

Kandidaatin tutkielma
Rikoksenuusinnan ennustaminen kausaalipäättelyllä

Riku Laine
Valtiotieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto

5. huhtikuuta 2019

Sisältö

1	Kiitokset – Acknowledgements	3
2	Tiivistelmä – Kypsyysnäyte?	4
3	Johdanto	5
3.1	Takuukäsittely prosessina	5
3.2	Yhteiskunnallinen merkitys ja kritiikki	6
3.3	”Kausaalipäätely uutena paradigmana”	6
3.4	Valikoitumisharha	7
4	Aineistot	8
4.1	COMPAS	8
4.2	Synteettinen	8
5	Menetelmät	11
5.1	Aiemmat tutkimukset?	11
5.2	Validointimetodit	11
5.3	Verkkoteoria	11
5.4	Kausaalipäätely	13
5.4.1	Johdanto?	14
5.4.2	Merkinnät	14
5.4.3	Määritelmät	14
5.4.4	Malli	15
6	Tulokset	17
6.1	Synteettinen	17
6.2	Compas	17
7	Diskussio	18

Luku 1

Kiitokset – Acknowledgements

Tämän tutkielman aikana on tullut esiin takuujärjestelmään liittyvät ongelmat ja sovel-
lusalueen yhteiskunnallinen merkitys. Tutkielman teko on ollut minulle erityisen miele-
kässtä antoisan aiheen ja mieleisten yhteistyökumppanien vuoksi. Olen kirjoittanut tämän
kandidaatintutkielman yhteistyössä Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen osaston
apulaisprofessorin Michael Mathioudakis ja tohtoritutkijan Antti Hyttisen kanssa. He
tarjosivat minulle aiheen ja merkittävää tukea sekä tärkeitä kommentteja tämän tutkiel-
man kirjoittamisen aikana.

Tämän tutkielman on tarkastanut XYZ. Haluan kiittää kaikkia edellä mainittuja hen-
kilöitä sekä ystäviäni ja perhettäni, jotka tukivat minua tämän tutkielman tekemisessä.

Helsingissä 5. huhtikuuta 2019
Riku Laine

I would like to wholeheartedly thank assistant professor Michael Mathioudakis from Uni-
versity of Helsinki's Department of Computer Science for numerous things. He provided me
this extremely interesting thesis topic and provided insightful and encouraging comments
throughout the process. Antti Hyttinen from the same department also gave important
insight in the causal modelling and commented on the content.

Luku 2

Tiivistelmä – Kypsyysnäyte?

Johdanto-luvussa esittelen ongelman asettelun ja tilanteen yleisen viitekehyksen. Keskustelemme rikoksenuusinnan ennustamisesta yhdysvaltalaisessa oikeusjärjestelmässä. Esitän kappaleessa yleisen kuvauksen takuukäsittelyn etenemisestä oikeusprosessina, jonka jälkeen pohdin hieman takuukäsittelyn yhteiskunnallista merkitystä ja motivaatiota hyvään ennusteeseen. Kappaleen lopussa kirjoitan hieman kausaalipäättelystä uutena tilastotieteellisenä paradigmana [8].

Kappaleessa 4 esittelen käyttämäni aineistolähteet ja niiden ominaispiirteet. Esitän COMPAS-tietojen ominaispiirteet ja *jotain muuta*. Esitän myös kuinka olen luonut analyysissä myöhemmin käytettävän aineistoseitin mukaillen Lakkarajun vuoden 2017 konferenssijulkaisua [5].

Menetelmät-kappaleessa esitän käyttämäni mallit ja menetelmät. Teen lyhyen katsauksen aikaisempaan kirjallisuuteen ja tutkimuksiin tällä sovellusalalla. Käyn lisäksi läpi tässä tutkielmassa myöhemmin käytettäviä matemaattisia sekä verkkoteoreettisia merkintöjä ja määritelmiä. Teen joitakin osoituksia ja osoitan kuinka mallimme ei riipu havaitsemattomista (unobservables) muuttujista.

Luvussa 6 esitän algoritmillani saavuttamani tulokset ja vertailen niitä Lakkarajun [5] saavuttamiin. Olen eritellyt erillisiin alalukuihin synteettisellä ja COMPAS-aineistoseillä saavutetut tulokset.

Viimeisessä kappaleessa *Diskussio* esitän mallien ja tutkielmani virhelähteet ja muut ongelmat sekä keskustelen tulosten mahdollisesta vaikutuksesta, sikäli niitä sovellettaisiin sikäläisen oikeuslaitoksen toimintaan.

Luku 3

Johdanto

Tässä kappaleessa esittelen tutkielman taustaa ja yhdysvaltalaisen oikeuslaitoksen takuukäsittelyprosessin yleisellä tasolla. Sen jälkeen paneudun hieman vangitsemispäätöksen yhteiskunnalliseen merkitykseen: minkä takia ihmisiä vangitaan ja mitä perusteita on vangitsemattajättämisspäätökselle. Pyrin luvun aikana myös hieman selvittämään takuujärjestelmän käyttöä Suomessa ja kappaleen lopussa pohdin hieman kausaalipäättelyä paradigman muutoksena tilastotieteen kentällä. Jätän kuitenkin tarvittavien merkintöjen esittämisen kappaleeseen *Merkinnät* ja mallin esittelyn *Malli*-lukuun.

3.1 Takuukäsittely prosessina

Yhdysvalloissa, kuten monissa muissa anglosaksisissa maissa, on käytössä järjestelmä, jota nimitetään takuu- tai vakuusjärjestelmäksi. Takuujärjestelmä on epäillyn vaihtoehto tutkintavankeudelle hänen odottaessaan oikeudenkäyntiä ja Yhdysvalloissa oikeus takuuseen periytyy maan perustamisen ajalta [2, 10]. Suomen oikeus- ja sisäasiainministeriön alaisen esitutkinta- ja pakkokeinoimikunnan mukaan takuujärjestelmiä on kolmenlaisia: kahdes- sa niistä epäilty maksaa itse käteisellä vakuuden tai asettaa omaisuuttaan vakuudeksi ja kolmannessa jokin ulkopuolinen taho ”menee takuuseen epäillyn velvollisuuksien täyttämistä” [2].

Yhdysvalloissa epäillyn pidätyksen jälkeen hänet viedään paikallisen oikeusviranomaisen järjestämään takuukuulemiseen (bail hearing) [10]. Kuulemisessa päätetään takuun myöntämisestä, eli voidaanko epäilty vapauttaa, vai halutaanko hänet asettaa vankeuteen ennen oikeudenkäyntiä. Kuulemisessa päätetään myös mahdollisen takuun määrästä sekä vapauttamisen ehdoista [10]. Takuu voidaan suorittaa taattuna tai takaamattomana maksusitoumuksena tai maksaa suoraan – erityistapauksissa epäilty voidaan vapauttaa myös pelkällä kirjallisella sitoumuksella (release on personal recognizance (ROR)) [10].

3.2 Yhteiskunnallinen merkitys ja kritiikki

Zaniewski toteaa lyhyessä kirjallisuuskatsauksessaan, että takuujärjestelmän vuoden 1982 uudistus ei onnistunut laskemaan tarpeettomia vangitsemisia – päinvastoin niiden suhteellinen määrä kaksinkertaistui 22%:sta 49%:iin vuodesta 1984 vuoteen 2007. Nykyisellään sikäläinen oikeusjärjestelmä suosii suoraan rahalla maksettavia tai taatuilla maksusitoumuksilla hoidettuja takuita, mikä asettaa huonossa taloustilanteessa olevat epäillyt eri tilanteeseen. [10]

Suomessa vakuusjärjestelmää ei ole käytetty, vaikka aiemmin mainittu toimikunta toteaa sen sisältyvän tullilain 44 §:ään. Kyseisessä pykälässä ”- - säädetään mahdollisuudesta asettaa pidätetyn tai vangitun vapaaksi päästämi[s]en ehdoksi, että hän asettaa vakuuden, jonka harkitaan takaavan hänen saapumisensa oikeudenkäyntiin ja ehkä tuomittavien seuraamusten suorittamisen”. Kuten he tarkentavat, lisäksi usein edellytetään, että epäilty ei asu Suomessa, ja epäillään hänen pakenevan maasta ennen oikeudenkäyntiä tai rangaistusta [2]. Sekä yhdysvaltalaiselle että suomalaiselle järjestelmälle on yhteistä, että takuu tuomitaan menetettäväksi valtiolle, jos vapauden ehtoja rikotaan.

Kritiikkiä on esitetty molemmissa maissa osaltaan samoihin asioihin. Suomessa pykälää ei ole sovellettu, koska luultavasti sen tulkintaohjeet ovat niin niukat, kuten myös sääntely [2]. Yhdistävänä kritiikkinä sekä Zaniewski että esitutkinta- ja pakkokeinoitoimikunta mainitsevat muun muassa sen, kuinka takuumaksujen toimeenpano vaikuttaa tai Suomen tapauksessa vaikuttaisi pienituloisten taloustilanteeseen [10, 2]. Suomalainen toimikunta esittää lisäksi monia muitakin ongelmakohtia, sikäli takuujärjestelmä haluttaisiin ottaa Suomessa käyttöön, esimerkkinä he toteavat, että vakuusmaksujen maksamiseen tulisi todennäköisesti liittymään ”epätoivottavia lieveilmiöitä” [2]. Tähän ongelmaan on Yhdysvalloissa jo osittain reagoitukin, sillä esimerkiksi Californian osavaltio päätti viime vuonna poistaa takuumaksut käytöstä [7].

3.3 ”Kausaalipäättely uutena paradigmana”

Kuten Pearl ja Mackenzie esittävät kirjassaan Miksi, ihmisillä on luontainen kausaalisen päättelyn taito [9]. Tavalliset tilastollisen päättelyn menetelmät eivät tarjoa tapaa määritellä kausaalista yhteyttä: aineistosta voidaan päätellä erilaisia *korrelaatioita*, mutta päättely *A johtuu B:stä* vaatii uudenlaista lähestymistapaa. Käytännön tutkimuksissa kausaaliset yhteydet kiinnostavat erityisesti lääketieteen alalla. Kuten Kalisch toteaa, aiemmin päättely on perustunut jonkin biomarkkerin ja taudin samanaikaiseen ilmaantumiseen. Jos markkeri ja tauti ilmaantuvat samanaikaisesti, voidaanko markkerin arvoa muuttamalla hoitaa tautia? [3]

Syy-seuraussuhteen vahvuuden matemaattinen määrittely vaatii uutta lähestymistä

myös todennäköisyyslaskennan merkintöihin. Pearl käyttää alkuperäisessä, englanninkielisessä kirjallisuudessa merkintää 'do' ilmaisemaan interventiota. Merkinnällä halutaan erottaa tavanomainen ehdollinen todennäköisyys $\mathbb{P}(Y|X = x)$ interventiosta, jossa pakotamme muuttujan X arvoon x : $\mathbb{P}(Y|\text{do}(X = x))$. Kimmo Pietiläinen käyttää kirjan suomenoksessa do-operaattorista käännöstä *tee*, mutta seuraan tässä tutkielmassa Pearlin merkintöjä, ellen erikseen muuta mainitse [9]. Esittelen käyttämäni merkinnät tarkemmin kappaleessa 5.4.2.

* Esimerkkejä Miksi-kirjasta väärin määritellyistä malleista? Esimerkkejä aloista, joilla jo käytetty, oleelliset pointit historiasta

3.4 Valikoitumisharha

Tässä tutkielmassa yritän määrittää rakenteen, jonka avulla voidaan tehdä ennusteita aineiston harhaisuudesta huolimatta. Meidän tapauksessamme harha syntyy tuomarien päätöksistä – jos tuomari päättää evätä epäillyltä takuut, emme voi tehdä havaintoja epäillyn rikoksen uusinnastaan. Tällöin voidaan puhua ei-satunnaisesta puuttuneisuudesta, koska on selvää että tulosten puute ei ole minkäänlaisen satunnaisprosessin tulos: vaaralliset rikolliset halutaan ottaa talteen ja vaarattomimmat päästää pois [4].

Lakkaraju käyttää termiä harhasta "*selective labels*" [5].

Luku 4

Aineistot

Tässä luvussa kuvaillaan käytetyt aineistot ja niiden ominaispiirteet.

4.1 COMPAS

COMPAS-aineisto (Correctional Offender Management Profiling for Alternative Sanctions) on alun perin ProPublica-julkaisun koostama aineisto yhteensä 18 610 amerikkalaisesta. Aineistossa on muun muassa heidän demografiset tiedot, kuten ikä, sukupuoli ja rotu, ja rikoshistoriaan liittyvät tiedot. Oikeammin COMPAS viittaa Northpointe-yhtiön työkaluun, joka antaa arvion epäillyn rikoksenuusintariskistä. Arvio perustuu epäillyn vastauksiin kyselyyn, jossa tiedustellaan hänen taustoistaan, kuten lähipiirin huumeidenkäytöstä ja epäillyn taipumuksesta väkivaltaisuuteen. ProPublica kokosi aineiston alun perin paljastaakseen arvion tuottavan algoritmin mustia syrjivän luonteen. ProPublican analyysi osoitti, että mustat saivat järjestelmällisesti korkeamman riskiarvion kuin valkoihoiset. [1]

ProPublica esittää artikkelinsa metodologiaosiossa, kuinka he ovat päätyneet lopulliseen aineistoon, joka käsittää tiedot 6172 henkilöstä. Pääpiirteissään he ovat siistineet aineistoa siten, että se yhdistää oikeat henkilöt oikeisiin pisteytyksiin ja oikeisiin uusintatuomioihin. Joitakin johdettuja muuttujia luotiin, kuten tekstuaalinen kuvaus desiilipisteytyksestä scoretext joka ryhmittää etc etc.

4.2 Synteettinen

Synteettinen aineisto luotiin Lakkarajun artikkelissaan selostamalla tavalla [5]. aineistoon simuloitiin kolme muuttujaa X , Z , ja W . Näistä muuttujista X vastaa informaatiota, joka on sekä mallin että tuomarin havaittavissa, eli informaatiota, joka on kirjattu oikeuden

Muuttujan nimi	\bar{x}	Keskihajonta	Min	25%	50%	75%	Max
age	34,5	11,7	18	25	31	42	96
priors_count	3,25	4,74	0	0	1	4	38
days_b_screening_arrest	-1,74	5,08	-30	-1	-1	-1	30
decile_score	4,42	2,84	1	2	4	7	10
is_recid	0,484	0,500	0	0	0	1	1
two_year_recid	0,455	0,498	0	0	0	1	1
length_of_stay	14,6	46,7	-1	0	1	5	799

Taulukko 4.1: COMPAS-aineiston numeeristen muuttujien hajontalukuja

pöytäkirjoihin tai on kerättävissä muista rekistereistä, kuten vastaajan sukupuoli. Muuttujalla Z kuvataan tietoa, jonka vain tuomari voi havaita: kuten Lakkaraju havainnollistaa, tällaista voi olla esimerkiksi tieto siitä, onko vastaajalla perhettä mukana oikeussalissa [5]. W on mallissa havainnollistamassa reaalia maailmaa. Muuttujalla esitämme aineistossa informaatiota, joka ei ole saatavilla päätöksentekijöille eikä mallille mutta vaikuttaa silti rikoksenuusimisriskiin. aineistossa nämä ovat kaikki riippumattomia standardinormaali-jakautuneita satunnaismuuttujia, eli $X, W, Z \sim N(0, 1) \perp$.

Yhdistämme henkilöt satunnaisesti kuhunkin $M = 500$ tuomariin, joista jokaiselle määritellään hyväksymisprosentti $r \in [0,1]$. Tuomarin hyväksymisprosentti määritetään ottamalla arvoja tasajakaumasta suljetulta väliltä $[0,1; 0,9]$ ja sitten pyöristämällä ne 10 desimaalin tarkkuuteen. Tulomuuttuja Y simuloidaan määrittämällä sen ehdollinen todennäköisyys seuraavasti: $\mathbb{P}(Y = 0|X, Z, W) = \frac{1}{1+\exp\{-(\beta_X X + \beta_Z Z + \beta_W W)\}}$, missä kertoimet β_X, β_Z ja β_W on asetettu arvoihin 1, 1 ja 0,2 vastaavassa järjestyksessä. [5]

Päätösmuuttujan T ehdollinen todennäköisyys $\mathbb{P}(T = 0|X, Z) = \frac{1}{1+\exp\{-(\beta_X X + \beta_Z Z)\}} + \epsilon$ missä $\epsilon \sim N(0,0,1)$ vastaa pientä määrää kohinaa. Henkilöltä i kielletään takuut, eli $T_i = 0$ jos muuttujan T ehdollinen todennäköisyys on tuomarin j suurimman $(1-r) \cdot 100\%$ joukossa. Lopuksi koulutusaineisto suodatettiin siten, että saatavissa oli vain yksilöt, jotka päästettiin vapaaksi ($T = 1$). [5]

Muuttuja	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	25%	50%	75%	Maksimi
acceptanceRate_R	0.48	0.23	0.10	0.26	0.47	0.65	0.89
X	-0.00	1.00	-4.66	-0.67	-0.00	0.67	3.83
Z	0.01	1.00	-4.85	-0.67	0.00	0.68	4.24
W	0.01	1.00	-4.03	-0.67	0.01	0.68	4.29
result_Y	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
probabilities_T	0.50	0.28	-0.34	0.28	0.50	0.72	1.30
decision_T	0.48	0.50	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00

Taulukko 4.2: Synteettisen aineiston muuttujien hajontalukuja

Luku 5

Menetelmät

Tässä kappaleessa selostan analyyseissa, mallinnuksessa ja validoinnissa käyttämäni menetelmät.

5.1 Aiemmat tutkimukset?

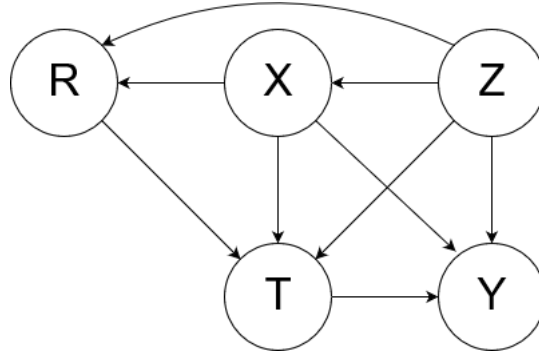
Aiemmat tutkimukset ovat lähestyneet monesta näkökulmasta, mutta ilman kausaatiota.

5.2 Validointimetodit

Tulosten arvioinnissa käytetään visuaalista tarkastelua ja XZY. Laskemme arvioista vapaaksi päässeiden uusijoiden suhteen kaikkiin tuomittuihin, eli niin sanotun virhesuhteen (failure rate).

5.3 Verkkoteoria

Kausaalipäättelyn mallit määritellään verkkoina. Esitän tässä kappaleessa lyhyesti kaikki tarvittavat verkkoteoreettiset määritelmät, joita tulen hyödyntämään. Noudatan määritelmässä Oinosta [6].



Kuva 5.1: Esimerkkiverkko $H = (V, E)$, missä $V = \{R, X, Z, T, Y\}$.

Määritelmä 5.1 (Suunnattu verkko). *Suunnattu verkko* G on pari (V, E) , missä $V \neq \emptyset$ on solmujen joukko ja

$$E = \{(a, b) \in V \times V \mid \text{solmusta } a \text{ on nuoli solmuun } b\}$$

on *kaarien* joukko.

Kuvassa ?? näkyvässä verkossa esimerkiksi $(X, R) \in E$, mutta $(T, Z) \notin E$, koska solmusta T ei ole nuolta solmuun Z . Lisäksi voidaan todeta, että kaarien joukkoon kuuluu yhdeksän järjestettyä paria ja solmujen joukko V käsittää viisi alkioa, jotka on lueteltu kuvatekstissä.

Määritelmä 5.2. Oletetaan, että $G = (V, E)$ on suunnattu verkko ja $a, b \in V$.

Merkintä $a \rightarrow b$ tarkoittaa, että $(a, b) \in E$. Tällöin sanotaan, että a on kaaren (a, b) *lähtösolmu* ja b on kaaren (a, b) *maalisolmu*. Sanotaan myös, että solmu b on solmun a *vierussolmu*.

Jos $(a, a) \in E$, sanotaan suunnatussa verkossa olevan *silmukka* solmussa a .

Esimerkkiverkossa H kaaren (Z, T) lähtösolmu on solmu Z ja maalisolmu solmu T . Lisäksi huomataan, että verkossa H ei ole yhtään silmukkaa.

Määritelmä 5.3 (Vierekkäisyys). Oletetaan, että $G = (V, E)$ on suunnattu verkko ja $a, b \in V$.

Jos solmujen a ja b välillä on nuoli, niin solmujen a ja b sanotaan olevan *vierekkäisiä*.

Kuvan ?? verkosta havaitaan, että melkein kaikki solmut ovat toistensa vierussolmuja. Ainoa poikkeus on solmut R ja Y , joiden välillä ei ole nuolta ja jotka eivät siten ole vierekkäisiä.

Määritelmä 5.4 (Yksinkertainen suunnattu verkko). Oletetaan, että $G = (V, E)$ on suunnattu verkko, jossa ei ole yhtään silmukkaa eli $(v, v) \notin E$ kaikilla $v \in V$.

Tällöin sanotaan, että G on yksinkertainen suunnattu verkko.

Esimerkkinä käytetystä verkosta H nähdään heti, että se on yksinkertainen suunnattu verkko, koska siinä ei ole yhtään silmukkaa. Yksinkertaisesta suunnatusta verkosta käytetään englanniksi nimitystä *directed acyclic graph* ja se saatetaan lyhentää DAG.

Määritelmä 5.5 (Polku ja suunnattu polku). Oletetaan, että G on yksinkertainen verkko ja $n \in \mathbb{N}, n \geq 1$.

Verkon G solmujen jono v_1, \dots, v_n on *polku* solmusta v_1 solmuun v_n , jos jonon jokaisesta solmusta on kaari jonon seuraavaan solmuun. Polkua voidaan merkitä $v_1 \rightsquigarrow v_n$.

Jos verkko G on suunnattu verkko, $a, b \in V$ ja kaikki polun $a \rightsquigarrow b$ kaaret kulkevat kaarien suuntien mukaisesti, voidaan täsmentää, että polku $a \rightsquigarrow b$ on *suunnattu polku*.

Huomataan, että esimerkkinä käytetyssä verkossa H on useita polkuja solmusta R solmuun Y . Polku $R \rightarrow T \rightarrow Y$ on suunnattu polku ja $R \leftarrow X \rightarrow Y$ on tavallinen polku, sillä solmujen R ja X välillä kuljetaan nuolen suunnan vastaisesti.

Määritelmä 5.6. Oletetaan, että $G = (V, E)$ on suunnattu verkko ja $a, b \in V$.

Jos on olemassa suunnattu polku $a \rightsquigarrow b$, niin solmun b sanotaan olevan solmun a *jälkeläinen*. Vastaavasti tällöin sanotaan solmun a olevan solmun b *vanhempi*.

Esimerkiksi kuvan ?? verkossa solmulla Y ei ole jälkeläisiä ja solmun Z jälkeläiset ovat kaikki muut verkon solmut poislukien se itse, eli solmun Z jälkeläiset on joukko $V \setminus \{Z\}$.

5.4 Kausaalipäättely

Erityisesti [8]. Esittele merkunnät, määritelmät ja malli. Käännökset Miksi-kirjaa muokailleen?

5.4.1 Johdanto?

Kausaalipäättelyssä mallit määritellään usein yksinkertaisina suunnattuina verkkoina. Mallin määrittämistä verkosta voidaan suoraan lukea kausaaliset riippuvuussuhteet ja malliin kuuluvat muuttujat. Jos mallissa on solmut A ja B ja jos solmu B on solmun A jälkeläinen, niin muuttujalla A on mallin mukaan jonkinlainen kausaalinen vaikutus muuttujaan B . Jos verkossa muuttujien välillä ei ole jälkeläisyssuhdetta, niin ne ovat toisistaan riipumattomat. Kausalisen vaikutuksen funktionaalista muotoa ei usein määritellä.

* Usein funktionaalista muotoa ei määritellä, lisää tähän ne nuoliversiot yhtälöistä havainnollistamaan, että siirrytään yhtäsuuruudesta määräytymiseen [3]

5.4.2 Merkinnät

Kausaalipäättelyssä käytettävät merkinnät noudattelevat pitkälle tavallisia todennäköisyyslaskennan merkintöjä. Kun selvitetään muuttujan X vaikutusta muuttujaan Y ja tehdään interventio asettamalla muuttuja X arvoon x_0 , sitä merkitään $\mathbb{P}(Y|\text{do}(X = x_0))$.

5.4.3 Määritelmät

Määritelmä 5.7 (Takaovikriteeri, *back-door criterion*). Joukko \mathcal{S} sulkee / katkaisee (blocks) polun p , jos vähintään toinen seuraavista ehdoista on voimassa:

- (a) Polku p sisältää vähintään yhden solmun, joka on jonkin kaaren lähtösolmu ja kuuluu joukkoon \mathcal{S} . (arrow-emitting)
- (b) Polku p sisältää vähintään yhden käänteisen haarukkasolmun (collision node), joka ei kuulu joukkoon \mathcal{S} ja jolla ei ole jälkeläisiä joukossa \mathcal{S} .

Määritelmä 5.8. Oletetaan, että halutaan selvittää (satunnais)muuttujan X kausaalista vaikutusta muuttujaan Y . Joukko \mathcal{S} on *riittävä* tasoitukseen (adjustment), kun seuraavat ehdot ovat voimassa: **sufficient to adjustment = identifioituva?**

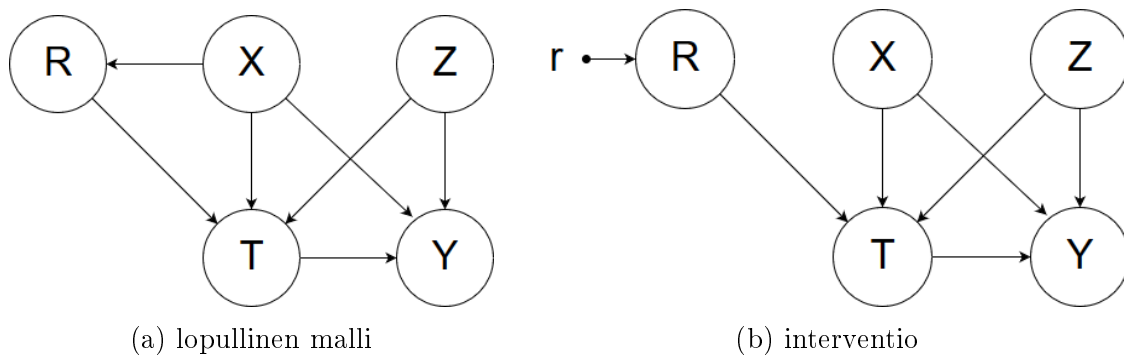
- (1) Yksikään joukon \mathcal{S} alkioista ei ole solmun X jälkeläinen.
- (2) Joukon \mathcal{S} alkiot katkaisevat kaikki määritelmän 5.7 mukaiset polut / ”takaovireitit” solmusta X solmuun Y .

5.4.4 Malli

Mallimme esitellään alla. Mallissamm

Muuttuja	Kuvaus
R	Vapautusprosentti, vapautumiskynnys
X	Henkilökohtaiset muuttujat, kirjalliset
Z	Henkilökohtaiset muuttujat, tuomarin havaiitsemat
W	Henkilökohtaiset muuttujat, havaitsemattomat, <i>kohtalo</i>
Y	Uusinta, $Y = 0$ uusi, 1 niin ei uusiutunut
T	0 on jail, 1 on bail

Taulukko 5.1: Mallin muuttjienn selitteet



Kuva 5.2: Kasuaalimallit graafina

Algoritmi 1 Kausaalialgoritmi

Syöte: aineisto $(\mathbf{x}, t, y) \in \mathcal{D}_t, \mathcal{D}_v$ ja hyväksymisaste $r \in [0, 1]$, missä \mathcal{D}_t on testiaineisto ja \mathcal{D}_v validointiaineisto.

Tuloste: $\mathbb{P}(Y = 0 | \text{do}(R = r))$

- 1: Määritä $f(x) = \mathbb{P}(X = x)$ testiaineistosta.
 - 2: Ennusta vastetta Y selittävillä muuttujilla X käyttäen harjoitusaineiston havaintoja, joilla $T = 1$.
 - 3: Määritä harjoitusaineiston jokaiselle havainnolle $P(Y = 0 | X = x)$ käyttäen yllä olevaa mallia.
 - 4: Järjestä havainnot nousevaan järjestykseen edellisen kohdan todennäköisyyksien mukaan.
 - 5: Alusta muuttuja **summa** = 0.
 - 6: **for all** Jokaiselle parametriavaruuden pisteelle **do**
 - 7: $p_x \leftarrow P(X = x)$
 - 8: $\mathcal{D}_{\S} \leftarrow \{\mathcal{D} | X = x\}$
 - 9: Assign first $r \cdot 100\%$ observations from \mathcal{D}_{\S} to \mathcal{D}_{rx}
 - 10: $p_t \leftarrow \frac{|\{\mathcal{D}_{rx} | T = 1\}|}{|\mathcal{D}_{rx}|}$
 - 11: $\mathcal{D}_{tx} \leftarrow \{\mathcal{D}_x | T = 1\}$
 - 12: $p_y \leftarrow \frac{|\{\mathcal{D}_{tx} | Y = 0\}|}{|\mathcal{D}_{tx}|}$
 - 13: Lisää muuttujaan **summa** tulo $p_y \cdot p_t \cdot p_x$
 - 14: **end for**
 - 15: **return** **summa**
-

Luku 6

Tulokset

6.1 Synteettinen

6.2 Compas

Luku 7

Diskussio

```
# R-koodi, tulos sama
library(igraph)
library(causaleffect)
# simplify = FALSE to allow multiple edges
g <- graph.formula(X -+ R, X -+ D, X -+ Y, R -+ D , D -+ Y, D -+ Y, Y -+ D, simplify = FALSE)
# Here the bidirected edge between X and Z is set to be unobserved in graph g
# This is denoted by giving them a description attribute with the value "U"# The edges
g <- set.edge.attribute(graph = g, name = "description", index = c(6,7), value = "U")

res <- causal.effect("Y", "R", G = g)
```

Lähteet

- [1] Angwin, Julia, Jeff Larson, Surya Mattu ja Lauren Kirchner: *Machine Bias*. ProPublica, Toukokuu 2016. <https://www.propublica.org/article/machine-bias-risk-assessments-in-criminal-sentencing>, viitattu 5.4.2019.
- [2] Esitutkinta- ja pakkokeino- ja vankilatoimikunta: *Esitutkintalain, pakkokeinolain ja poliisilain kokonaisuudistus: esitutkinta- ja pakkokeino- ja vankilatoimikunnan mietintö*. Oikeusministeriö, Helsinki, 2009, ISBN 978-952-466-824-8. sivut 128–131.
- [3] Kalisch, Markus ja Peter Bühlmann: *Causal structure learning and inference: a selective review*. Quality Technology & Quantitative Management, 11(1):3–21, 2014.
- [4] Laaksonen, Seppo: *Survey metodiikka: Aineiston kokoamisesta puhdistamisen kautta analyysiin*. bookboon.com, 2 painos, 2013.
- [5] Lakkaraju, Himabindu, Jon Kleinberg, Jure Leskovec, Jens Ludwig ja Sendhil Mullainathan: *The Selective Labels Problem: Evaluating Algorithmic Predictions in the Presence of Unobservables*. Teoksessa *Proceedings of the 23rd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, KDD '17, sivut 275–284, New York, NY, USA, 2017. ACM, ISBN 978-1-4503-4887-4. <http://doi.acm.org.libproxy.helsinki.fi/10.1145/3097983.3098066>.
- [6] Oinonen, Lotta: *Johdatus yliopistomatematiikkaan*, Tammikuu 2016. Samannimisen kurssin kurssimateriaali.
- [7] Park, Madison: *California eliminates cash bail in sweeping reform*. CNN, Elokuu 2018. <https://edition.cnn.com/2018/08/28/us/bail-california-bill/index.html>, viitattu 5.4.2019.
- [8] Pearl, Judea: *An introduction to causal inference*. Int J Biostat, 6(2):Artikkeli 7, Helmikuu 2010. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2836213/>.
- [9] Pearl, Judea ja Dana Mackenzie: *Miksi : syyn ja seurauksen uusi tiede*. Terra Cognita, Helsinki, 2018, ISBN 978-952-5697-93-3. Suomentanut Kimmo Pietiläinen.

- [10] Zaniewski, Amanda: *Bail in the United States: A Review of the Literature*. <https://www.mass.gov/files/documents/2016/09/qx/bail-in-united-states-literature-review.pdf>, Marraskuu 2014. PDF, haettu 12.3.2019.