

Kandidaatin tutkielma
Rikoksenuusinnan ennustaminen kausaalipäättelyllä

Riku Laine
Valtiotieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto

18. maaliskuuta 2019

Sisältö

1	Esipuhe ja kiitokset	3
2	Tiivistelmä - Kypsyysnäyte?	4
3	Johdanto	5
3.1	Takuukäsittely prosessina	5
3.2	Yhteiskunnallinen merkitys	6
3.3	”Kausaalipäätely uutena paradigmana”	6
3.4	Valikoitumisharha	6
4	Data	8
4.1	COMPAS	8
4.2	Synteettinen	8
5	Metodit	10
5.1	Aiemmat tutkimukset	10
5.2	Validointimetodit	10
5.3	Verkkoteoria	10
5.4	Kausaalipäätely	11
5.4.1	Johdanto	11
5.4.2	Merkinnät	11
5.4.3	Määritelmät	11
5.4.4	Malli	11
6	Tulokset	12
6.1	Synteettinen	12
6.2	Compas	12
7	Diskussio	14

Kirjallisuutta	15
Liitteet	16
A Abstract in English?	16

Luku 1

Esipuhe ja kiitokset

Tämä kandidaatintutkielma on tehty yhteistyössä Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen osaston apulaisprofessorien \leftarrow TARKISTA Michael Mathioudakiksen ja Antti Hyttisen kanssa. He tarjosivat minulle aiheen ja merkittävää tukea tämän tutkielman tekoon.

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

Helsingissä XX.XX.2019

Luku 2

Tiivistelmä - Kypsyysnäyte?

Johdanto-luvussa esittelen ongelman asettelun ja tilanteen yleisen viitekeshyksen. 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 kausaalipäätelystä uutena (?) paradigmana [5].

Kappaleessa *Data* esittelen käyttämäni datalähteet ja niiden ominaispiirteet. Esittelen kuinka COMPAS-datasetti (ref?) on luotu ja *jotain muuta*. Esitän myös kuinka olen luonut analyyseissä myöhemmin käytettävän synteettisen datasetin hyödyntäen Lakkarajun vuoden 2017 julkaisua [2].

Metodit-kappaleessa esitän käyttämäni mallit ja metodit. Esitän lyhyen katasauksen aikaisempaan kirjallisuuteen ja tukimuksiin tällä sovellusalalla. Käyn lisäksi läpi tässä tutkielmassa myöhemmin käytettäviä matemaattisia merkintöjä ja määritelmiä. Teen joitakin osoituksia ja osoitan kuinka mallimme ei riipu havaitsemattomista (unobservables) muuttujista.

Luvussa *Tulokset* esitän algoritmillani saavuttamani tulokset ja vertailen niitä Lakkarajun [2] saavuttamiin. Olen eritellyt erillisiin alalukuihin synteettisellä ja COMPAS-dataseteilla saavutetut tulokset.

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

Luku 3

Johdanto

Tässä kappaleessa esittelen tutkielman taustaa ja yleisellä tasolla yhdysvaltalaisen oikeuslaitoksen takuukäsittelyprosessin. Sen jälkeen paneudun hieman vangitsemispäätöksen yhteiskunnalliseen merkitykseen: minkä takia ihmisiä vangitaan ja mitä perusteita on vangitsemattajättämispäätökselle. 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 esittelyyn *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 [1, 6]. Suomen oikeus- ja sisäasiainministeriön alaisen esitutkinta- ja pakkokeinoimikunnan mukaan takuujärjestelmiä on kolmenlaisia: kahdessa niistä epäilty maksaa itse käteisellä vakuuden tai asettaa omaisuuttaan vakuudeksi ja kolmannessa jokin ulkopuolinen taho ”menee takuuseen epäillyn velvollisuuksien täyttämisestä” [1].

Yhdysvalloissa epäillyn pidätyksen jälkeen hänet viedään paikallisen oikeusviranomaisen järjestämään takuukuulemiseen (bail hearing) [6]. Kuulemisessa päätetään myönnetäänkö takuu, eli voidaanko epäilty vapauttaa, vai halutaanko hänet asettaa vankeuteen ennen oikeudenkäyntiä. Kuulemisessa päätetään myös mahdollisen takuun määrästä sekä vapauttamisen ehdoista [6]. Takuu voidaan suorittaa taattuna tai takaamattomana maksusitoumuksena tai maksaa suoraan (cash) - erityistapauksissa epäilty voidaan vapauttaa myös pelkällä kirjallisella sitoumuksella (release on personal recognizance (ROR)) [6].

Zaniewski toteaa myös lyhyessä kirjallisuuskatsauksessaan, että takuujärjestelmän uudistus 1982 ei ole onnistunut laskemaan tarpeettomia vangitsemisia – päinvastoin niiden suhteellinen määrä kaksikertaistui 22%:sta 49%:iin vuodesta 1984 vuoteen 2007. Nykyisellään sikäläinen oikeusjärjestelmä suosii suoraan rahalla maksettavia tai taatuilla maksusitoumuksilla hoidettuja takuuksia, mikä asettaa huonossa taloustilanteessa olevat epäillyt eri tilanteeseen. [6]

Suomessa vakuusjärjestelmää ei ole käytetty, vaikka yllä mainittu toimikunta toteaa-kin 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 rangais- tusta [1]. 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 py- kälää ei ole sovellettu, koska luultavasti sen tulkintaohjeet ovat niin niukat, kuten myös sääntely [1]. Yhdistävänä kritiikkinä sekä Zaniewski että esitutkinta- ja pakkokeinotoi- mikunta mainitsevat muun muassa sen, kuinka takuumaksujen toimeenpano vaikuttaa tai Suomen tapauksessa vaikuttaisi pienituloisten taloustilanteeseen [6, 1]. Suomalainen toimikunta esittää lisäksi monia muitakin ongelmakohtia, sikäli takuujärjestelmä haluttai- siin ottaa Suomessa käyttöön, esimerkiksi he toteavat että vakuusmaksujen maksamiseen tulisi todennäköisesti liittymään ”epätoivottavia lieveilmiöitä” [1]. Tähän ongelmaan on Yhdysvalloissa jo osittain reagoitukin, sillä esimerkiksi Californian osavaltio päätti viime vuonna poistaa takuumaksut käytöstä [4].

3.2 Yhteiskunnallinen merkitys

3.3 ”Kausaalipäättely uutena paradigmana”

Haluamme siirtyä assosiatiiivisesta päättelystä kausaalipäättelyyn, koska defnitiivisten päätöksiin tekeminen muuten hankalaa. Lisäksi on ylitettävä korrelaatio ei ole kausaatiota -kynnys, erityisesti [5].

3.4 Valikoitumisharha

Datassa on valikoitumisharha, mistä Lakkaraju käyttää termiä ”*selective labels*” [2]. Datan harha johtuu luonnollisesti siitä, että rikoksen voi uusia vain, jos tuomari päättää vapaut-

taa takuita vastaan. Suorat päättelytavat – *counterfactual inference* – ovat ongelmallisia siinä mielessä, että BLAAA.

Luku 4

Data

Tässä luvussa kuvaillaan käytetyt datasetit ja niiden ominaispiirteet.

4.1 COMPAS

4.2 Synteettinen

Synteettinen data luotiin Lakkarajun artikkelissaan selostamalla tavalla [2]. Dataan 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 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 [2]. W on mallissa havainnollistamassa reaali maailmaa. Muuttujalla esitämme datassa informaatiota, joka ei ole saatavilla päätöksentekijöille eikä mallille mutta vaikuttaa silti rikoksen uimisriskiin. Datassa nämä ovat kaikki riippumattomia standardinormaalijakautuneita 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: $P(Y = 0|X, Z, W) = \frac{1}{1 + \exp\{-(\beta_X X + \beta_Z Z + \beta_W W)\}}$, missä kertoimet β_X , β_Z ja β_W on asetettu arvoihin 1, 1 ja 0,2 vastaavassa järjestyksessä. [2]

Päätösmuuttujan T ehdollinen todennäköisyys $P(T = 0|X, Z) = \frac{1}{1 + \exp\{-(\beta_X X + \beta_Z Z)\}} + \epsilon$ 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 koulutusdata suodatettiin siten, ettäsaatavissa oli vain yksilöt, jotka päästettiin vapaaksi ($t = 1$). [2]

Luku 5

Metodit

Tässä kappaleessa selostan analyyseissa, mallinnuksessa ja validoinnissa käyttämäni menet.

5.1 Aiemmat tutkimukset

Aiemmat tutkimukset ovat lähestyneet monesta näkökulmasta, mutta ilman kausaatio-

5.2 Validointimetodit

Ristiin taulukoinnit yms.

5.3 Verkkoteoria

Esitän tässä kappaleessa lyhyesti kaikki tarvittavat verkkoteoreettiset määritelmät, joita tulen hyödyntämään. Noudatan määritelmistä Oinosta [3].

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.

Määritelmä 5.2 (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*.

Määritelmä 5.3 (Yksinkertainen suunnattu verkko). Oletetaan, että $G = (V, E)$ on suunnattu tai suuntaamaton verkko, jossa ei ole yhtään silmukkaa eli $(v, v) \notin E$ kaikilla $v \in V$.

Jos G on suunnattu verkko, sanotaan, että G on yksinkertainen suunnattu verkko.

Jos G on suuntaamaton verkko, sanotaan, että G on yksinkertainen verkko.

5.4 Kausaalipäättely

Erityisesti [5].

5.4.1 Johdanto

5.4.2 Merkinnät

5.4.3 Määritelmät

Määritelmä 5.4. Joukko \mathcal{S} blokkaa polun p , jos vähintään toinen seuraavista ehdoista on voimassa:

- (a) Polku p sisältää vähintään yhden arrow-emitting solmun, joka on joukossa \mathcal{S} .
- (b) Polku p sisältää vähintään yhden collision noden, joko ei kuulu joukkoon \mathcal{S} ja jolla ei ole jälkeläisiä joukossa \mathcal{S} .

Määritelmä 5.5. Oletetaan, että halutaan selvittää (satunnais)muuttujan X kausaalista vaikutusta muuttujaan Y . Joukko \mathcal{S} on riittävä adjustmenttiin, kun seuraavat ehdot ovat voimassa:

- (1) Yksikään joukon \mathcal{S} alkioista ei ole solmun X jälkeläinen.
- (2) Joukon \mathcal{S} alkiot ”blokkavat” kaikki määritelmän 5.4 mukaiset ”takaovireitit” solmusta X solmuun Y .

5.4.4 Malli

Luku 6

Tulokset

6.1 Synteettinen

6.2 Compas

Määritelmä 6.1. Jos X on diskreetti satunnaismuuttuja, joka saa arvokseen luonnollisia lukuja, niin X :n *todennäköisyysgeneroiva funktio* on

$$(6.2) \quad G_X(t) = \sum_{k=0}^{\infty} P(X = k)t^k = \sum_{k=0}^{\infty} p_k t^k.$$

Mikäli X :n arvojoukko on äärellinen ja arvojoukon jäsenten todennäköisyydet ovat nolasta poikkeavia, G_X on määriteltä kaikilla reaaliluvuilla t . Muutoin G_X on määriteltä ainoastaan niille $t \in \mathbb{R}$, joilla G_X suppenee. Koska pistetodennäköisyydet $p_k = P(X = k)$ ovat ei-negatiivisia ja summautuvat ykkäseksi, sarja suppenee ainakin suljetulla välillä $t \in [-1, 1]$.

Generoiva funktio voidaan odotusarvon avulla ilmaista muodossa

$$(6.3) \quad G_X(t) = E(t^X).$$

Lause 6.4. Jos X on diskreetti satunnaismuuttuja, joka saa arvokseen luonnollisia lukuja, niin X :n todennäköisyysgeneroiva funktio määrää X :n jakauman yksikäsitteisesti.

Todistus. Koska määritelmän mukaan G_X on ainakin välillä $[-1, 1]$ suppeneva potenssi-sarja, niin sillä on kaikkien kertalukujen derivaatat ainakin välillä $(-1, 1)$ ja

$$p_k = \frac{G_X^{(k)}(0)}{k!}, \quad k \in \mathbb{N}.$$

Tästä näemme, että G_X määrää luvut p_k ja täten X :n jakauman yksikäsitteisesti. □

Seuraavaksi esittelemme tutuimpien diskreettien jakaumien todennäköisyysgeneroivat funktiot. Jne. . .

Luku 7

Diskussio

Määritelmä 7.1. Jos X on satunnaismuuttuja ja odotusarvo $E(e^{tX})$ on olemassa, kun $|t| < \delta$, $\delta > 0$, niin X :n *momenttigeneroiva funktio* on

$$(7.2) \quad M_X(t) = E(e^{tX}).$$

Todennäköisyys- ja momenttigeneroivilla funktioilla on seuraava yhteys:

Lause 7.3. Jos X on diskreetti satunnaismuuttuja, jonka arvojoukko sisältyy joukkoon $\{0, 1, 2, \dots\}$, niin

$$M_X(t) = G_X(e^t)$$

edellyttäen, että G_X on olemassa, kun $|t| < 1 + \delta$, $\delta > 0$.

Todistus. Nyt

$$M_X(t) = E(e^{tX}) = E((e^t)^X) = G_X(e^t).$$

□

Ja niin edelleen...

Kirjallisuutta

- [1] Esitutkinta- ja pakkokeinotoimikunta: *Esitutkintalain, pakkokeinolain ja poliisilain kokonaisuudistus: esitutkinta- ja pakkokeinotoimikunnan mietintö*. Oikeusministeriö, Helsinki, 2009, ISBN 978-952-466-824-8. sivut 128–131.
- [2] 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>.
- [3] Oinonen, Lotta: *Johdatus yliopistomatematiikkaan*, Tammikuu 2016. Samannimisen kurssin kurssimateriaali.
- [4] 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>.
- [5] 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/>.
- [6] 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.

Liite A

Abstract in English?

The contents...