Razrađeni plan rada: Opservacione studije (Kauzalno zaključivanje)

**1. Uvod**

Ovaj deo služi kao prelaz iz uvodnih poglavlja (koja obrađuju osnovni okvir potencijalnih ishoda i randomizovane eksperimente) ka specifičnom problemu opservacionih studija.

**Ključne teze i sažetak:**

• **Definicija opservacionih studija:** Opservaciona studija odgovara mehanizmu dodeljivanja tretmana čija **funkcionalna forma nije poznata**.

• **Fundamentalni problem kauzalnog zaključivanja:** Kauzalno zaključivanje je suštinski problem **nedostajućih podataka** (*missing data*), jer za svaku jedinicu možemo posmatrati samo jedan od potencijalnih ishoda.

• **SUTVA pretpostavka:** U većem delu literature (kao i u ovom projektu), zadržava se pretpostavka **Stabilne vrednosti tretmana jedinice (SUTVA)**, koja zahteva neinterferenciju između jedinica i jedinstvenu verziju tretmana. SUTVA omogućava da se potencijalni ishodi pripišu samo individualnoj jedinici i tretmanu koji je primila.

• **Fokus projekta:** Iako mehanizmi dodeljivanja mogu biti klasifikovani kao regularni (Part III/IV) i neregularni (Part V/VI), ovaj projekat se fokusira na analizu sa **Regularnim mehanizmima dodeljivanja** (poglavlja 12–22), gde su dodela tretmana i analiza podeljeni u **Fazu Dizajna** i **Fazu Analize**.

**2. Metodološke pretpostavke: Koncept i Dizajn Faza (PART III: CH. 12, 14, 16)**

Ova sekcija razlaže kritične pretpostavke i koncepte koji moraju biti uspostavljeni *pre* analize ishoda. Ovi koncepti spadaju u **fazu dizajna** opservacione studije.

**A. Nezbunjivost (Ignorabilnost)**

• **Definicija i značaj:** Regularan mehanizam dodeljivanja je definisan sa tri uslova: (i) **individualistički** (dodela zavisi samo od karakteristika te jedinice), (ii) **probabilistički** (verovatnoća prijema tretmana je strogo između nula i jedan), i (iii) **nezbunjiv** (*unconfounded*—ne zavisi od potencijalnih ishoda).

• **Unconfoundedness (Nezbunjivost):** Nezbunjivost je najkontroverznija od ovih pretpostavki, ali je ključna, jer implicira da se **unutar subpopulacija definisanih istim vrednostima pre-tretmanskih varijabli (kovarijata), posmatrani ishodi mogu kauzalno interpretirati**. Ona tvrdi da dodeljivanje tretmana **ne zavisi od potencijalnih ishoda**.

• **Konsekvence:** Pod pretpostavkom nezbunjivosti, opservaciona studija se može tretirati **kao da je sproveden potpuno randomizovani eksperiment** unutar subpopulacija definisanih kovarijatama, ali sa nepoznatim verovatnoćama dodeljivanja tretmana.

**B. Uloga pre-tretmanskih prediktora (Kovarijata)**

• **Definicija kovarijata:** Kovarijate su varijable izmerene na jedinicama za koje se *a priori* zna da **nisu pogođene tretmanom**.

• **Ključni zadatak:** Glavna i najvažnija uloga kovarijata u ovom kontekstu je da omoguće **eliminisanje zavisnosti dodeljivanja tretmana od potencijalnih ishoda**, čineći tako pretpostavku nezbunjivosti uslovno plauzibilnijom.

• **Upozorenje (Post-tretmanske varijable):** Varijable koje su potencijalno pogođene tretmanom, kao što su **intermedijarni ishodi ili medijatori**, ne bi trebalo uključivati u ovaj skup.

**C. Preklapanje (Overlap) kao izazov dizajna (Ch. 14, 16)**

• **Propensity Score (PS):** Pod nezbunjivošću, dovoljan uslov za prilagođavanje kovarijatama je prilagođavanje na osnovu **Propensity Score-a** (*e(X)*), definisanog kao verovatnoća prijema tretmana uslovljena kovarijatama.

• **Balansiranje i PS:** Propensity Score je **Balansirajuća mera** (*Balancing Score*), što znači da je uslovljenost kovarijatama unutar slojeva PS-a izbalansirana, pa razlika u ishodima postaje valjana procena kauzalnog efekta.

• **Problem preklapanja:** **Nedostatak preklapanja** (*Lack of Overlap*) nastaje kada je za neku vrednost kovarijata (ili PS-a) verovatnoća prijema tretmana blizu nula ili jedan. U takvim situacijama, procene su **neprecizne i osetljive** na specifikaciju modela.

• **Trimming (Odbacivanje):** Jedna strategija za rešavanje problema preklapanja je **Trimming** (odsecanje), gde se **odbacuju jedinice** čiji je PS previše blizu 0 ili 1 (npr. odbacivanje kontrolnih jedinica sa PS ispod najmanje zabeleženog PS-a u tretiranoj grupi, i obrnuto). Trimming poboljšava **internu validnost** (preciznost u odabranom subuzorku), ali potencijalno smanjuje **eksternu validnost** (mogućnost generalizacije na celu populaciju).

**3. Metode faze Dizajna i Analize (PART III & IV: CH. 13, 15, 17–20)**

Ovaj deo obrađuje primenu Propensity Score-a (PS) u cilju postizanja balansa i procene efekta.

**A. Estimacija Propensity Score-a (Ch. 13)**

• **Faza Dizajna (Bez Ishoda):** Procena PS je ključna u fazi dizajna, jer se radi **bez uvida u podatke o ishodima**. Time se sprečava svesno ili nesvesno pristrasno prilagođavanje modela ishodima.

• **Modeliranje PS:** Propensity Score se obično procenjuje logističkom regresijom, pri čemu se verovatnoća prijema tretmana modeluje kao funkcija kovarijata.

• **Strategija izbora kovarijata:** Preporučuje se uključivanje **što više relevantnih kovarijata** (linearnih, kvadratnih i interakcionih termina) koje su potencijalno povezane s dodelom tretmana i ishodom, kako bi se ojačala nezbunjivost. Kriterijum za odabir kovarijata je postizanje adekvatnog **balansa kovarijata** između tretirane i kontrolne grupe, a ne statistička značajnost prediktora tretmana.

**B. Tehnike bazirane na Propensity Score-u:**

I. Matching (Uparivanje) (Ch. 15)

• **Svrha:** Kreiranje poduzorka kontrolnih jedinica (*I*c) koje su po distribuciji kovarijata (ili PS-a) **što sličnije tretiranim jedinicama** (*I*t).

• **Metoda:** Uparivanje se vrši na osnovu PS-a jer se time smanjuje dimenzionalnost problema (umesto uparivanja na *K* kovarijata, uparuje se na jednu meru). PS deluje kao **jednodimenzionalna balansirajuća mera**.

• **Egzaktno vs. Neegzaktno uparivanje:** Iako se idealno želi egzaktno uparivanje, obično se koriste metode **Neegzaktnog uparivanja** (npr. *Nearest Neighbor Matching* ili *Mahalanobis distance*).

• **Poboljšanje balansa:** Upotreba Propensity Score-a (ili linearizovanog PS-a) za uparivanje može poboljšati balans u kovarijatama u uparenom poduzorku.

II. Subklasifikacija / Poststratifikacija (Ch. 17)

• **Svrha:** Deljenje uzorka na **podklase (slojeve)** na osnovu distribucije PS-a, unutar kojih se postiže zadovoljavajući balans kovarijata.

• **Logika:** Ako je balans kovarijata dobar unutar svakog sloja, tada se unutar tog sloja **razlika u prosečnim ishodima tretirane i kontrolne grupe valjano interpretira kao kauzalni efekat**. Ukupni prosečni efekat tretmana (ATE) je ponderisani prosek efekata unutar slojeva.

• **Idealni broj slojeva:** Uobičajena praksa je korišćenje pet slojeva, ali se preporučuje optimizacija broja i granica slojeva kako bi se osiguralo da je t-statistika za balans PS-a u svakom sloju unutar određenog praga (npr. ∣*t*∣≤1).

III. Regresioni i model-bazirani pristupi (Ch. 19, 20)

• **Alternativni pristupi:** Pored Matching-a i Subklasifikacije, koriste se i **regresioni pristupi** ili **model-bazirane metode** (poput imputacije nedostajućih potencijalnih ishoda) za procenu efekata u fazi analize.

• **Imputacija:** Model-bazirani pristup uključuje simulaciju nedostajućih potencijalnih ishoda (npr. *Yi*​(0) za tretirane jedinice) na osnovu modela izgrađenih koristeći raspoložive podatke. Ova metoda naglašava da je *samo* distribucija ishoda zavisna od modela, dok je dodela tretmana nezbunjiva.

**4. Dopunske Analize i Provere Robusnosti (PART V: CH. 21, 22)**

Budući da se nezbunjivost ne može testirati, neophodne su dopunske analize koje procenjuju kredibilitet studije.

**A. Procena Ignorabilnosti (Nezbunjivosti) (Ch. 21)**

• **Plausibilnost nezbunjivosti:** Budući da se pretpostavka nezbunjivosti (uslovna nezavisnost dodeljivanja tretmana od potencijalnih ishoda) ne može direktno testirati, njena procena zahteva oslanjanje na **eksperimente ugrađene u opservacione studije** ili upotrebu pseudo-analiza.

• **Pseudo-ishodi:** Jedan pristup je korišćenje **pre-tretmanskih varijabli** (kovarijata), za koje se *a priori* zna da na njih tretman ne može uticati, kao da su ishodi (tzv. *pseudo-ishodi*). Ako se za pseudo-ishode pronađe značajan "kauzalni efekat", to ukazuje na **nepostignut balans** i ukazuje na narušenu nezbunjivost.

• **Uporedni kontrolni procesi (Placebo):** Analiza se može sprovesti upoređivanjem **dve ili više kontrolnih grupa** (placebo tretmani) kako bi se proverilo da li se njihovi ishodi statistički značajno razlikuju. Ako se ishodi placebo grupa razlikuju, to sugeriše da postoje **neopaženi faktori** koji utiču na dodelu tretmana, tj. da je nezbunjivost narušena.

**B. Analiza Osetljivosti (Sensitivity Analysis) (Ch. 22)**

• **Testiranje neopaženih kovarijata:** Analiza osetljivosti procenjuje koliko bi zaključci o kauzalnom efektu bili promenjeni ako bi postojala **neopažena binarna kovarijata** (*U*i) koja utiče i na dodelu tretmana i na ishod.

• **Kvantifikacija neizvesnosti:** Umesto da pretpostavlja strogu nezbunjivost, ova analiza kvantifikuje **raspon mogućih efekata** (*Tlow*, *Thigh*) za dati skup plauzibilnih vrednosti "parametara osetljivosti" koji opisuju povezanost neopažene kovarijate sa tretmanom i ishodom.

**5. Eksterna Validacija i Instrumentalne Varijable (Napomena)**

**A. Eksterna Validacija**

• **Kompromis sa Trimming-om:** Prilikom *Trimming*-a (Odeljak 2.C), gde se odbacuju jedinice sa slabim preklapanjem, dolazi do kompromisa. **Interna validnost** (valjanost kauzalnog efekta unutar preostalog, dobro balansiranog subuzorka) se poboljšava, ali se istovremeno smanjuje **Eksterna validnost** (mogućnost generalizacije rezultata na celu originalnu populaciju).

Незбуњивост-избор третмана више није повезан са исходом

Сутва - свака јединица има свој исход који зависи само од тога да ли је она сама примила третман или не,  
и да третман има јединствену, стабилну дефиницију. Исход једне особе не зависи од тога шта се десило са другом

Ако постоји међусобни утицај (нпр. заразне болести, образовни програми где се људи међусобно уче), SUTVA је нарушена.

Дистрибуција коваријата-Када се у каузалним анализама (попут пропенсити скор подударања) каже „дистрибуција коваријата“, мисли се на то како су вредности коваријата распоређене унутар одређене групе — обично третиране и контролне. Разне коваријате, као што су старост, пол итд имају одређену дистрибуцију унутар третиране и контролне групе. Дистрибуција значи како су вредности распоређене, какве су средње вредности и какве су учесталости категорија, нпр проценат високообразованих.

Разлике међу коваријатама су конфаундери, фактори који утичу и на третман и на исход.

Начин да се то измери, слика у телефону

Пондерисање - Његова примарна улога је да се елиминишу пристрасности (bias) које настају због разлика у дистрибуцијама посматраних преттретманских варијабли (коваријата) између третиране и контролне групе

Пондерисано-нема пристрасности, под условима пропенсити скора, регуларног механизма додељивања итд

Термин **"пондерисање" (Weighting)** описује **концепт** додељивања тежина јединицама које су инверзне њиховим вероватноћама пријема третмана (Propensity Score) како би се постигао баланс коваријата и уклонила пристрасност.

**"Тежинска регресија" (Weighted Regression)** је **техника** или **механизам** којим се тај концепт имплементира ради добијања процене каузалног ефекта.

Дакле, **пондер је та тежина** која представља кључни елемент процеса пондерисања.

Екстраполација - Екстраполација се у контексту опсервационих студија и регресионих метода (као што је OLS) односи на процену потенцијалних исхода или ефеката третмана у регионима простора коваријата где недостају посматрани подаци.

Инференција (енг. inference) дословно значи извођење закључака.

У статистици то је процес у којем, на основу узорка података, доносимо закључке о широј популацији.

library(MatchIt)

# Упаривање један-на-један користећи Propensity Score

m.out <- matchit(treatment ~ X1 + X2 + X3, data = mydata, method = "nearest")

summary(m.out)

matched\_data <- match.data(m.out)

library(MatchIt)

# Упаривање без замене (подразумевано)

m.out <- matchit(treatment ~ X1 + X2 + X3,

data = mydata,

method = "nearest",

replace = FALSE)

# Упаривање са заменом

m.out <- matchit(treatment ~ X1 + X2 + X3,

data = mydata,

method = "nearest",

replace = TRUE)

library(twang)

trimmed\_data <- trim(data, ps = "ps\_var", lower = 0.05, upper = 0.95)