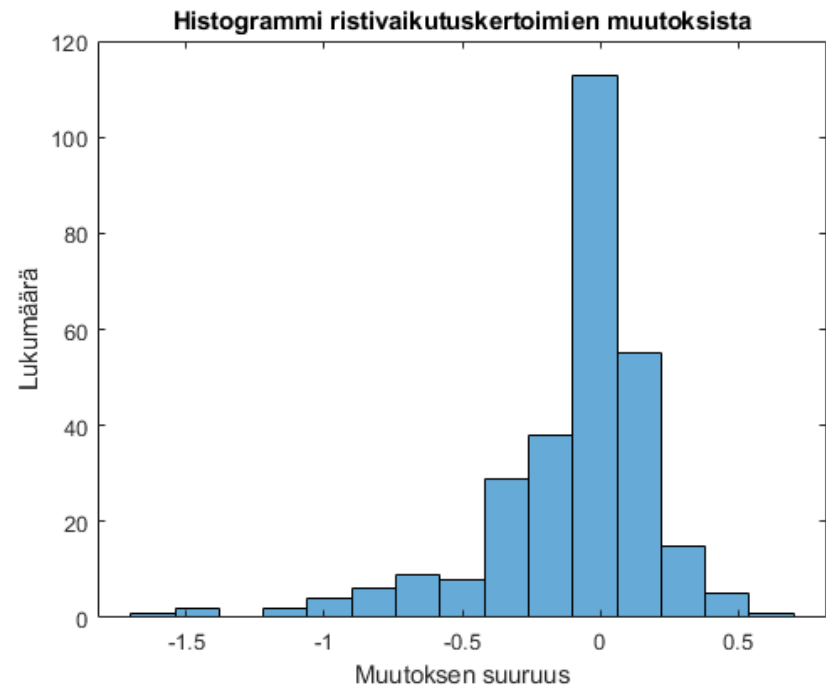
Tulokset

- Ristivaikutuskertoimiin tehtyjen muutosten suuruuksia havainnollistava matriisi
- Valkoiset 3x3 alueet riippumattomien epävarmuustekijöiden välisiä kertoimia



Tulokset

- Suurin osa muutoksista pieniä
- Joissakin tapauksissa yksittäisiä kertoimia pienennetty paljon



Yhteenveto

- Pienimmän neliösumman menetelmällä saatiin ratkaistua kohtuullisen hyvät uudet ristivaikutuskertoimet
- Muutamia kertoimia muutettiin oleellisen paljon
 - Arvion etumerkki on voinut muuttua päinvastaiseksi
- Aihetta voisi viedä pidemmälle tutkimalla useampaa aineistoa ja vertailemalla tuloksia

Lähteet

- Juho Roponen ja Ahti Salo (2022) 'Scenario probability estimation using cross-impact assessments',
Systeemianalyysin laboratorio.