Jari Metsämuuronen KT, Dos, Erikoistutkija

Asiantuntijamielipide prosessina - tasapainojakauma ja heikot signaalit

Tässä artikkelissa tarkastellaan asiantuntijoiden mielipiteitä prosessina. Jos asiantuntijoilta tiedustellaan kaksi kertaa mielipidettä tulevaisuuden attribuuttien merkityksestä Likert-asteikollisella mittarilla, voidaan mittausten välillä tapahtuvan muutoksen kautta laskea ns. tasapainojakauma eli se tasapainotilanne, jota kohden asiantuntijoiden mielipiteet ovat siirtymässä. Tekniikkaa voidaan hyödyntää esimerkiksi heikkojen signaalien analysoinnissa.

Asiasanat: Menetelmäkuvaus, Testi-uusintatesti-menetelmä, Likert-asteikko, Stabiliteetti, Heikot signaalit, Asiantuntijamielipide, Tasapainojakauma

Opinion of the experts as a process – Markov chains in analyzing weak signals

Abtsract:

The focus of the article is a process of expert opinion and its contribution to weak signals. If the experts used in futures studies or in anticipating project face exact the same question about the significance of the attribute of the future twice (for excample in a classical test – re-test-measurement), the opinion of the expert may have changed between the two measurements. It is possible to use the instability of the opinion as a source of information when analyzing weak signals concerning futures. If the measurement is made using 4 to 6 point Likert scale, it is possible to calculate the so-called equilibrium distribution with Markovian chains. Equilibrium distribution is the state of process of opinion where the opinion is not changing any more. It refers to the end of the opinion changing process: "what will be the end of the process if it keeps going on in this way". Some simple formulas for calculating the distribution are shown in the article. The theory of equilibrium distibution is based on conditional probabilities.¨

Key words: Weak signals, Stability, Markov chains, Test-re-test measurement, Experts

Asiantuntijoiden mielipiteiden mittaus

Kun asiantuntijat arvottavat erilaisia tulevaisuuden ominaisuuksia, attribuutteja, on mahdollista mitata asiantuntijoiden mielipiteitä Likert-asteikollisella mittarilla. Tällöin asiantuntijat asetetaan kunkin tulevaisuuden attribuutin suhteen valintatilanteeseen: onko tulevaisuuden attribuutti *erittäin vähän merkityksellinen* (1), *melko vähän merkityksellinen* (2), *melko merkityksellinen* (4) vai *erittäin merkityksellinen* (5). Asteikon puoliväliin sijoittuu vaihtoehto *ei osaa sanoa* (3). Likert-asteikko voi toki olla dimensioltaan 3-, 4-, 6- tai 7-portainenkin. Itse olen käyttänyt vastikään (Metsämuuronen 1997a) kuusiportaista Likert-asteikkoa sosiaali- ja terveydenhuollon tulevaisuuden arvioinnin yhteydessä (taulukko 1).

Taulukko 1. Esimerkki kuusiportaisesta Likert-asteikosta tulevaisuudentutkimuksessa

Kuinka paljon seuraavat tekijät vaikuttavat mielestäsi sosiaali- ja terveydenhuollon tulevaisuuteen:

	ei lainkaan					erittäin paljon
1. Muutokset kansantaloudessa	1	2	3	4	5	6
2. Työttömyys	1	2	3	4	5	6
3. Väestön ikääntyminen	1	2	3	4	5	6
4. Informaatioteknologian kehitys	1	2	3	4	5	6
5. jne	1	2	3	4	5	6

On huomattava, että mikäli Likert-asteikko on parillinen (4, 6, 8), on tulosten tulkinta helpompi tutkijalle, kuin jos skaala on pariton (3, 5, 7). Tämä johtuu tietysti siitä, että parillisen skaalan tapauksessa asiantuntija joutuu valitsemaan, onko attribuutti vähän vai paljon merkityksellinen, mutta parittomassa tapauksessa keskellä skaalaa on olemassa ”sakkoluokka” *en osaa sanoa*, jossa ei tarvitse ottaa kantaa attribuuttiin.

Joskus mielipidemittauksissa näkee käytettävän jopa yhdeksän portaisia Likert-mittareita, mutta tällöin olisi syytä jo pohtia, olisiko VAS (Visual Analoque Scale) järkevämpi tapa mitata ilmiötä. VAS -tyyppistä mittaria on alettu käyttää yleisesti erilaisten subjektiivisten asioiden kuten kivun, unettomuuden, ahdistuneisuuden, elämän laadun, sekavuuden, stressin ja itsekoetun taitotason mittaamisessa (ks. mm. Miller & Ferris 1993, Cline ym. 1992, Wewers & Lowe 1990). VAS-mittarissa idea on se, että kyselyyn vastaajalle ei annetakaan Likert-asteikon tapaisesti numeroita tai sanallisia ilmaisuja arvioitavaksi, vaan lomakekyselyissä yleensä annataan määrämittainen jana (yleisesti 10 cm pitkä), jossa on ilmaistuna ääripäät *ei lainkaan merkityksellinen* ja *äärimmäisen merkityksellinen* (taulukko 2.). Vastaaja laittaa merkin (rastin tms.) siihen kohtaan janaa, joka parhaiten kuvaa hänen mielipidettään. Tutkija mittaa merkin paikan esimerkiksi viivottimella ja saa arvot millimetrin tarkkudella. Tulos ilmoitetaan sentteinä (esimerkiksi 6,6 tai 8,9).

Taulukko 2. Esimerkki VAS (Visual Analoque Scale)-mittarin käytöstä tulevaisuuden-tutkimuksessa (Huom. Janan pituus on 10 cm.)

Kuinka paljon seuraavat tekijät vaikuttavat mielestäsi sosiaali- ja terveyden-huollon tulevaisuuteen:

	ei lainkaan	äärimmäisen paljon
1. Muutokset kansantaloudessa		
2. Työttömyys		
3. Väestön ikääntyminen		
4. Informaatioteknologian kehitys		
5. jne		

Tässä artikkelissa esiteltävä asiantuntijoiden mielipiteiden muuttuminen on suoraan yhteydessä asiantuntijoiden mielipiteiden pysyvyyteen eli stabiliteettiin (Metsämuuronen 1997b), jota myös voidaan mitata tässä artikkelissa esitetyn Markovin ketjujen -teorian avulla. Esiteltävä laskentatapa ei suoraan sovellu suoraan VAS-mittarilla mitatuille mielipiteille, sillä sen tuottama numeraalinen tieto on liian tarkkaa. Sen sijaan Likert-asteikollinen tieto soveltuu erinomaisesti sekä asiantuntijoiden mielipiteiden pysyvyyden mittaamiseen että asiantuntijoiden mielipiteiden prosessin kuvaamiseen. Aivan oma tekniikkansa on jatkuvien tilojen markovprosessit.

Markovin ketjut ja ehdollinen todennäköisyys

Kahden peräkkäisen mittauksen avulla voidaan laskea asiantuntijoiden mielipiteiden pysyvyys, mikäli mittausten välinen aika pitempi kuin kaksi viikkoa (Metsämuuronen 1995, Metsämuuronen 1997b). Päättely pysyvyydestä perustuu Markovin ketjun teoriaan (Cox & Miller 1965, Cox & Hinkley 1974, Steward 1994) ja ehdollisen todennäköisyyden laskemiseen (DeGroot 1986). Markovin ketjuja on käytetty ymmärtämään prosesseja ja niissä olevia tiloja. Kysymys Markovin ketjujen kannalta kuuluu: mikä on todennäköisyys siirtyä tilasta (0) tilaan (1). Asiantuntija-mielipiteeseen soveltaen kysytään: mikä on todennäköisyys sille, että kun alunperin asiantuntija oli ”samaa mieltä”, hän onkin toisella kerralla ”eri mieltä” tai päin vastoin.

Markovin ketjujen teoriassa oletuksena on, että seuraavan tilan todennäköisyys ei riipu historiasta, sillä on sama mitä reittiä nykyiseen tilaan on tultu. Nykyinen tila riippuu vain edellisestä tilasta.

Jos yksinkertaistamme alkuperäistä viisiportaista Likert-asteikkoa siten, että ajattelemme olevan vain kolme tilaa: eri mieltä (tila [0]), samaa mieltä (tila [1]) ja epävarma (tila [e]), voimme yksinkertaisesti demonstroida asiantuntijamielipiteet kolmitilaisena Markovin ketjuna:

		loppumittaus			
		tila(0)	tila(1)	tila(e)	yhteensä
	tila (0)	a_{00}	a_{01}	a_{0e}	Summa a_{0j}
alku-	tila (1)	a_{10}	a_{11}	a_{1e}	Summa a_{1j}
mittaus	tila (e)	a_{e0}	a_{e1}	a_{ee}	Summa a_{ej}
					Summa $\mathbf{a}_{ij}$

missä $\mathbf{a}_{00}$ viittaa niiden henkilöiden lukumäärään, jotka pysyivät tilassa (0), toisin sanoen vastaajat olivat eri mieltä kuin väite molemmissa mittauksissa. Mielipide pysyi tällöin stabiilina. $\mathbf{a}_{01}$ viittaa niiden henkilöiden lukumäärään, jotka siirtyivät tilasta (0) tilaan (1) eli jotka olivat ensimmäisellä kerralla eri mieltä väitteestä, mutta toisella kerralla samaa mieltä. Mielipide ei siis ollut stabiili. $\mathbf{a}_{0e}$ viittaa niiden henkilöiden lukumäärään, jotka siirtyivät tilasta (0) tilaan (e) eli niihin henkilöihin, jotka ensimmäisellä kerralla olivat eri mieltä väitteestä, mutta toisella kerralla olivat epävarmoja. Tällöinkin mielipide oli epästabiili. $\mathbf{a}_{0j}$ viittaa kaikkien niiden henkilöiden lukumäärään, jotka olivat ensimmäisellä kerralla eri mieltä kuin väite. Muiden indikaattoreiden tulkinta on vastaavanlainen. Viimeinen $\mathbf{a}_{ij}$ viittaa kaikkien vastaajien määrään.

Perinteisesti siirtymätodennäköisyydet lasketaan Markovin hengessä siten, että rivien todennäköisyydet tulevat 1:ksi, eli P($\mathbf{a}_{0j}$)=1, P($\mathbf{a}_{1j}$)=1 ja P($\mathbf{a}_{ej}$)=1. Asiantuntijoiden pysyvyys (eli Markovin ketjujen teorian kannalta ilmaistuna: todennäköisyys pysyä tilassa (0) ehdolla, että oli tilassa (0) ensimmäisessä mittauksessa) on yksinkertaista laskea ehdollisen todennäköisyyden kaavan (3) avulla (DeGroot 1986, 57):

$$P(A_{\text{ehdolla}}\ B) = \frac{P(A \text{ ja } B)}{P(B)} \qquad (3)$$

Nyt P(A $_{\text{ehdolla}}$ B) on A:n todennäköisyys ehdolla B, P(A ja B) on A ja B joukkojen leikkauksen todennäköisyys ja P(B) on tilan todennäköisyys ensimmäisessä mittauksessa. Todennäköisyys pysyä tilassa (0) ehdolla, että oli tilassa (0), saadaan laskettua seuraavasti:

$$P(\text{tila}[0]_{\text{ehdolla}}\ \text{tila}\,[0]) = \frac{\mathbf{a}_{00} / \mathbf{a}_{0j}}{\mathbf{a}_{0j} / \mathbf{a}_{ij}} = \frac{\mathbf{a}_{00}}{\mathbf{a}_{ij}}$$

Kokonaistodennäköisyyden lain perusteella todennäköisyys pysyä samassa tilassa voidaan laskea seuraavasti:

$$Sb_{xy} = \frac{\mathbf{a_{00}}}{\mathbf{a_{ij}}} + \frac{\mathbf{a_{11}}}{\mathbf{a_{ij}}} + \frac{\mathbf{a_{ee}}}{\mathbf{a_{ij}}} = \frac{\mathbf{a_{00}} + \mathbf{a_{11}} + \mathbf{a_{ee}}}{\mathbf{a_{ij}}}$$

Stabiliuden todennäköisyyden logiikka on siis läpinäkyvä, ellei peräti itsestään selväkin: jos haluamme tietää mielipiteiden stabiliteetin, laskemme yhteen kaikki ne tapaukset, jossa asiantuntijat ovat olleet yhtämieltä kahden eri mittauksen välillä. Saadun summan jaamme kaikkien havaintojen lukumäärällä. Näin saamme stabiliuden todennäköisyyden. Kiinnostunut lukija voi katsoa tarkemmin asiantuntijoiden stabiliteetin laskemisesta työministeriön ennakoinnin sivuilta (Metsämuuronen 1997b).

Markovin ketjuja ja ehdollista todennäköisyyttä on mahdollista hyödyntää myös ns. heikkojen signaalien analysoinnissa. Tämän artikkelin lopussa esitän tarkemmin laskemalla, minkälaisia johtopäätöksiä voidaan esittää Markovin ketjun avulla heikoista signaaleista. Lähden nyt esittelemään Markovin ketjun avulla, kuinka testi-uusintatesti menettelyllä saatua numeerista tietoa voidaan hyödyntää jatkoanalyyseissa.

Asiantuntijoiden mielipiteiden tasapainojakauma

Lähdemme liikkeelle tilanteesta, että olemme mitanneet samoilta asiantuntijoilta samoja tulevaisuuden attribuutteja kaksi kertaa viisi-portaisella Likert-asteikollisella mittarilla. Tuloksena voisi olla taulukon 3 kaltainen simuloitu tulos, jossa on kolme erilaista tulevaisuuden attribuuttia (x1-x3), joita 30 asiantuntijaa on arvottanut. Tietyn ajan kuluttua (esimerkiksi kuukauden tai puolen vuoden) on laitettu asiantuntijat arvottamaan uudelleen samoja attribuutteja (y1-y3). Attribuutti 1 on sellainen, jossa on havaittavissa mahdollinen positiivinen heikko signaali, ts. muutamat asiantuntijat ovat muuttaneet attribuuttia koskevan mielipiteensä *”ei merkityksellinen”* mielipiteeksi *”merkityksellinen”*. Attribuutin 2 suhteen ei asiantuntijoiden mielipiteissä ole juurikaan tapahtunut muutosta, minkä lisäksi attribuutin suhteen asiantuntijat eivät olleet myöskään epävarmoja. Attribuutti 3 edustaa muuttujia, joiden suhteen mahdollinen heikko signaali on negatiivinen, ts. asiantuntijoista selkeä joukko on muuttanut mieltään attribuutin suhteen ”merkityksellisyydestä” ”vähemmän merkityksellisyyteen”. Olisimme saattaneet kysyä asiantuntijoilta esimerkiksi ”*Miten merkittävänä uhkana pidät Kosovon kriisiä kansainväliselle rauhalle?*” tai ”*Miten oleellinen opetuksen tulevaisuuteen vaikuttava tekijä on uusi koululaki?*”

Taulukko 3. Asiantuntijoiden arvottamat tulevaisuuden attribuutit

NO	x1	y1	x2	y2	x3	y3
1	2	1	4	1	2	4
2	3	2	4	5	4	5
3	4	5	5	5	3	1
4	2	1	5	5	3	2
5	3	4	1	4	3	1
6	1	5	5	5	5	5
7	3	3	4	4	5	5
8	2	5	5	5	3	3
9	2	1	5	5	5	5
10	1	4	5	4	5	4
11	2	1	5	4	5	5
12	1	1	5	5	5	5
13	5	3	4	5	5	5
14	1	1	4	4	3	5
15	1	1	1	2	5	4
16	1	4	2	4	4	4
17	2	2	5	4	2	1
18	2	3	4	4	4	3
19	2	1	4	4	4	2
20	1	1	4	5	5	5
21	2	2	5	4	5	4
22	2	2	4	5	4	5
23	3	3	5	4	5	1
24	1	5	4	5	5	3
25	1	1	1	1	4	1
26	2	1	5	4	1	3
27	5	2	2	2	4	3
28	1	1	4	4	5	2
29	1	1	1	1	4	2
30	1	1	5	5	5	1

Taulukossa 4 on rakennettu simuloidun aineiston pohjalta Markovin ketjut, joita käytetään myöhemmin hyödyksi niin siirtymätodennäköisyyksiä kuin tasapainojakaumaa laskettaessa. Yksinkertaistamisen vuoksi aineistosta on suoraan laskettu redusoidut Markovin ketjut, jolloin asiantuntijamielipiteet 1 ja 2 (erimielisyys) on yhdistetty arvoksi 1, mielipiteestä 3 (epätietoisuus) on tullut arvo 2, ja mielipiteet 4 ja 5 (samanmielisyys) on yhdistetty arvoksi 3.

Taulukko 4. Markovin ketjut

Attribuutin 1 Markovin ketju: esimerkiksi ”*Kosovon kriisi on merkittävä uhka kansainväliselle rauhalle*”

		Mielipide II mittauksessa			
		Eri mieltä	Samaa mieltä	Epä-tietoinen	Yht.
Mielipide	erim	$a_{11}=17$	$a_{12}=1$	$a_{13}=5$	$a_{1j}=23$
mittauk-	sama	$a_{21}=1$	$a_{22}=2$	$a_{23}=1$	$a_{2j}=4$
sessa I	epät	$a_{31}=1$	$a_{32}=1$	$a_{33}=1$	$a_{3j}=3$
					$a_{ij}=30$

Attribuutin 2 Markovin ketju: esimerkiksi ”*Uusi koululaki vaikuttaa merkittävästi koulujen toimintaan*”

		Mielipide II mittauksessa			
		Eri mieltä	Samaa mieltä	Epä-tietoinen	Yht.
Mielipide	erim	$a_{11}=4$	$a_{12}=0$	$a_{13}=1$	$a_{1j}=5$
mittauk-	sama	$a_{21}=0$	$a_{22}=0$	$a_{23}=0$	$a_{2j}=0$
sessa I	epät	$a_{31}=1$	$a_{32}=0$	$a_{33}=24$	$a_{3j}=25$
					$a_{ij}=30$

Attribuutin 3 Markovin ketju: esimerkiksi ”*Kansantalouden kasvu on oleellinen sosiaali- ja terveys-alan tulevaisuuteen vaikuttava tekijä*”

		Mielipide II mittauksessa			
		Eri mieltä	Samaa mieltä	Epä-tietoinen	Yht.
Mielipide	erim	$a_{11}=0$	$a_{12}=1$	$a_{13}=1$	$a_{1j}=3$
mittauk-	sama	$a_{21}=3$	$a_{22}=1$	$a_{23}=1$	$a_{2j}=5$
sessa I	epät	$a_{31}=7$	$a_{32}=3$	$a_{33}=13$	$a_{3j}=22$
					$a_{ij}=30$

Tasapainojakaumalla tarkoitetaan sitä tilaa, johon prosessi päätyy, kun se on laitettu liikkeelle. Asiantuntijamielipiteen kyseessä ollen se tarkoittaa siis sitä tilaa, joka tilastollisessa mielessä näyttää olevan mielipiteiden muuttumisen prosessin tulos. Tilastomatemaattisia perusteluja tasapainojakauman laskemiselle ei tarvita tässä vaiheessa. Riittää, että tiedämme, että Likert-asteikolla mitattu mielipide toteuttaa ne ehdot, jotka tasapainojakauman syntyminen edellyttää (ks. tarkemmin Cox & Miller 1965, Cox & Hinkley 1974, Steward 1994, 14-17). Mikäli lukija ahdistuu matematiikasta, hän voi sivuuttaa seuraavat laskut, joissa lasketaan kyseinen tasapainojakauma, ja voi palata asiaan matemaattisen osuuden jälkeen. Laskut sinänsä ovat helppoja, ja tarkoitus onkin, että lukija voisi haluttaessaan soveltaa laskumenettelyä omissa analyyseissaan. Seuraavissa laskuissa käytettävät merkinnät ovat ilmeisesti lukijalle outoja, mutta pyrin selittämään niitä sitä mukaa kuin niitä ilmenee.

Markovin kentän perusteella voidaan laskea ns. siirtymätodennäköisyyksien matriisi **P:**

$$\mathbf{P} = \begin{matrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{matrix}$$

Matriisissa p:t viittaavat kunkin solun siirtymätodennäköisyyksiin. Toisin sanoen attribuutin 1 siirtymätodennäköisyysmatriisi **P** voidaan kirjoittaa muotoon:

$$P = \begin{matrix} 1/7=0.14 & 1/7=0.14 & 5/7=0.71 \\ 1/4=0.25 & 2/4=0.50 & 1/4=0.25 \\ 1/19=0.05 & 1/19=0.05 & 17/19=0.89 \end{matrix},$$

jolloin huomataan, että todennäköisyyksistä tulee tasan 1 riveittäin laskettuna. Näin ollen esimerkiksi p_{13} voidaan lausua p_{11}:n ja p_{12}:n avulla seuraavasti:

$$p_{13} = 1 - p_{11} - p_{12}$$

Yksinkertaisuuden vuoksi laskemme ensin attribuutin 2 tasapainojakauman. Attribuutti 2 on aidosti kaksitilainen Markovin ketju, sillä epävarmoja asiantuntijoita ei ollut. Näin ollen siirtymätodennäköisyyksien matriisi **P** on:

$$\mathbf{P} = \begin{matrix} 0.80 & 0.20 \\ 0.04 & 0.96 \end{matrix}$$

Tasapainojakaumaa merkitään p:llä, joka on rivivektori ja sisältää tässä tapauksessamme kaksi alkiota π_1 ja π_2, toisin sanoen

$p=(\pi_1, \pi_2)$, missä π_1 ja π_2 viittaavat vastaaviin tiloihin 1 ja 2.

Tasapainojakauma p toteuttaa seuraavan ehdon, jonka perusteella varsinainen lasku voidaan suorittaa:

$$p = p\mathbf{P}$$

Matriisilaskusääntöjen mukaan laskenta tapahtuu seuraavasti:

$$(\pi_1, \pi_2) = (\pi_1, \pi_2) \begin{matrix} p_{11} & 1\text{-}p_{11} \\ p_{21} & 1\text{-}p_{21} \end{matrix}$$

Syntyy kolme yhtälöä:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= p_{11}\pi_1 + p_{21}\pi_2 && (1) \\ \pi_2 &= (1-p_{11})\pi_1 + (1-p_{21})\pi_2 && (2) \\ \pi_1 + \pi_2 &= 1 && (3) \end{aligned}$$

Ratkaistaan yhtälöryhmä. Ratkaistaan ensin yhtälö (3):

$$\pi_1 = 1 - \pi_{2,}$$

joka sijoitetaan yhtälöön (1):

$$1-\pi_2 = p_{11}(1- \pi_2)+p_{21}\pi_2$$

$\Leftrightarrow$

$$1- p_{11} = (1+p_{12}-p_{11})\pi_2$$

$\Leftrightarrow$

$$\pi_2=(1-p_{11})/ (1+p_{21}-p_{11}).$$

Sijoitetaan saatu tulos yhtälöön (3):

$$\pi_1 = 1 - (1-p_{11})/ (1+p_{21}-p_{11})$$

$\Leftrightarrow$

$$\pi_1 = (1+p_{21}-p_{11}-1+p_{11})/ (1+p_{21}-p_{11})$$

$\Leftrightarrow$

$$\pi_1 = p_{21}/ (1+p_{21}-p_{11}),$$

joten

$$\begin{aligned} \pi_2 &=(1-p_{11})/ (1+p_{21}-p_{11}) \\ \pi_1 &= p_{21}/ (1+p_{21}-p_{11}). \end{aligned}$$

Lasketaan attribuutin 2 tasapainojakaumalle numeroarvot:

$$\begin{aligned} \pi_2 &=(1-0.8)/ (1+0.04-0.8) =0.167 \\ \pi_1 &= 0.04/ (1+0.04-0.8) \quad =0.833 \end{aligned}$$

mikä tarkoittaa sitä, että kun prosessi (asiantuntijoiden mielipide) saavuttaa tasapainonsa, on attribuuttiin kielteisesti suhtautuvia asiantuntijoita 16.7 % (tilan todennäköisyys on 0.167) eli yhteensä 5 kappaletta ja attribuuttiin positiivisesti suhtautuvia olisi 83.3% eli 25 yhteensä. Attribuutti 2 oli rakennettu siten, että se edustaisi sellaista tulevaisuuden attribuutteja, joiden suhteen ei todellista muutosta asiantuntijamielipiteissä tapahtuisi. Prosessi on siis tasapainossa alunperinkin (ks. taulukko 5). On huomattava, että mikäli yhtälöryhmä ei jostain syystä ratkea, on lasku suoritettu väärin tai prosessilla ei ole tasapainojakaumaa.

Vastaavalla tavalla lasketaan attribuuttien 1 ja 3 tasapainojakaumat. Attribuutteihin 1 ja 3 sovellettuna laskut tapahtuvat samalla tavalla, sillä erotuksella, että p- vektorit sisältävät kolme alkiota π_1, π_2 ja π_3, toisin sanoen

$$p=(\pi_1, \pi_2, \pi_3), \text{ missä } \pi_1 - \pi_3 \text{ viittaavat vastaaviin tiloihin 1 -3.}$$

Tasapainojakauma p toteuttaa edelleen seuraavan ehdon, jonka perusteella varsinainen lasku voidaan suorittaa:

$$p = p\mathbf{P}$$

Tällä kertaa laskenta lähtee liikkeelle seuraavasti:

$$(\pi_1, \pi_2, \pi_3) = (\pi_1, \pi_2, \pi_3) \begin{array}{ccc} p_{11} & p_{12} & 1- p_{11} - p_{12} \\ p_{21} & p_{22} & 1- p_{21} - p_{22} \\ p_{31} & p_{32} & 1- p_{31} - p_{32} \end{array}$$

Syntyy neljä yhtälöä:

$$\pi_1 = p_{11}\pi_1 + p_{21}\pi_2 + p_{31}\pi_3 \quad (1)$$
$$\pi_2 = p_{12}\pi_1 + p_{22}\pi_2 + p_{32}\pi_3 \quad (2)$$
$$\pi_3 = (1- p_{11} - p_{12})\pi_1 + (1- p_{21} - p_{22})\pi_2 + (1- p_{31} - p_{32})\pi_3 \quad (3)$$
$$\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 = 1 \quad (4)$$

Laskut itsessään eivät ole kovin vaikeita, mutta ne tuottavat epämiellyttävän pitkiä lausekkeita. Lopputuloksena saadaan attribuuttien 1 ja 3 tasapainojakaumat. Attribuutin 1 tasapainojakaumaksi saadaan p= (π_1=0.531, π_2=0.215, π_3=0.254) ja attribuutin 3 tasapainojakaumaksi p= (π_1=0.350, π_2=0.255, π_3=0.455). Taulukossa 5 on koottuna asiantuntijamielipiteen tasapainojakaumien perusteella arvioidut prosessit.

Taulukko 5. Asiantuntijamielipiteet prosessina

Asiantuntijamielipide attribuutin 1 suhteen (voimistuva attribuutti):

Asiantuntijat	Ensimmäinen mittaus	Toinen mittaus	Tasapaino
"Attribuutti ei ole merkityksellinen"	23 (76.7%)	19 (63.3%)	16 (53.1%)
"Ei osaa sanoa"	4 (13.3%)	4 (13.3%)	6 (21.5%)
"Attribuutti on merkityksellinen"	3 (10.0%)	7 (23.3%)	8 (25.4%)

Asiantuntijamielipide attribuutin 2 suhteen (ei muutosta):

Asiantuntijat	Ensimmäinen mittaus	Toinen mittaus	Tasapaino
"Attribuutti ei ole merkityksellinen"	5 (16.7%)	5 (16.7%)	5 (16.7%)
"Attribuutti on merkityksellinen"	25 (83.3%)	25 (83.3%)	25 (83.3%)

Asiantuntijamielipide attribuutin 3 suhteen (heikkenevä attribuutti):

Asiantuntijat	Ensimmäinen mittaus	Toinen mittaus	Tasapaino
"Attribuutti ei ole merkityksellinen"	3 (10.0%)	10 (33.3%)	9 (29.0%)
"Ei osaa sanoa"	5 (16.7%)	5 (16.7%)	8 (25.5%)
"Attribuutti on merkityksellinen"	22 (73.3%)	15 (50.0%)	13 (45.5%)

Huomaamme, että tilastollisessa mielessä heikon signaalin ominaispiirteisiin kuuluu se, että epävarmuus asian suhteen kasvaa. Sekä attribuutin 1 että 3 osalta tasapainojakauma jatkaa samaa trendiä kuin toinen mittaus edellyttää, mutta trendin suunta hieman loivenee johtuen juuri siitä, että simuloidussa aineistossa sekä tilasta "merkityksellinen" että tilasta "ei merkityksellinen" oli mahdollisuus siirtyä tilaan "epävarma".

On huomattava, että tasapainotilanne ei tarkoita todellista lopputilaa. Mikäli nimittäin kyseessä on heikko signaali, olisi kolmannessa (vielä tekemättömässä) mittauksessa todennäköisesti asiantuntijoiden mielipiteet radikaalimmin muuttuneet, kuin mitä tasapainojakauma edellyttää. Tasapainojakauma kertoo kulkusuunnan ja sen päätepisteen, mihin päädytään, mikäli muutos on samanlaista prosessin edetessä. Tarkalleen ottaen Markovin ketjujen teoriassa tasapainojakauma kertoo prosessin tilan siinä vaiheessa, kun ensimmäisen mittauksen vaikutus on unohtunut.

Heikot signaalit ja Markovin ketjut

On olemassa kahdenlaisia heikkoja signaaleita. Toisaalta on signaaleita siitä, että nousemassa on jokin uusi tulevaisuuden attribuutti ja toisaalta on signaaleita siitä, että vanha tulevaisuuden attribuutti menettää merkitystään. Markovin kenttien avulla on mahdollista tutkia näitä signaaleita. Kun asiantuntijoiden mielipiteen pysyvyyttä arvioitaessa huomio kiinnitetään alkuperäisen Markovin kentän lävistäjäalkioihin, voidaan mahdollisia heikkoja signaaleita löytää Markovin kentän ylä- ja alakolmanneksesta. (Metsämuuronen 1997b.)

Heikkojen signaalien kannalta kiintoisia asiantuntijoita on kahdenlaisia. Toisaalta ovat ne, joiden mielipide muuttui mittausten välillä. Erityisesti mikäli asiantuntija on muuttanut radikaalisti omaa kantaansa (eli siirtynyt tilasta ”eri mielinen” tilaan ”samanmielinen” tai päinvastoin), se voi olla merkki heikosta signaalista. Simuloidussa aineistossamme mielipidettään muuttavia asiantuntijoita oli kohtuullisesti. Toinen heikkojen signaalien kannalta mielenkiintoinen asiantuntijajoukko ovat ne ”näkijät”, jotka jo ensimmäisessä mittauksessa aistivat, että kyseessä on joko nouseva tai laskeva trendi. Näitä asiantuntijoita oli aineistossa attribuuttien 1 ja 3 suhteen kolme kappaletta. Ongelma on se, että yhden mittauksen perusteella ei vielä tiedetä, ovatko nämä poikkeavan mielipiteen esittäneet asiantuntijat ”haihattelijoita” vai todellisia ”näkijöitä”. Toisen mittauksen ja erityisesti tasapainojakauman avulla voidaan hieman tarkemmin selvittää ”näkijä”asiantuntijoiden havaitseman signaalin merkitystä.

Mitään standardia ei ole heikon signaalin löytämiselle. Käytännössä mainitunlainen tulos vaatisi ilmeisesti vielä kolmannen mittauksen, jonka avulla voisi paremmin arvioida oliko signaali todella heikko signaali vai pelkkää kohinaa. Eräs mahdollisuus arvioida heikkoa signaalia kahden mittauksen perusteella voisi olla se, että verrataan tasapainojakauman tulosta ensimmäisen mittauksen tulokseen. Tällöin kysymys kuuluu: ollaanko lähestulkoon tasapainotilanteessa jo alun perinkin. Aineistossamme ollut attribuutti 2 oli tässä mielessä liian tarkkaan harkittu, sillä kyseisen attribuutin suhteen ei tapahtunut lainkaan muutosta mittausten välillä. Attribuuttien 1 ja 3 suhteen ensimmäisen mittauksen ja tasapainotilanteen välillä on prosenttiyksiköissä mitattuna noin 2.5 - 3 -kertainen kasvu niiden asiantuntijoiden määrässä, jotka siirtyivät kannattamaan valtavirrasta poikkeavaa mielipidettä.

Metodologisia huomioita

Tasapainojakauma on kohtuullisen helppo laskea. Ongelma käsin laskemisessa on se, että helposti tulee huolimattomuusvirheitä, sillä erityisesti kolmitilaisessa tapauksessa lausekkeet ovat kohtuullisen pitkiä. Itse käytin laskemisessa SURVO -ohjelmistoa (Mustonen 1992), joka muutoin on vaativa ohjelmisto, mutta jonka kirjoitustilassa on helppo laskea tämänkaltaisia pitkiä laskuja. On kehitetty suuri joukko matemaattisia algoritmeja, joilla aineiston matemaattinen analyysi voidaan suorittaa vaivattomasti (Steward 1991, Steward 1994, Steward 1995). Tässä artikkelissa esitetty laskentatapa soveltuu helposti käsin laskemiseen.

Ongelmallisempaa kuin itse laskeminen on se, että aineisto pitää olla hyvin kerätty. Tämä sama ongelma liittyy myös stabiliteettikertoimen laskemiseen: ensinnäkin aineistoksi ei riitä vain yksi mittaus, vaan mittauskertoja on oltava vähintään kaksi. Toiseksi aineisto tulee olla kerätty samoilta asiantuntijoilta kaikilla (molemmilla) mittauskerroilla.

Eräs tilastotieteellis-filosofinen ongelma tulee siitä, että Markovin ketjujen teoriassa keskeisenä oletuksena on se, että tiloilla ei ole historiaa (Steward 1994, 5). Toisin sanoen aidossa Markovin ketjussa tilan todennäköisyys riippuu vain edellisestä tilasta. Ihmisiä tutkittaessa tämä voi olla ongelmallista. Jokaisella ihmisellä on historia ja niinpä jokaisella mielipiteellä on historia. (Tästä kommentista – ja muutenkin Markovin ketjujen perusteiden opettamisesta – kiitokset Helsingin yliopiston tilastotieteenlaitoksen apulaisprofessori Anders Ekholmille). Historian tuomaan ongelmaan eräs ratkaisu saattaa olla se, että ajatellaan mittausten välillä olevan riittävän pitkän aikajakson (puoli vuotta - vuosi) katkaisevan edelliseen mittaukseen liittyvän historian. Toisin sanoen asiantuntijat asetetaan uuden mittauksen eteen olettaen, että he ovat unohtaneet, mitä vastasivat ensimmäiseen mittaukseen. Näin ollen ajatellaan, että vaikka ihminen kantaa historiaa itsessään, ei mukana kulkeva historia vaikuta tämän hetken mielipiteeseen. Aidosti näin ei ole, mutta itse mittauksen kannalta ongelma ei ole ylittämätön. Steward esittää edelleen (1994, 5), että epäjatkuvassa tapauksessa (mitä tapauksemme edustaa) tilassa pysymisen ajan tulee noudattaa geometrista jakaumaa, sillä epäjatkuvista jakaumista vain geometrisellä jakaumalla on se ominaisuus, että ”sillä ei ole historiaa”. Tässä tapauksessa emme ole tutkineet tilassa pysymisen ajan jakaumaa. Ominaisuus on enemmänkin teoreettinen kuin käytännöllinen.

Kokonaan toinen ongelma syntyy siitä, että ei ole saman tekevää, miksi asiantuntija muuttaa mielipidettään. Kosovon kriisi jatkuu ja Venäjä antaa yhä painokkaampaa vaatimusta NATOlle lopettaa pommitukset sanktioiden uhalla. Todellinen maailmanrauhan uhka alkaa olla todellinen ja asiantuntijoista vain näkijät osasivat ajoissa sanoa, että riski on suuri, mutta tiedotusvälineiden puututtua tilanteeseen mielipide voi muuttua radikaalistikin. Toisaalta mielipide saattaa muuttua oletetun tai jopa väärän informaation vuoksi. Ilmeisesti esitetyllä tavalla heikkoja signaaleita analysoitaessa mittaukseen olisi ehkä syytä kytkeä mukaan myös argumentaatioanalyysia (ks. esimerkiksi Metsämuuronen 1998); analyysia siitä, millä perusteella mielipide on muuttunut.

Ihmisen intentionaalisuus ja irrationaalisuus saattavat olla eräs ongelma arvioitaessa asiantuntijoiden mielipidettä prosessina. Asiantuntija voi tietoisesti ”lobata” omia mielipiteitään vastauksissaan ja toisaalta hän voi vaihtaa mielipiteensä aivan päinvastaiseksi näennäisesti täysin vailla syytä. Tämä saattaa heijastua Markovin ketjussa siten, että kun muutostrendi saa alkunsa, ei tasapainojakauma – joka mittaa tilannetta matemaattisen jäykästi – pysty ennustamaan todellisia lopputilan arvoja, vaan aidosti ainoastaan suunnan. On huomattava, ettei Markovin ketjuja ole alun perin luotu ihmisten mielipiteiden tutkimiseen; Markovin ketjujen teoriaa kehittänyt A.A. Markov tutki itse aikoinaan Pushkinin tekstejä ja analysoi teksteistä kirjaimia. Terve varovaisuus lienee paikallaan tuloksia analysoitaessa.

Lopuksi

Heikkoja signaaleita ei olla useinkaan saatu kiinni (eivät kai ne muuten olisikaan heikkoja signaaleita). Markovin ketjut, siirtymätodennäköisyyksien matriisi ja tasapainojakauma ovat yksi mahdollisuus pyrkiä pääsemään matemaattisesti käsiksi heikkoihin signaaleihin. Todellinen ennustaminenhan lienee juuri sitä, että havaitsee mahdollisimman varhain tulevat muutokset. Kuten Göteborgin tulevaisuuden tutkimuksen keskuksen johtaja Åke Andersson sanoi tulevaisuuden tutkimuksen seminaarissa 19.3. 1997: trendit ovat tylsiä, sillä ne kertovat jotain, mikä on ilmeistä. Toisin sanoen kiintoisaa ei olekaan se, minkä kaikki näkevät, vaan se, mikä tulee, mutta ei vielä ole kaikilta osin näkyvissä.

LÄHTEET:

Andersson Å 1997: *New Directions in Future Studies***.** Luento Tulevaisuuden tutkimuksen seminaarissa Hämeenlinnassa 19.3.1997.

Cline ME, Herman J, Shaw ER & Morton RD 1992: Standardization of the Visual Analoque Scale. *Nursing Research*, Nov.-Dec. **41**(6), 378-380.

Cox DR & Hinkley DV 1974: *Theoretical Statistics***.** London: Chapman & Hall.

Cox D R & Miller H D 1965: *The Theory of Stochastic Processes*. London: Methuen.

DeGroot MH 1986: *Probability and Statistics*. 2nd edition. Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Company.

Metsämuuronen J 1995: *Harrastukset ja omaehtoinen oppiminen: sitoutuminen, motivaatio ja coping*. Teoreettinen tausta, rakenneanalyysi ja sitoutuminen. Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos, Tutkimuksia 146. Vantaa: Tummavuoren kirjapaino.

Metsämuuronen J 1997a: Conjoint Analyysi tulevaisuuden tutkimuksessa. *Työelämän muutosten ja koulutustarpeiden ennakoinnin menetelmät käytäntöineen*. Työministeriön Internetjulkaisu. www.mol.fi/esf/ennakointi/menetelmät

Metsämuuronen J 1997b: Asiantuntijoiden mielipiteiden stabiliuden mittaus tulevaisuustutkimuksessa. *Työelämän muutosten ja koulutustarpeiden ennakoinnin menetelmät käytäntöineen*. Työministeriön Internetjulkaisu. www.mol.fi/esf/ennakointi/menetelmät

Metsämuuronen J 1998: *Maailma muuttuu – miten muuttuu sosiaali- ja terveysala*. Sosiaali- ja terveysministeriö, Opetushallitus, Stakes, Suomen Kuntaliitto yhteisjulkaisu. Työministeriön ESR-julkaisusarja 39/98. Helsinki: Edita.

Miller MD & Ferris DG 1993: Measurement of Subjective Phenomena in Primary Care Research: The Visual Analoque Scale. *Family Practice Research Journal*, Mar. **13**(1), 15-24.

Mustonen S 1992: *SURVO, An Integrated Environment for Statistical Computing and Related Areas*. Helsinki, Finland: Helsinki University Printing House.

Steward WJ (toim.) 1991: *Numerical Solution of Markov Chains*. Marcel Dekker, Inc., New York.

Steward WJ 1994: *Introduction to the Numerical Solution of Markov Chains*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Steward WJ (toim.) 1995: *Computations with Markov Chains*. Kuwer Academic Publisher.

Wewer ME & Lowe NK 1990: A Critical Review of Visual Analoque Scale in the Measurement of Clinical Phenomena. *Research in Nursing and Health*, Aug. **13**(4), 227-236.