Tapahtuman syyn ymmärtämisestä ja löydetyn vastauksen välittämisestä

Panu Ahjos
Panu.Ahjos@helsinki.fi
040 594 0489

Helsinki 30.3.2003
Kausaaliset mallit -seminaari
HELSINGIN YLIOPISTO
Tietojenkäsittelytieteen laitos

Sisällys

1. JOHDANTO 1

2. KAUSAALIMALLI SYIDEN JA SELITYSTEN TAUSTALLA 2

3. TODELLINEN SYY 3

4. KELTAISEN PUOLUEEN ESIMERKKI 6

5. TODELLISEN SYYN VÄLITTÄMINEN: SELITYS 8

6. YHTEENVETO JA POHDINTAA 13

LÄHTEET 14

1. Johdanto

Tarkastellaan keltaista puoluetta, joka on valmistautumassa eduskuntavaaleihin. Maassa on käytössä äänikynnys, joka määrää, että puolueen on saatava vähintään 10% äänistä saadakseen eduskuntapaikan. Tuoreessa mielipidekyselyssä 20% vastanneista ilmoitti äänestävänsä keltaista puoluetta. Muiden puolueiden kannattajat ilmoittivat, että he eivät äänestäisi keltaista puoluetta, koska sen puoluejohtaja oli kärsinyt vankeusrangaistuksen.

Kyselyssä kaikki keltaisen puolueen kannattajat ilmoittivat vastustavansa jyrkästi yksityisautoilua ja opintotuen korottamista. Puolueen puheenjohtaja ja varapuheenjohtaja, jotka eivät vielä olleet nähneet kyselyn tuloksia, olivat kumpikin tahoillaan toisistaan tietämättä päättäneet muuttaa puolueensa imagoa. Puheenjohtaja aloitti Helsingissä juorun, jonka mukaan puolue kannattaa yksityisautoilua. Varapuheenjohtaja puolestaan vuoti Rovaniemellä tiedon, että puolue haluaa korottaa opintotukea.

Juorut levisivät nopeasti, ja pian kaikki tiesivät puolueen muuttuneen kannan. Vaaleissa puolue sai vain 5% äänistä eikä siten yhtään eduskuntapaikkaa.

Kumpi tapahtumista, puheenjohtajan vai varapuheenjohtajan juoru, oli puolueen vaalitappion todellinen syy?

Tässä esitelmässä tarkastellaan syiden olemusta ja niiden välittämistä toisille osapuolille. Ongelmaan tarjotaan ratkaisuksi tapahtuman syille ja näiden selityksille erästä mahdollista määrittelyä, joka Pearlin ja Halpernin mukaan on tyypillisissä sovellustilanteissa hyödyllinen.

2. Kausaalimalli syiden ja selitysten taustalla

Kausaalimalli, johon syiden ja niiden selitysten ongelman ratkaisu nojaa, on perusidealtaan tuttu jo aiemmilta seminaarikerroilta: maailmassa vaikuttavat kausaaliset suhteet vangitaan satunnaismuuttujiin ja niiden välisiin yhteyksiin. Tässä mallissa kausaaliset yhteydet kuvataan käyttäen *rakenneyhtälöitä*. Jokainen tällainen yhtälö kuvaa yhden maailmassa vallitsevan luonnonlain, joka vaikuttaa siihen, miten kokonaisjärjestelmä käyttäytyy. Satunnaismuuttujat, jotka antavat kussakin sovelluksessa sisällön rakenneyhtälöiden muodostamalla kehikolle, jaetaan kahteen ryhmään. Mallin *sisäiset muuttujat* ovat sellaisia, että niiden arvo määräytyy rakenneyhtälöiden vaikutuksesta. Ajatellen kausaalimallia sisäiset muuttujat ovat sellaisia asioita, jotka eivät ole syy-seuraus-puun juuria. Niillä on vanhempia ja esi-isiä, jotka määräävät, mikä niiden arvo kulloinkin on. *Ulkoiset muuttujat* puolestaan ovat syy-seuraus-suhteiden muodostaman puun juurisolmuja. Niiden arvo määräytyy deterministisesti mallin ulkopuolisten tekijöiden vaikutuksesta, eikä niiden arvoa voida päätellä mallin muita muuttujia ja yhteyksiä tarkastelemalla.

Merkitään ulkoisia syitä symbolilla U ja sisäisiä muuttujia symbolilla V.

Käytännön ongelmia ratkaistaessa joukkoon U täytyy valita mukaan *kaikki* tilanteen mallintamisen kannalta keskeiset tekijät. Tämä on tärkeää, sillä puutteellinen mallinnus johtaa virheellisiin tuloksiin. Esimerkissämme keltaisesta puolueesta ulkoisiin muuttujiin pitäisi ottaa mukaan puoluejohtajien lausuntoja lukuunottamatta kaikki sellaiset tekijät, jotka voivat vaikuttaa puolueen kannatukseen. Näitä voisivat olla esimerkiksi puolueen muiden toimihenkilöiden lausunnot tai maailmanpolitiikassa tapahtuneet muutokset.

Tarvitsemme kausaalimallia selvittämään, mikä aiheutti jonkin tietyn tapahtuman, esimerkissämme puolueen vaalitappion. Ilmiötä kuvaavan kausaalimallin rakentaminen ei ole yksinkertaista, koska

kaikkien ilmiöön vaikuttavien tekijöiden löytäminen mukaan malliin on vaikeaa. Käyttämässämme rakenneyhtälöiden konstruktiossa ilmiöön vaikuttavat taustatekijät voidaan sijoittaa kahteen paikkaan, joko ulkoisiksi muuttujiksi tai suoraan rakenneyhtälöihin.

Jos oletamme, että sää vaikuttaa ihmisten äänestyskäyttäytymiseen, voisimme ottaa malliin mukaan uuden muuttujan sää. Koska sää on sellainen tekijä, joka ei määräydy muiden mallimme ominaisuuksien perusteella, sitä pitäisi käsitellä ulkoisena muuttujana. Säätila voitaisiin mallintaa esimerkiksi kaksijakoisella sataa / ei sada -muuttujalla.

Mallin rakenneyhtälöihin tallennetaan käsityksemme siitä, miten maailman kausaaliset lainalaisuudet toimivat. Ne asettavat kiinteät arvot joillekin kausaalimallin muuttujille, kun toisten muuttujien arvot on annettu. Intuitiivisesti ne kuvaavat, millainen yhteys kahden nuolella toisiinsa yhdistetyn kausaaliverkon solmun arvojen välillä vallitsee.

3. Todellinen syy

Palataan takaisin johdannon esimerkkiin. Etsimme vastausta kysymykseen, kumpi tapahtumista, puheenjohtajan vai varapuheenjohtajan juoru, oli puolueen vaalitappion *todellinen syy*. Abstraktimmalla tasolla tarkasteltuna meidän on ensin selvitettävä, mitä tarkoittaa, että tapahtuma A on tapahtuman B todellinen syy.

Taustalla vaikuttaa koko ajan kullekin sovellukselle ominainen konteksti, joka kiinnittää rakennettavan mallin kannalta staattiset taustamuuttujat ja -oletukset. Oletetaan, että tämä konteksti-informaatio on saatavilla. Lisäksi oletetaan, että kaikki tapahtumien A ja B kannalta olennaiset asiat ovat tiedossa.

Todellisen syyn ongelma on siinä, että tilanteessa pitäisi pystyä sanomaan, mikä aiheutti tapahtuman. Kysymys on perimmäiseltä luonteeltaan filosofinen. Tian ja Pearl esittävät (ainakin he, eivät varmastikaan ensimmäisinä), että todellista syytä etsittäessä täytyy tarkastella sekä asian tapahtumisen kannalta välttämättömiä että asian tapahtumisen kannalta riittäviä ehtoja. Se, millainen painoarvo näille todellisen syyn eri haaroille annetaan, tuntuisi oikeastaan riippuvan olennaisesti käytännön sovellustilanteesta.

Ensimmäinen valinta, joka ei suoraan ole selvitettävissä kausaalimalleja tarkastelemalla, on tapahtuman syiden välttämättömyys. Yksinkertaisen puolue-esimerkkimme potentiaaliset syyt voivat olla joko konjunktiivisia, joilloin niiden kaikkien tapahtuminen on välttämätöntä puolueen kannatuksen romauttamiseksi, tai disjunktiivisia, jolloin mikä tahansa yksinäänkin olisi riittävä. Disjunktiivinen tapaus on mielenkiintoisempi, joten tarkastelemme tässä esimerkkinä sitä. Konjunktiivinen tapaus on käsiteltävissä vastaavasti, mutta siinä luonnollinen intuitio auttaa helpommin ymmärtämään tilanteen.

Oletetaan, että esimerkissämme kummankin puoluejohtajan käynnistämä juoru olisi yksinään riittänyt tuhoamaan puolueen kannatuksen. Tilanne on siis disjunktiivinen. Jos tarkastellaan asiaa varapuheenjohtajan kannalta, ei ole väliä, käynnistikö hän oman juorunsa (tapahtuma B) vai ei. Puolueen kannatus olisi joka tapauksessa romahtanut puheenjohtajan levittämän juorun (tapahtuma A) takia. Voidaanko varapuheenjohtajan toimia siten pitää kannatuksen romahtamisen todellisena syynä?

Jos hyväksymme, että varapuheenjohtaja ei ollut tapahtuman todellinen syy, joudumme vaikeuksiin. Sama päättelyketju pätee myös varsinaiseen puheenjohtajaan. Siten kumpikaan heistä ei olisi syypää kannatuksen heikkenemiseen, vaikka se selvästi aiheutui heidän levittämistään juoruista. Jos taas valitsemme toisen tulkinnan, jonka mukaan varapuheenjohtaja on todellinen syy, koska hänen

tekonsa yksinäänkin olisi riittänyt kannatuksen romauttamiseen, tilanne näyttää paremmalta. Tämä tulkinta vastaa paremmin arkipäiväistä intuitioitamme. Siksi haluaisimme siis muotoilla todellisen syyn käsitteen siten, että jälkimmäinen tulkinta tulisi valituksi.

Pearl ja Halpern muotoilevat todellisen syyn käsitteen seuraavasti. X on tapahtuman A todellinen syy, jos seuraavat kolme ehtoa ovat kaikki voimassa:

(1) Sekä X että A ovat voimassa todellisessa maailmassa, siis sekä X:n että A:n pitää tapahtua.

(2) On mahdollista jakaa mallin sisäiset muuttujat V kahteen ryhmään, välittäjiin tapahtuman X ja tapahtuman A välillä (ryhmä Z) ja muihin muuttujiin (ryhmä W). Ryhmän Z ajatellaan sisältävän kaikki ne muuttujat, jotka ovat (jollain) kausaaliverkon polulla tapahtumasta X tapahtumaan A, nämä mukaanlukien. Edelleen vaaditaan, että

(a) välittävien muuttujien ryhmään Z kuuluvien muuttujien arvojen vaihtaminen aiheuttaa sen, ettei tapahtuma A tapahdu, ja että

(b) muiden muuttujien ryhmään W kuuluvien muuttujien muuttaminen ei muuta tapahtuman A tapahtumista, jos välittävien muuttujien arvoja ei vaihdeta.

(3) X on minimaalinen, eli mikään syyn X osajoukko ei täytä ehtoja (1) ja (2).

Määritelmän ehto (1) pakottaa muotoilemaan kaikki todellisia syitä koskevat väitteet positiivisesti tapahtuvina ilmiöinä. Tämä ei sulje pois negaatioita koskevia päättelyitä reaalimaailmassa. Esimerkiksi pohdintaa "ihminen ei kuole nuorena, koska hän kuuluu korkeaan yhteiskuntaluokkaan" voidaan tutkia: tässä tapahtuma A olisi "ihminen ei kuole nuorena".

Ehto (2) sisältää oikeastaan koko määritelmän ytimen. Se sanoo, että jos X on A:n todellinen syy, on olemassa kausaalinen tapahtumien ketju tapahtumasta X tapahtumaan A joka sai aikaan A:n tapahtumisen. Näin määriteltynä todellisen syyn käsite saa käytännön tilanteissa tyypillisesti intuitiivisen tulkintansa ja on siten sovellusten kannalta yleensä hyödyllinen.

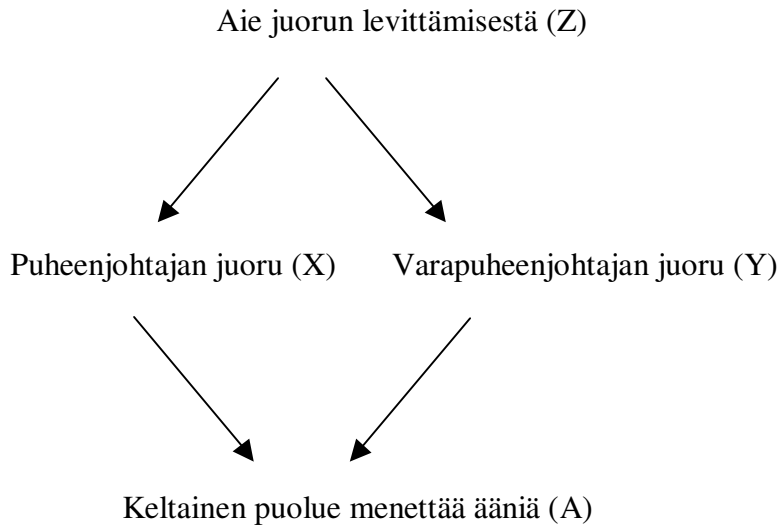
Ehto kolme rajoittaa todellisen syyn mahdollisimman pieneksi. Tämä on tarpeen, koska muuten aidon todellisen syyn kylkiäisinä ryhmään X saattaisi tulla epäolennaisia muuttujia. Esimerkiksi tarkasteltaessa edellämainittua ihmisten kuolevuutta nuorena ja pohdintaa "ihmisellä on nuha", ne yhdessä täyttäisivät ehdot (1) ja (2). Minimaalisuusehdon takia nuha-kriteeri jää kuitenkin pois, koska yhteiskuntaluokka yksinään riittää jo määräämään ihmisen kuolevuuden tässä kuvitteellisessa esimerkissä. Nuha itsessään ei ole validi syy kuolevuudelle.

Käytännön tilanteissa saattaa käydä niin, että minimaalisuusehto ei riitä karsimaan kaikkia vaihtoehtoisia syitä pois. Tällöin kaikki syyt, jotka jäävät laajempien syiden karsimisen jälkeen jäljelle, ovat kelvollisia. Erityisesti nämä kaikki kelvolliset syyt ovat yhtä laajoja.

4. Keltaisen puolueen esimerkki

Kumpi, keltaisen puolueen puheenjohtaja vai varapuheenjohtaja, on syypää äänien menetykseen? Tarkastellaan asiaa luvussa kolme esitetyn kehikon valossa. Oletetaan, että mitkään muut tekijät kuin puheenjohtajien toiminta eivät vaikuta äänestäjien käyttäytymiseen.

Puheenjohtajan ja varapuheenjohtajan toimien seurauksista on olemassa kaksi erilaista tulkintaa, disjuktiivinen ja konjunktiivinen. Kummassakin tapauksessa kausaaliverkko on sama:



Erot ovat rakenneyhtälöiden (nuolien) sisällössä eli siinä, millä tavalla tapahtuman "keltainen puolue menettää ääniä" (tapahtuma A) arvo määräytyy tapahtumien "puheenjohtajan juoru" (tapahtuma X) ja "varapuheenjohtaja juoru" (tapahtuma Y) vaikutuksesta. Oletetaan, että tilanne on disjunktiivinen, eli kumpi tahansa tapahtumista X ja Y riittää yksinään aiheuttamaan tapahtuman A tapahtumisen. Lisäksi mallissa on mukana tapahtuma "aie juorun levittämisestä" (tapahtuma Z), joka vaikuttaa sekä tapahtuman X että Y tapahtumiseen.

Pearlin todellisen syyn määritelmän ensimmäinen ehto vaatii, että kaikki tapahtumat A, X, Y ja Z tapahtuvat. Tämä on tilanteessamme selvästi voimassa.

Ehto kaksi vaatii muodostamaan mallin sisäisistä muuttujista välittäjien ja muiden muuttujien ryhmät suhteessa kaikkiin syykandidaatteihin ja tarkistamaan, että kandidaatin (X, Y tai Z) ja tapahtuman A välillä on kausaaliverkossa polku, jolla olevia arvoja muuttamalla tapahtuman A totuus saadaan vaihdettua, ja jonka ulkopuolelle ei jää sellaisia solmuja, joilla vastaava ilmiö voitaisiin aikaansaada.

Jos tarkastellaan tilannetta alhaalta ylöspäin, havaitaan, että tapahtumat X ja Y kumpikin yksinään voivat aikaansaada tapahtuman A tapahtumisen (tilanne oli niiden osalta disjunktiivinen). Jotta

tapahtuma A jäisi tapahtumatta, vaaditaan kuitenkin molemmilta sopiva arvo. Siten sekä solmu X että solmu Y sisältyvät Pearlin määritelmän kakkosehdot välittävien solmujen joukkoon: Solmun X kannalta tarkasteltuna jos X on tosi, tapahtuma A tapahtuu varmasti riippumatta siitä, millainen arvo tapahtumalle Y interventiolla asetetaan. Vastaava päättely pätee solmulle Y.

Kuuluuko solmu Z välittäjiin? Jos solmun Z arvoksi asetetaan epätosi, tapahtuma A jää tapahtumatta. Jos sen arvoksi asetetaan tosi, tapahtuma A saattaa tapahtua. Tämä ei täytä Pearlin määritelmän ehtoja, koska nyt muilla mallin muuttujilla (puheenjohtajan toimet ja varapuheenjohtajan toimet) on mahdollista estää tapahtuma A, vaikka tapahtuma Z olisikin tosi. Siten Z ei kuuluu välittäjiin eikä tapahtuman A syyhyn.

Olemme nyt tilanteessa, jossa kausaaliverkon solmut X ja Y ovat molemmat kelvollisia syykandidaatteja. Pearlin määritelmän viimeinen ehto vaatii, että tapahtuman A todellisen syyn on oltava minimaalinen. Kumpaakaan syistä X ja Y ei selvästi voida jättää pois, koska ne molemmat vaikuttavat siihen, minkä arvon tapahtuma A saa. Siten ne kuuluvat tapahtuman A todelliseen syyhyn. Ehto kolme ei siten tässä pienessä esimerkissä tuo olennaista lisäarvoa. Jos esimerkki olisi laajempi, minimaalisuusehto karsisi viimeistään tässä vaiheessa pois sellaiset vaikuttajat, jotka eivät tarjoa uutta välttämätöntä vaikutusta tapahtumaan A.

5. Todellisen syyn välittäminen: selitys

Määriteltyään todellisen syyn käsitteen Pearl ja Halpern jatkavat saman ongelmakokonaisuuden käsittelyä esittelemällä *selityksen* käsitteen. Todellinen syy oli tapahtuma tai joukko tapahtumia, joka intuitiivisesti ajateltuna aiheutti tutkimuksen kohteena olevan asian. Selitys on tapahtuma, jonka totuutta (tapahtuuko se vai eikö) ei tiedetä varmuudella, mutta joka tapahtuessaan olisi tutkittavan asian todellinen syy riippumatta päättelevän tahon alkuperäisestä epävarmuudesta

tapahtuman totuuden suhteen. Tämä tapahtuma voi koostua joukosta alkeistapahtumia, joiden konjunktio muodostaa kokonaistapahtuman, jota tässä tarkastellaan.

Se, mikä kussakin mallissa ja kontekstissa kuuluu selitysten joukkoon, vaihtelee. Tapahtuma voi aluksi olla kuulumatta selityksiin, mutta myöhemmin tietämyksen lisääntyessä ja kausaalimallin tarkentuessa tilanne saattaa muuttua. Käytännössä tällainen tilanne voisi syntyä esimerkiksi arvioitaessa keltaisen puolueen puheenjohtajan toimien vaikutusta puolueen kannatukseen. Oletetaan tarkkailija, joka haluaa tietää, miksi puolueen kannatus tipahti. Tarkkailija ei tiedä, että puheenjohtajan liikkeellelaskema juoru olisi omiaan alentamaan puolueen kannatusta. Siten tällaiselle tarkkailijalle puheenjohtajan juoru ei olisi kelvollinen selitys puolueen kannatuksen laskulle, koska vaikka tämä saisi tietää puheenjohtajan käynnistäneen juorun, tarkkailijan käytettävissä oleva kausaalinen informaatio ei riittäisi yhdistämään näitä kahta asiaa toisiinsa.

Selityksen vastaanottajan puutteellisen kausaalitietouden ongelma voidaan ilmeisesti ratkaista ainoastaan yhdellä tavalla. Selitystä on laajennettava siten, että se sisältää jonkin irrallisen hypoteettisen faktatiedon lisäksi sellaisen kausaalimallin osan, joka motivoi selityksen aseman tutkittavan tapahtuman potentiaalisena aiheuttajana. Kun selitys ajatellaan kokonaisuutena, joka sisältää tiedon siitä, että jonkin tapahtuma tai tapahtumajoukko olisi totta ollessaan tutkittavan tapahtuman todellinen syy, sekä sellaisen osan kausaalimallista, jonka perusteella tämä vaikutussuhde on pääteltävissä, selityksen käsite käy sovellusten kannalta hyödylliseksi.

Mistä tässä nyt oikein on kysymys? Yritämme ymmärtää selityksen käsitteen sisältöä. Jotta lukijalle kävisi selväksi, mihin ongelmaan ratkaisua ollaan etsimässä, sanotaan se vielä kerran edelläollutta johdattelua osin toistaen. Pearl selvittää selityksen käsitettä seuraavasti: Oletetaan tarkkailija K, jolla on tietty kausaalinen käsitys maailmasta ja jotain tietoa maailmassa vallitsevista faktoista. K kysyy, miksi asia X on totta. Minkälainen on hyvä vastaus (selitys) K:lle?

Pearl ja Halpern esittävät, että hyvän vastauksen pitäisi sisältää niin paljon informaatiota, että jos tarkkailija K aikanaan havaitsee, että hypoteeseina annetut faktat F ovat tosia, hän pystyy niiden, oman kausaalimallinsa ja selitykseen sisältyvän kausaalimallin avulla päättelemään, että F on X:n todellinen syy. Nyt ongelmaksi muodostuu, miten selityksen antaja päättelee, kuinka paljon kausaalista informaatiota vastaanottajalle eli K:lle pitäisi tarjota.

Oletetaan, että sekä selittäjä että vastaanottaja omaavat saman kausaalimallin, ja että ne tietävät asian olevan näin. Oletetaan edelleen, että ne eivät kuitenkaan tunne toistensa kontekstin tilaa, siis faktoja, joiden totuuden toinen osapuoli olettaa.

Näiden oletusten voimassaollessa Pearl ja Halpern esittävät seuraavan määritelmän selitykselle. Annettuna rakenneyhtälöiden avulla kuvattu kausaalimalli M, X on tapahtuman A selitys suhteessa kontekstiin P, jos seuraavat ehdot pätevät:

(1) A on totta kaikissa niissä konteksteissa, joita selittäjä pitää mahdollisina. Toisin sanoen tämä tarkoittaa, että selittäjä pitää asiaa, jota yrittää selittää, absoluuttisena totuutena.

(2) X on tapahtuman A *heikosti todellinen syy* kaikissa niissä kontekstissa, joissa X on tosi. Heikosti todellinen syy on todellinen syy, jonka ei kuitenkaan tarvitse olla minimaalinen (todellisen syyn määritelmän ehto numero kolmen ei tarvitse olla voimassa).

(3) X on minimaalinen siten, että mikään X:n osajoukko ei täytä ehtoa (2).

(4) Selittäjä pystyy kuvittelemaan kontekstin, jossa X on epätotta, ja kontekstin, jossa se on totta.

Ehto (4) on tarpeen, jotta selitykseksi ei kelpaa triviaali kaikissa malleissa tosi asia. Selitys ei saa olla tautologia, koska se ei silloin millään tavoin lisäisi vastaanottajan tietämystä. Toisaalta täytyy

olla olemassa jokin konteksti, jossa selitys on totta. Ei ole tarkoituksenmukaista sallia sisäisesti ristiriitaisia selityksiä, koska niistä ei käytännössä olisi vastaanottajalle mitään hyötyä.

Jos tarkastellaan jälleen keltaisen puolueen esimerkkiä, tilanteessa tarpeellisten selitysten luonne riippuu puheenjohtajan ja varapuheenjohtajan toimien välttämättömyydestä. Jos tilannetta ajatellaan konjunktiivisena, kysymys miksi kannatus romahti, ei tarvitse selitystä. Kysyjä, joka tuntee kausaalimallin jo entuudestaan, tietää, että kannatus romahtaa jos ja vain jos sekä puheenjohtaja että varapuheenjohtaja käynnistävät juorun, ja että muita syitä kannatuksen laskuun ei voi olla. Kysyjä siis kysyy asiaa, jonka totuuden hän tietää jo ennestään.

Jos tilanne on disjunktiivinen, asia on mielenkiintoisempi. Tällöin mahdollisia selityksiä kannatuksen laskulle on kaksi: joko puheenjohtaja levitti juorua tai varapuheenjohtaja levitti juorua. Kumpikin näistä selityksistä (jos osoittautuisi todeksi) riittäisi tarjoamaan saman kausaalimallin omaavalle vastaaottajalle riittävästi tietoa, jotta tämä pystyisi näkemään syy-seuraus -suhteet kannatuksen laskun takana.

Tämä esimerkki oletti, että selittäjällä ja vastaanottajalla on käytössään sama kausaalimalli, ja että ne tietävät asian olevan näin. Yleisessä tapauksessa tämä ei päde, vaan selityksen vastaanottajan kausaalimalli voi olla sillä tavalla puutteellinen, ettei se näe selittäjän tarjoaman faktatiedon merkitystä tarkasteltavan asian kannalta. Tällöin selityksen määritelmää täytyy Pearlin ja Halperin mukaan laajentaa siten, että tilannetta koskevien faktatietojen lisäksi mukaan otetaan riittävä osa selittäjän tiedossa olevasta kausaalimallista (eli käytännössä tätä kausaalimallin osaa vastaavat rakenneyhtälöt).

Laajennetun selityksen tarkempi määritelmä on lähes sama kuin yksinkertaisemmassakin tapauksessa jo edellä annettu määrittely. Aiemmassa määritelmässä annetuksi oletettiin osapuolten tuntema kausaalimalli M, selitystä kaipaava tapahtuma A ja tilanteessa vallitsevat faktat sisältävä

konteksti P, jonka puitteissa selitystä yritettiin antaa. Nyt erona on se, että osapuolten tilannetta ei voida kuvata pelkästään niiden tietämien faktojen perusteella, vaan lisäksi on tarkasteltava kausaalimalleja Q1 ja Q2, jotka selittäjällä ja vastaanottajalla kullakin ajanhetkellä on (kausaalimallit ovat siis nyt dynaamisia suhteessa selittäjän ja vastaanottajan vuorovaikutukseen). Siten osapuolten tilanteen kuvaava konteksti P laajenee sisältämään sekä faktat että osapuolten kausaalimallit.

Tässä laajennetussa tilanteessa selitys on pari (Q, X) missä Q on selitykseen sisältyvä kausaalimallin osa ja X tapahtuman A todellinen syy tästä kausaalimallin osasta seuraavissa tilanteissa.

Miten tämä laajennus vaikuttaa aiemmin esitettyyn selityksen määrittelyyn? Ensimmäiseen selityksen kriteeriin tämä lisäys ei vaikuta, vaan tapahtuman A on edelleen oltava totta kaikissa niissä konteksteissa K, joita selittäjä pitää mahdollisina. Tässä konteksti käsittää nyt siis sekä faktatiedot maailmasta että kausaalimallin eli rakenneyhtälöiden sisällön. Samoin toinen kriteeri pysyy lähes samana: tapahtuman X pitää olla tapahtuman A heikosti todellinen syy kaikissa niissä konteksteissa (kaikissa niissä kausaalimalleissa ja muuttujien arvojen asetelmissa), joissa X on tosi. Tässä täytyy nyt huomata, että konteksti sisältää siis sekä kausaalimallin että faktatiedot. Ehto kolme joudutaan lausumaan aiempaa kompleksisemmin. Aiempi versio ehdosta oli seuraava:

(3) X on minimaalinen siten, että mikään X:n osajoukko ei täytä ehtoa (2).

Tätä voidaan nyt (näennäisesti) väljentää kuitenkaan muuttamatta sen asiallista sisältöä:

(3) Pari (Q, X) on minimaalinen siten, että mikään tapahtuman X osajoukko ei ole tapahtuman A heikko todellinen syy useammissa konteksteissa kuin missä tilanteeseen liittyvä kausaalimalli Q on voimassa.

Neljäs ehto, joka vaati selityksen olevan joissain konteksteissa totta (selitys ei ole ristiriitainen väite) ja joissain epätotta (selitys ei ole tautologia), pysyy ennallaan.

Näin määriteltynä selityksen käsite vaikuttaa käyttökelpoiselta. Sitä voidaan käyttää välittämään kahden osapuolen välillä tietoa syiden ja seurausten olemuksesta mallissa ja vastaamaan näitä koskeviin tarkasti esitettyihin kysymyksiin.

6. Yhteenveto ja pohdintaa

Aluksi määriteltiin todellisen syyn käsite. Jonkin tapahtuman tapahtumisen todellinen syy on niiden muiden tapahtumien joukko, joiden tapahtuminen intuitiivisesti ajateltuna aiheutti kyseisen tapahtuman tapahtumisen. Tämän pohjalta esiteltiin tapahtuman selityksen idea. Selitys on kaksiosainen viesti selittäjältä vastaanottajalle. Viestissä on kaksi osaa: joukko oletettuja tietoja, jotka ollessaan totta muodostaisivat tapahtuman todellisen syyn, ja kausaalimallin osa, joka kuvaa tavan, jolla nämä oletetut tiedot vaikuttaisivat tarkasteltavan tapahtuman totuuteen.

Todellisen syyn käsitteen ja selityksen käsitteen avulla on mahdollista yrittää ymmärtää syitä, miksi tarkasteltavassa mallissa tapahtuu asioita. Lisäksi ne tarjoavat välineen välittää yhdelle mallin tarkastelijalle syntynyttä ymmärrystä siinä vallitsevista lainalaisuuksista toisille osapuolille.

Pearlin ja Halpernin tulokset ovat yleisellä tasolla tarkasteltuna vakuuttavia. Ne vaikuttavat vastaavan riittävän tarkasti luonnollista intuitiota ja ihmisen omaa päättelyä. Esitetyssä muodossaan todellisen syyn ja sen selityksen määritelmät ovat kuitenkin laskennallisesti hankalissa tapauksissa onnettoman hitaita: Eiter ja Lukasiewicz toteavat, että todellisen syyn laskemisen aikavaativuus on helposti eksponentiaalinen. Siksi käytännön tilanteissa tässä esitettyjä määritelmiä täytyy rajoittaa siten, että päästään todellisuudessa käsiteltäviin tuloksiin. Eiter ja Lukasiewicz tarjoavat ratkaisuna

yleisten kausaaliverkkojen laskennalliseen vaativuuteen niiden rajoittamista siten, että kausaalimallit muodostaisivat kausaalipuun tai yleisemmin kerroksellisen kausaaliverkon. Tällä tavalla sopivasti rajoitettuihin kausaalimalleihin voidaan soveltaa algoritmeja, jotka suoriutuvat todellisen syyn ja selityksen etsimisestä polynomiaalisessa ajassa.

Lähteet

Eiter, T., Lukasiewicz, T., Causes and Explanations in the Structural-Model Approach: Tractable Cases. Proc. Eighteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, Edmonton, 2002.

Halpern, J., Pearl, J., Causes and Explanations: A Structural-Model Approach—Part I: Causes. Proc. Seventeenth Conference on Uncertainy in Artificial Intelligence, San Francisco, 2001.

Halpern, J., Pearl, J., Causes and Explanations: A Structural-Model Approach—Part II: Explanations. Proc. Seventeenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, San Francisco, 2001, 194—202.

Tian, J., Pearl, J., Probabilities of Causation: Bounds and Identification. Annals of Mathematics and Artificial Intelligence 28, 2000, 287—313.