

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
Diplomski studij računarstva

Diplomski rad

**Metodologija za usporedbu  
kontekstualiziranih  
polazišno-odredišnih matrica**

Rijeka, rujan 2019.

Vjera Turk  
0069064924

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
Diplomski studij računarstva

Diplomski rad

**Metodologija za usporedbu  
kontekstualiziranih  
polazišno-odredišnih matrica**

Mentor: prof.dr.sc. Renato Filjar

Rijeka, rujan 2019.

Vjera Turk  
0069064924

## Umjesto ove stranice umetnuti zadatak za završni ili diplomski rad

Naslov zadatka: Metodologija za usporedbu kontekstualiziranih polazišno-odredišnih matrica

Thesis title: Methodology for contextualised origin – destination matrices comparison

Polje znanstvenog područja: Računarstvo

Grana znanstvenog područja: Informacijski sustavi

Sadržaj zadatka: Polazišno-odredišna matrica (POM) omogućuje sustavnu statističku procjenu migracija stanovništva u zadanom prostorno-vremenskom okviru. Za razliku od tradicionalnog pristupa brojanja putovanja i putnika, za procjenu POM-e danas se sve više koristi statistička analiza podataka iz suvremenih informacijskih i komunikacijskih sustava (zapisi o aktivnostima u javnoj pokretnoj mreži, združena očitavanja prijamnika za satelitsku navigaciju i sl.), čime je omogućeno poboljšanje kvalitete procjene preslikavanjem POM-e na kontekst. **Pojavljuje se potreba za objektivnom procjenom kvalitete POM-e u odnosu na referentnu (kontrolnu).** U ovom radu potrebno je definirati odnosne parametre kvalitete POM-e te razviti metodologiju usporedbe dviju POM-a dobivenih različitim postupcima procjene i s podacima iz različitih izvora. Usporedbu obaviti korištenjem numeričkog i grafičkog oblika POM-e. Metodologiju je potrebno izvesti u programskom okruženju za statističko računarstvo R te demonstrirati njenu primjenu na slučaju usporedbe dviju POM-a. Komentirati dobivene rezultate sa stajališta apsolutne i relativne točnosti matrica.

## **Izjava o samostalnoj izradi rada**

Izjavljujem da sam samostalno izradila ovaj rad.

Rijeka, rujan 2019.

-----  
Ime Prezime

# Zahvala

# Sadržaj

Popis slika	ix
Popis tablica	x
<b>1 Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Polazišno-Odredišna Matrica</b>	<b>3</b>
2.1 Definicija Polazišno odredišne matrice . . . . .	3
2.2 Tradicionalni pristupi procjeni Polazišno-Odredišnih Matrica . . . . .	4
2.2.1 Izvori ulaznih podataka . . . . .	4
2.2.2 <i>Traffic Analysis Zone (TAZ)</i> . . . . .	6
2.2.3 Matematičko modeliranje prometa . . . . .	7
2.2.4 Vremenski nezavisno i vremenski zavisno modeliranje . . . . .	8
2.2.5 Pokretna osjetila . . . . .	9
2.3 Suvremeni pristupi procjeni Polazišno-Odredišnih Matrica . . . . .	10
2.3.1 Polazišno-Odredišna Matrica iz zapisa o telekomunikacijskim aktivnostima u javnoj pokretnoj mreži . . . . .	11
2.3.2 Združena očitavanja prijamnika za satelitsku navigaciju . . . . .	14
2.3.3 Javni prijevoz i <i>pametne kartice</i> . . . . .	14

## *Sadržaj*

<b>3</b>	<b>Motivacija</b>	<b>16</b>
3.1	Problematika i ograničenja tradicionalnih pristupa procjene Polazišno-Odredišna Matrica (POM)-e . . . . .	16
3.1.1	Validacija Polazišno-Odredišnih Matrica . . . . .	17
3.2	Formulacija problema . . . . .	18
3.3	Pregled prethodnih istraživanja . . . . .	19
3.3.1	Primjeri korištenja vanjskih izvora konteksta u analizi kretanja	19
3.3.2	Grafički oblik i strukturalna sličnost Polazišno-Odredišnih Matrica . . . . .	20
3.4	Teza . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Metodologija</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Rezultati</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>Diskusija</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Zaključak</b>	<b>27</b>
	<b>Bibliografija</b>	<b>28</b>
	<b>Pojmovnik</b>	<b>33</b>
	<b>Sažetak</b>	<b>34</b>
<b>A</b>	<b>Postojeće metrike za validaciju Polazišno-Odredišnih Matrica</b>	<b>35</b>
A.0.1	Metrike za procjenu sličnosti Polazišno-Odredišnih Matrica s referentnom . . . . .	35

## *Sadržaj*

<b>B</b>	<b>Prilagodba prostorne podjele</b>	<b>37</b>
B.1	Grupacija baznih stanica . . . . .	37
B.2	Interpolacija . . . . .	38
B.3	Posljedice agregacije prostornih ćelija . . . . .	39
<b>C</b>	<b>OpenCellID</b>	<b>41</b>



# Popis slika

2.1	Usmjereni graf kretanja i pripadajuća Polazišno-Odredišna Matrica .	4
2.2	Mreža za analizu prometa sastoji se od 221,14 cesta - plave linije i 3,199 TAZ zona - granice označene iscertanom crnom linijom [1] . . .	7
2.3	Voronoi dijagram 1090 ćelija baznih stanica - Shenzhen . . . . .	15
3.1	Narušenu strukturalnu sličnost lakše je uočiti nego narušen MSE. Structural Similarity index (SSIM) (i Mean Structural Similarity index (MSSIM)) u odnosu na referentnu POM-u može biti korišten kao dodatna informacija ( <i>goodness of fit</i> mjera) prilikom validacije POM-e [2] . . . . .	22
B.1	Primjer mozaika <i>krhotina</i> koje dozvoljavaju interpolaciju između Voronoi ćelija i kvadratne mreže. Nijansa odražava postotak površine zgrada u <i>krhotini</i> u odnosu na cijelu Voronoi ćeliju kojoj pripada. Rezultat se dobiva na osnovu tih <i>težinskih faktora</i> polazišne i odredišne <i>krhotine</i> te pripadajućih ("roditeljskih") Vornoi ćelija. Sumom svih rezultata krhotina jedne kvadratne ćelije izračuna se konačni tok. [3]	38
B.2	Distribucija CDR putovanja na području Santiago, Čile. POM je normalizirana prema redovima (polazištima) (*) [4] . . . . .	40

# Popis tablica

2.1	Primjeri zapisa o telekomunikacijskim aktivnostima [5] . . . . .	12
2.2	Primjeri zapisa o telekomunikacijskim aktivnostima [6]. Iz zapisa je uklonjen datum, a identifikacijska oznaka bazne stanice (pozivatelja) zamijenjena je njenim položajem. Podatke o tornjevima bazne stanice sadrže baze poput OpenCellID (vidi Dodatak C) . . . . .	12

# Poglavlje 1

## Uvod

Temu rada na temelju dostupne literature smjestiti u šire područje struke. U pravilu Uvod ne bi trebao biti duži od dvije stranice.

POM *eng. Origin-destination Matrix (ODM)* ili *Trip Table* alat je koji omogućuje opis i sustavnu statističku procjenu migracija stanovništva na nekom području u zadanom prostorno-vremenskom okviru. Služi za opis grupne mobilnosti i mjerenje socio-ekonomske aktivnosti u nekoj regiji, a najčešće se koristi u prometnoj znanosti za analizu i strateško planiranje prometnog opterećenja i prometne infrastrukture.

Za razliku od tradicionalnog pristupa prebrojavanja putovanja i putnika na ras-križjima, anketiranjem ili pomoću različitih strateški postavljenih osjetila, za procjenu POM-a danas se sve više koristi statistička analiza podataka iz suvremenih informacijskih i komunikacijskih sustava (zapisi o aktivnostima u javnoj pokretnoj mreži, združena očitavanja prijamnika za satelitsku navigaciju i sl.), čime je omogućeno poboljšanje kvalitete procjene preslikavanjem POM-e na kontekst. Kada nosi informaciju o kontekstu - svrsi kretanja- POM-a specificira socio-ekonomske aktivnosti koje su pokretači putovanja odnosno motivatori individualne i grupne mobilnosti. Suvremeni izvori podataka o položaju kao što su zapisi o telekomunikacijskoj aktivnosti nisu vezani uz prometnu infrastrukturu niti određen način prijevoza.

Nedostaci kao što su mali uzorak stanovništva, neodređenost polazišta i odredišta, korištenje podataka koji nisu ažurni čine tradicionalne metode sve manje kompetentnima u rapidno promjenjivim i razvijajućim sredinama.

## *Poglavlje 1. Uvod*

Suvremeni izvori podataka o položaju i načini procijene POM-a koji uključuju kontekstualizaciju nov su doprinos u području analize kretanja stanovništva. Postojeće metode validacije POM-a definiraju vrijednost nove matrice razmatranjem njene sličnosti s postojećom matricom za isto područje. Postoji potreba da se definira i kvantizira kvaliteta POM-e kroz objektivne parametre. U pojedinom suvremenom pristupu procjeni matrica postoji idalje prostor za postizanje različite razine kvalitete. Definiranjem parametara kvalitete i njihovih mogućih vrijednosti te razmatranjem učinka vrijednosti parametara na količinu informacije koju iščitavamo iz POM dan je okvir za donošenje odluka o kvaliteti POM-a. (...)

## Poglavlje 2

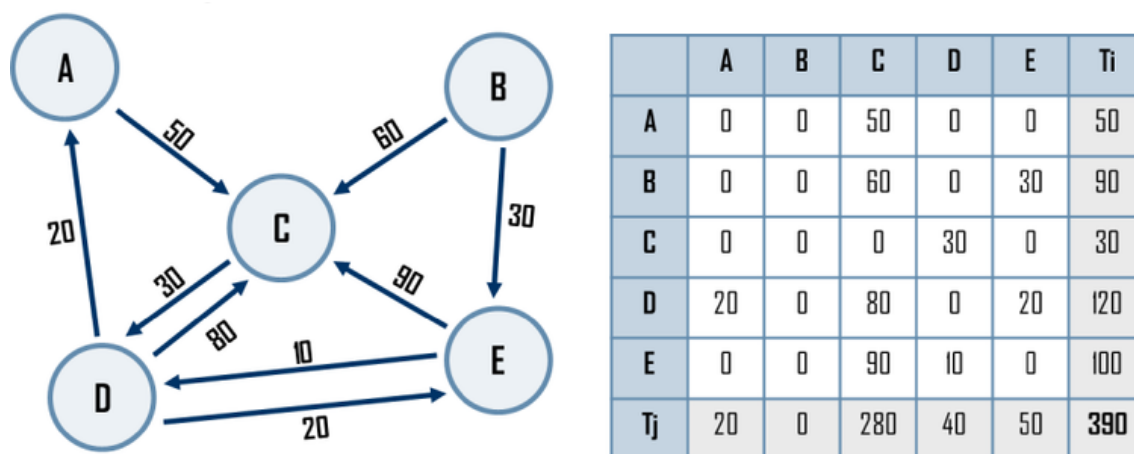
# Polazišno-Odredišna Matrica

### 2.1 Definicija Polazišno odredišne matrice

**Definicija 2.1.1.** Polazišno-odredišna matrica definirana je tako da svaki njen element predstavlja broj putovanja između odgovarajućeg para zona unutar promatranog područja u promatranom vremenskom razdoblju  $T$ , u svakom smjeru zasebno. Redovi u POM-i  $i = 1, 2, 3 \dots m$  predstavljaju polazišta (izvore) prometnog toka, a stupci  $j = 1, 2, 3 \dots n$  njihova odredišta (ušća). Element  $f_{ij}$  predstavlja broj putovanja iz pripadajuće polazišne zone  $i$  u pripadajuću ciljnu zonu  $j$ . Broj putovanja naziva se i širina prometnog toka (eng. *flow*).

POM-a se može smatrati matričnim zapisom težinskog, usmjerenog grafa, gdje su težinski faktori usmjerenih veza širine prometnih tokova između čvorova mreže koji predstavljaju zone na koje je promatrano područje podijeljeno (slika 2.1).

Postoje brojni postupci procjene POM o kojima je riječ u narednom odjeljku. POM-a može biti procijenjena za sadašnje ili planirano prometno opterećenje. Može biti prikazana ukupno ili po pojedinim načinima prijevoza (modalitetima prometnog sustava - osobna vozila, vozila javnog prijevoza, teretna vozila, pješaci itd.) i/ili različitim svrhama putovanja (putovanja na posao, putovanja kući...). [7]



Slika 2.1 Usmjereni graf kretanja i pripadajuća Polazišno-Odredišna Matrica

## 2.2 Tradicionalni pristupi procjeni Polazišno-Odredišnih Matrica

### 2.2.1 Izvori ulaznih podataka

#### Ankete

Tradicionalni pristupi uključuju metode provođenja anketiranja. Postoji nekoliko vrsta anketa: u kućanstvima, presretanje vozila, anketiranje prijevoznih kompanija i tvrtki, tranzit na granici, turisti u hotelima i parking [8]. Ankete su zahtjevne iz perspektive utrošenog vremena, uloženog truda i radne snage stoga se ne provode često. Anketiranje putovanja u kućanstvima provodi se na područjima brojnih svjetskih metropola tek **jednom u deset godina**. U većini svjetskih metropola na provođenje anketa odlazi najveći postotak budžeta planiranja, u procjeni oko 7.4 milijuna dolara godišnje izdvaja se za ankete po kućanstvima. [8] Podaci koje će ankete stanovništva bilježiti osim broja stanovnika su broj vozila, broj zaposlenih, broj putovanja određenim načinom prijevoza (automobil, javni prijevoz...) po kućanstvu [9]. Ankete pokrivaju malen dio populacije te je na taj način dobivena POM-a opterećena neizbježnom pristranošću [10]. Studija iz 2010. [8] pokazala je da se zadovoljavajuća

## Poglavlje 2. Polazišno-Odredišna Matrica

razina kvalitete POM-a procijenjenih isključivo iz anketa u kućanstvima postiže tek ako uzorak obuhvaća 50% populacije.

### Prebrojavanje vozila (engl. *Traffic Counting*)

Metode koje uključuju prebrojavanje vozila na ključnim čvorištima prometne infrastrukture manje su zahtjevne za izvođenje u odnosu na ankete i značajno smanjuju vrijeme i troškove prikupljanja podataka. Postupci uključuju: analizu nadzornih snimaka prometa, automatski sustav za prepoznavanje i očitovanje registarskih pločica engl. Automatic Number Plate Recognition (ANPR), osjetila prometnog toka (radarska, magnetna, video-senzori, zvučna..) i ručno prebrojavanje. **Primjenom ovih postupaka nije moguće pouzdano odrediti stvarna polazišta i odredišta putovanja [11], već se ona određuju matematički modeliranjem uz uvažavanje pretpostavki.** Pozicioniranje opreme ili osoba koje rade obzervaciju prometa treba biti plansko, a broj dostupnih uređaja/ljudi ograničavajući je faktor za veličinu područja transportnog sustava koje je moguće nadzirati. [12] Točnost procijenjenih matrica ovisi o: korištenom modelu procjene, grešci ulaznih podataka i infrastrukturi detektora koju je skupo izmijeniti ili proširiti zbog troškova održavanja i instalacije. [12] [13]

### Pozicioniranje stanica za prebrojavanje

Točnost matrice povećava se s brojem stanica. Stanice na različitim položajima u prometnoj mreži imaju različit stupanj utjecaja na procjenu POM. Važno je odrediti optimalan broj stanica prebrojavanja i njihovih lokacija u prometnoj mreži. [12] Optimalni uvjeti dobit će se poštujući slijedeća četiri pravila:

1. Barem jedna stanica prebrojavanja po paru zona
2. Točke prebrojavanja trebaju biti na onim prometnim vezama (cestama) između para zona gdje protječe najveći mogući prometni tok između te 2 zone
3. Odabrana prometna veza treba presijecati što je više moguće tokova
4. Rezultati prebrojavanja prometa na svim vezama trebaju biti linearno nezavisni

Prošireni modeli za pozicioniranje stanica u današnjim programskim podrškama imaju mogućnost ograničavanja budžeta za postavljanje ili mogućnost nadogradnje novih stanica na postojeću infrastrukturu. **Zbog ograničenog budžeta najčešće nije moguće ispošovati prvo pravilo.** [12] U praksi, model prometne potražnje može imati 2,000 Traffic Analysis Zone (TAZ) što znači da pripadajuća POM-a ima 4 milijuna ćelija dok je na prometnoj mreži postavljeno svega 1,000 stanica za prebrojavanje. [14]

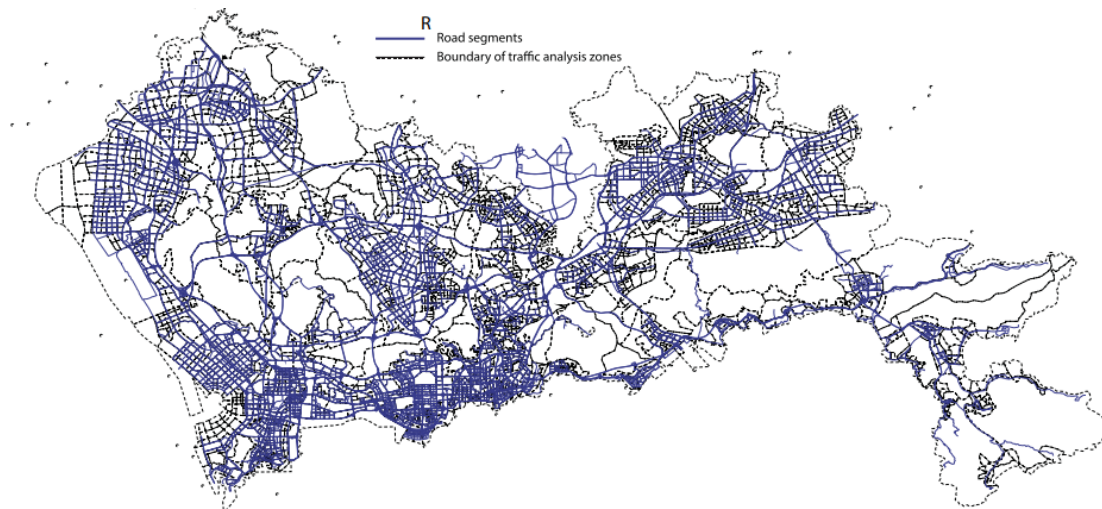
### 2.2.2 Traffic Analysis Zone (TAZ)

TAZ je strani naziv za jedinicu prostorne podjele (zonu) kod analize prometa. Kod programskih podrška za analizu prometa površina tih jedinica varira i nije uniformna. Podjela se može temeljiti na populaciji ili broju zaposlenih na nekom prostoru, primjerice svaka zona pokriva prostor na kojem obitava otprilike tri tisuće ljudi, ili zone generiraju podjednak broj izlaznih putovanja (jednaka širina izlaznih tokova) [3].

U hijerarhijskoj podjeli kod ankete stanovništva općenito postoje manje i veće jedinice podjele, a nema podjele koja bi precizno odgovarala TAZ. Do 2000. godine zastupljen je bio jedan model predviđanja prometa, a veličina TAZ bila je približno jednaka anketnom bloku od 600 do 3,000 ljudi. Pojavom kompleksnijih modela predviđanja prometa počinju se koristiti sve manje prostorne jedinice jer se povećava i razina detalja koju noviji modeli mogu ostvariti. Jedinica veća od TAZ uvedena 2010. naziva se Traffic Analysis District (TAD) i obuhvaća oko 20,000 stanovnika, a koristi se za analize na razini države.[15]

Kineski grad Shenzhen ima preko 10 milijuna stanovnika i proteže se na 1,991  $km^2$ . Istraživanje objavljeno 2017. koristi podjelu na 3,199 TAZ (Vidi sliku 2.2). Iz danih informacija zaključuje se da je prosjek površine TAZ u gradu Shenzhenu 0.62  $km^2$  i u prosjeku jedna zona obuhvaća više od 3,125 stanovnika.





Slika 2.2 Mreža za analizu prometa sastoji se od 221,14 cesta - plave linije i 3,199 TAZ zona - granice označene iscrtanom crnom linijom [1]

### 2.2.3 Matematičko modeliranje prometa

Klasičan bazni model za procjenu prometne potražnje je Gravitacijski model (eng. *Gravity model*) koji kod proračuna "privlačnosti" 2 zone uzima u obzir **gustoću populacije, udaljenost i troškove putovanja**. Izvedene verzije integriraju i neke druge (socio-ekonomske) faktore. [16]

Matematičko modeliranje prometa zahtjeva veliku količinu podataka - informacija o prometnoj mreži i prometnoj potražnji. Točnost modelirane (planirane) prometne situacije ovisi o kvaliteti dostupnih informacija te kako su podaci kombinirani, koji težinski faktori su primijenjeni za različite izvore. Prometna potražnja ključna je komponenta te stoga gotovo svaki prometni model zahtjeva POM-u koja specifi-cira prometnu potražnju između zona u prometnoj mreži. Točna POM-a osnova je za odluke u mnogim Inteligentnim Transportnim Sustavima (engl. *Intelligent Transportation Systems*) (ITS) koji su zauzvrat ključni za izbor ruta u različitim sustavima navigacijskog navođenja.

Neke od pretpostavki kojima se vode u modeliranju prometne potražnje su primjerice da je ukupna dnevna potražnja podjednaka u oba smjera kod svakog para

zona na području grada [17], da svi korisnici imaju saznanja o situaciji na cesti [3] te da je mobilnost općenito manja tijekom zime nego tijekom ljeta [11] i da je broj putovanja po kućanstvu proporcionalan dohotku [9].

**Ankete se provode na limitiranom broju stanovnika, a limitiran je i broj stanica za prebrojavanje. Estimacija POM iz prebrojanih vozila je matematički pododređena (više je nepoznanica nego poznatih informacija).** To znači da bi velik broj matrica odgovarao prebrojanim vozilima.

**Moguće je kombinirati oba izvora u procjeni POM-a.** Temeljna ideja kod modeliranja je:

1. Pronaći *razumnu* postojeću POM-u i raspodjelom njenih tokova na prometnu infrastrukturu stimulirati rezultate prebrojavanja na odabranim točkama u prometnoj mreži.

(Ponekad postoji više POM-a za isto područje i tada je potrebno prikupiti informacije i odabrati one koje najviše odgovaraju.) Većina algoritama danas koristi takozvanu engl. *seed* POM-u koja je *najbolja procjena* dosadašnje potražnje, a koja procjenjuje prometnu potražnju u prošlosti- npr. iz anketiranja po kućanstvima, nedavnu prometnu potražnju neprecizno ili je potražnja razvijena iz *principa tipičnog ponašanja vozača*. [14]

2. Početnu (engl. *seed*) POM-u modificirati iterativnim procesom evaluacije omjera tokova dodijeljenih prometnim vezama iz POM-e i prebrojenih tokova na vezama gdje se promet prebrojavao. [14]

U tom iterativnom procesu prometni tokovi iz modificirane POM-e ponovno se dodjeljuju prometnoj infrastrukturi sve dok se ne postigne zadani broj iteracija. Ulaz u svaku iteraciju je i zapis *najmanjih* puteva, izračunat tijekom uravnotežene raspodjele po prometnoj infrastrukturi. [14]

#### 2.2.4 Vremenski nezavisno i vremenski zavisno modeliranje

Modeliranje prometa dijeli se na dvije grane, vremenski nezavisnu (statičku, analitičku) i vremenski zavisnu (simulacijsku). U **statičkom modeliranju cilj je analiza prometa za strateška, investicijska planiranja izgradnje nove in-**

**frastrukture. Modeli procjenjuju prosječnu dnevnu prometnu potražnju (period od 16 ili 24 sata). Radi se o vremenski nezavisnoj analizi.** [14]

### Vremenski zavisno modeliranje

Vremenski zavisno modeliranje koristi se npr. kod upravljanja prometnom signalizacijom i definiranja rasporeda vožnje javnog prijevoza. Riječ je o vremenski zavisnoj analizi. Period u kojem se procjenjuje prometna potražnja manji je od jednog dana, primjerice period  $\tau$  od 15 minuta. [9] [12] Neki *Peak-hour* vremenski modeli koji opisuju potražnju za vrijeme dnevnog vrhunca prometne potražnje, procjenjuje potražnju za svaku minutu ( $\tau = 1$  min). [18]. U vremenski zavisno modeliranje spada i modeliranje u stvarnom vremenu.

Većina razvijenih modela za vremenski zavisno modeliranje iz postupka prebrojavanja (engl. *link count*) primjenjuju se na malim, zatvorenim prometnim mrežama kao što su raskrižja, petlje i manje autoceste. [12]

#### 2.2.5 Pokretna osjetila

Pokretno osjetilo je uređaj koji je postavljen na vozilo koje se potom kreće prometnom infrastrukturom, postajući tako dijelom prometnog toka, te koji je sposoban opažati vrijednosti definiranih parametara gibanja vozila na koje je postavljeno te ih pohranjivati i prenositi radi naknadnog procesiranja. Podatke koje osjetilo prikuplja su položaj, brzina i smjer kretanja vozila.

Zahtjev koji nužno mora biti ispunjen je poznavanje položaja vozila. Uređaj određuje položaj pomoću Global Navigation Satellite System (GNSS) prijemnika ili se vozilo identificira na određenim točkama u prometnoj mreži, na kojima može ujedno i prenijeti podatke prikupljene od posljednje točke. Anglosaksonski naziv za ovu metodu prikupljanja podataka o stanju u prometu je Floating Car Data (FCD). Danas je FCD metoda zastupljena u ITS. **U prikupljanju podataka sudjeluju uređajima opremljena taksi vozila, službena vozila, vozila za distribuciju robe, i vozila javnog prijevoza.** Kod ITS koji zahtijevaju podatke u realnom vremenu mora biti uspostavljen komunikacijski sustav za učestali prijenos podataka

o položaju, a najčešće se odvija preko Global System for Mobile (Communications) (GSM), Wi-fi i Bluetooth komunikacijskih sustava. [7]

Ukoliko pokretno osjetilo nije specijalizirani uređaj već pametni telefon koristi se naziv Floating Phone Data (Floating Cellular Data) (FPD). FPD se odnosi na prikupljanje podataka pomoću mobilnih (pametnih) telefona neovisno o načinu određivanja položaja - korištenjem GNSS ili pomoću javne pokretne mreže. Položaj pokretne stanice unutar javne pokretne mreže može se odrediti triangulacijom signala koje pokretna stanica hvata iz više baznih stanica ili približno odrediti izjednačavanjem položaja pokretne stanice s položajem (područjem pokrivanja) bazne stanice s kojom je pokretna stanica povezana u promatranom trenutku.

## 2.3 Suvremeni pristupi procjeni Polazišno-Odredišnih Matrica

Sve brojnije informacijske i telekomunikacijske usluge generiraju masivne skupove podataka vezanih za gibanje u prostoru (mobilnost). Podatci koje generiraju pametni telefoni i pametne kartice omogućuju podatkovnim analitičarima razumjeti ponašanje pojedinaca u brojnim domenama, uključujući i njihov obrazac kretanja. Danas oni postaju suvremeni izvori podataka o dnevnim mobilnosti stanovništva. Podaci iz suvremenih izvora nisu ciljano prikupljeni za analizu mobilnosti već za pružanje usluge zasnovane na lokaciju.

Pružatelji usluga zasnovanih na lokaciji i operatori javne pokretne mreže moraju voditi računa o privatnosti pojedinaca kada je riječ o podacima koje oni prikupljaju, uključujući podatke o položaju korisnika. Ukoliko ustupe podatke za razvoj POM-a, takvi podaci moraju biti anonimizirani te ne smije postojati mogućnost povratnog inženjerstva kojim bi se povratio izvorni identitet. Važno je osigurati anonimnost i dozvolu pojedinca da se podaci koriste u jasno definirane svrhe. Idealno je da operator ustupi već anonimizirane podatke stranci koja iz njih procjenjuje POM-e. Način na koji se štiti od re-inženjeringa identiteta iz putanja opisan je u odlomku ??[5]

(...)

### 2.3.1 Polazišno-Odredišna Matrica iz zapisa o telekomunikacijskim aktivnostima u javnoj pokretnoj mreži

Operatori javnih pokretnih mreža prikupljaju podatke o aktivnostima u javnoj pokretnoj mreži za potrebe pružanja i naplate usluga te za održavanje operativnosti same mreže. Pokretni uređaj (npr. pametni telefon) u javnoj pokretnoj mreži kontinuirano je povezan s mrežom putem odgovarajuće bazne stanice, neovisno o telekomunikacijskoj aktivnosti uređaja. U postupku uspostave poziva, signalizacija uključuje i identifikacijsku oznaku bazne stanice s koje je poziv uspostavljen. Navedena oznaka bilježi se u zapisu o telekomunikacijskoj aktivnosti.

Zapisi o telekomunikacijskoj aktivnosti i detaljima telekomunikacijskih transakcija vode se u odgovarajućim komponentama javne pokretne mreže pod imenima: Call Data Records ili Charging Data Records (CDR). CDR obuhvaća transakcijske podatke o pozivima, razmjeni kratkih poruka (SMS) i prijenosu podataka pokretnim internetom. Transakcijski podatci uključuju, između ostalog: vremenske trenutke početka i završetka telekomunikacijske transakcije (korištenja komunikacijske usluge), vrstu komunikacije, identifikacijske oznake pošiljatelja i primatelja, te identifikacijske oznake baznih stanica na koje su u trenutku započinjanja i završetka transakcije bili spojeni pošiljatelj i primatelj. (Tabela 2.2)

Operatoru su dodatno poznati podatci o prekapčanju pokretnog uređaja na drugu baznu stanicu (engl. *handover data*) tijekom trajanja telekomunikacijske aktivnosti radi postizanja i održavanja potrebne kvalitete telekomunikacijske usluge, *Location Area Updates* - podatci prikupljeni svakih 20 min do 2 sata o tome na koju skupinu baznih stanica je pokretna stanica spojena (svaka LA skupina ima od 150 do 500 baznih stanica, [11]), te podaci kada je pokretna stanica uključena u mrežu i isključena iz mreže i opterećenje pojedinog tornja [5].

U novije vrijeme su predloženi postupci u kojima se koriste upravo anonimizirane, često višemjesečne CDR kao izvor podataka za procjenu POM-a.[16] [10] [19] Metodologija korištenja odnosnih elemenata CDR-a za procjenu POM predložena je još 1994. godine. [16]

**Definicija 2.3.1.** Skup minimalno  $n$  događaja (telekomunikacijskih aktivnosti) u nizu, istog korisnika, koji su zabilježeni na istom položaju unutar definiranog mini-

Tablica 2.1 Primjeri zapisa o telekomunikacijskim aktivnostima [5]

UserID	Event Time	Cell Tower	Caller	Callee	In/Out	Duration (s)
38DA6	2015-05-01 18:26:50	1921	38DA6	163B7	Out	52
78EC3	2015-05-01 14:16:09	2189	53880	78EC3	In	600

Tablica 2.2 Primjeri zapisa o telekomunikacijskim aktivnostima [6]. Iz zapisa je uklonjen datum, a identifikacijska oznaka bazne stanice (pozivatelja) zamijenjena je njenim položajem. Podatke o tornjevima bazne stanice sadrže baze poput OpenCellID (vidi Dodatak C)

SIM Card ID	Time	Latitude	Longitude
0055555556	13:10:09	114.0397917	22.5740278
0055555556	16:08:30	113.8056944	22.7613889
0055555556	20:50:17	113.8465972	22.7725
0055555557	23:39:23	114.043854	22.530757
0055555558	22:13:27	114.043854	22.530757

malnog vremenskog perioda čine jedno Zaustavljanje (engl. *Stop*) .

Zahtjevom da se radi o više ( $n > 1$ ), a ne jednom ( $n = 1$ ) zabilježenom događaju pokušava se osigurati da se ne radi o tranzitnom već o stvarnom zaustavljanju i suzbija se bilježenje lažnog kretanje kod privremenog spajanja na susjednu baznu stanicu. U slučaju kada je  $n > 1$  zaustavljanje ima 2 vremenske oznake, trenutak kada je zabilježen početak i trenutak kada je zabilježen kraj zaustavljanja.

**Definicija 2.3.2.** Putovanje je skup dva zaustavljanja koja zadovoljavaju unaprijed definirana minimalna i maksimalna ograničenja međusobne vremenske i prostorne udaljenosti. Kraj polazišnog zaustavljanja postaje početak putovanja, a početak odredišnog zaustavljanja kraj putovanja. Niz kontinuiranog zaustavljanja na različitim položajima otkriva putanju kretanja.

## Diskretizacija Vremena

Zbog limitirajuće granularnosti CDR, diskretizacija vremena je praktički neizbježna [5]. U literaturi je korištena različita vremenska rezolucija (razlučivost) - podjela na vremenske periode  $\tau$  od 15 min, 30 min [20], 1 sat, 2 sata, 3 sata [21]. [5] Putovanja ili zaustavljanja bivaju dodijeljena periodima u kojima se odvijaju. Još jedna od zastupljenih podjela je na specifične periode *radni sati*, *noćni sati*, *komutacijski sati* [20] [22] [16] gdje se promatra gdje pojedinci pretežito borave u tipičnom radnom vremenu te tokom noći.

## Rekonstrukcija putanja

Kretanje pojedinca tokom dana najčešće je rascjepkano, odnosno u nizu postoje "rupe" gdje je informacija o kretanju nepoznata zbog nepostojanja aktivnosti u tom vremenu.

**Definicija 2.3.3.** Potpunost putanje [5] definira kao

$$potpunost = \frac{n_L}{\tau \times T}$$

Gdje je  $n_L$  broj zabilježenih položaja (zaustavljanja)  $\tau$  vremenski period, a  $T$  duljina vremenskog razdoblja koje pokrivaju zapisi.

U istraživanjima je zastupljeno odbacivanje korisnika s niskim stupnjem *potpunosti*. Rekonstrukcija putanja nameće se kao novi postupak koji povećava točnost rekonstruiranih putanja i smanjuje mogućnost povratnog inženjeringa identiteta. [5] (...)

## Prostorna razlučivost - Voronoi teselacija

*Najfinija* prostorna rezolucija koju je moguće postići kada je riječ o POM-i dobivenoj iz CDR postiže se podjelom prema Voronoiovoj teselaciji.

**Definicija 2.3.4.** Voronoi teselacija definirana je skupom točaka  $P$  u ravnini, gdje za svaku točku  $p_i$  Voronoi ćeliju  $K_i$  čine sve točke ravnine bliže toj točki negoli ikojoj drugoj točki iz skupa. Svaka takva ćelija dobiva se presjecištem pola prostora

## Poglavlje 2. Polazišno-Određišna Matrica

između susjednih točaka skupa, pa stoga čini konveksni poligon. Dijelovi Voronoiova dijagrama su sve točke u ravnini koje su ekvidistantne prema dva najbliža položaja (granice poligona). Voronoiovi vrhovi su točke ekvidistantne tri (ili više) položaja. [izvor]

Točke skupa su položaji baznih stanice, a ćelije oko njih aproksimacija površine koju ta bazna stanica pokriva. U stvarnosti se te površine prekrivanja preklapaju jer područje prekrivanja nije sasvim fiksno i ovisi o trenutnoj aktivnosti svake bazne stanice [11]. (Vidi sliku 2.3)

Gustoća Voronoi ćelija snažno je korelirana s gustoćom stanovništva te stoga bolju prostornu rezoluciju ima na područjima veće gustoće populacije. Mjerna nesigurnost određivanja položaja iznosi od približno stotinu metara u gusto naseljenom, do nekoliko kilometara u ruralnom području [23]. Neuniformnost ćelija nije problem, već preklapanje područja pokrivanja u stvarnosti, posljedica čega su stalne oscilacije [16]. Uređaj mijenja baznu stanicu na koju je spojen iako svo vrijeme zadržava isti položaj. Učinak koji oscilacija ima na definiranje putovanja može ublažiti je određivanjem minimalne udaljenost putovanja ili potpunim zanemarivanjem putovanja u susjedne ćelije. Važno je uzeti u obzir postojanje oscilacija. \*\*\*TODO: vrati se na ovaj odlomak\*\*

### 2.3.2 Združena očitavanja prijamnika za satelitsku navigaciju

(...)

komercijalna vozila, Taxi [24]

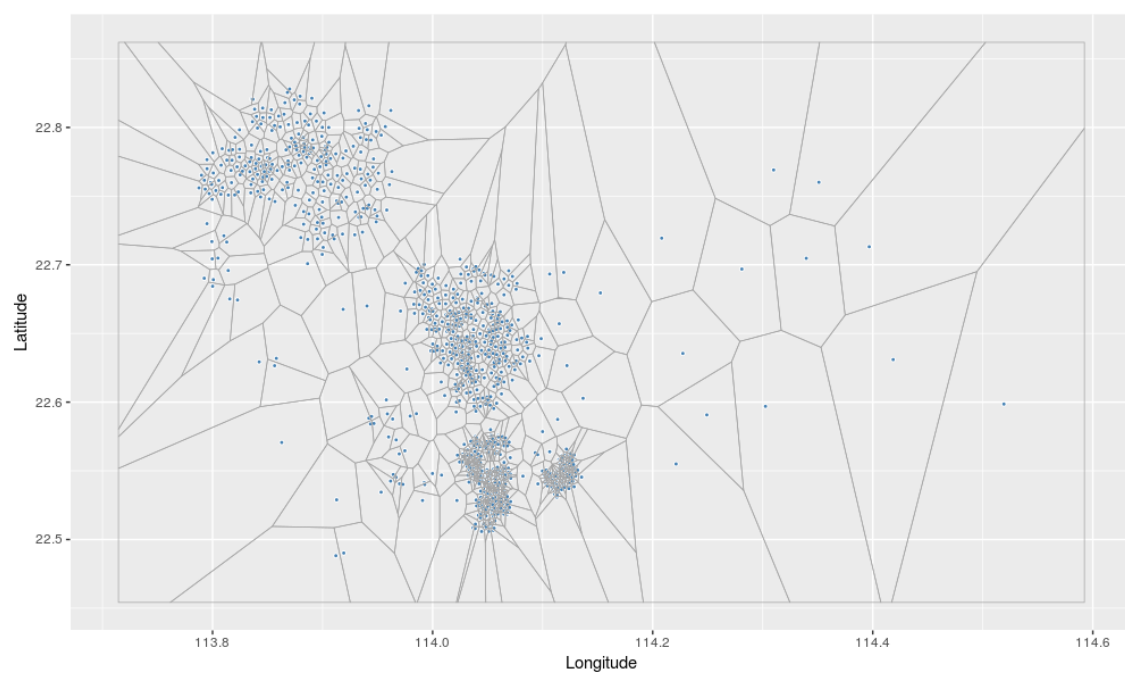
### 2.3.3 Javni prijevoz i pametne kartice

(..)

82% putovanja javnim prijevozom naprave korisnici javnog prijevoza sa pametnim karticama. [25]

- [26] [27]





Slika 2.3 Voronoi dijagram 1090 ćelija baznih stanica - Shenzhen

## Poglavlje 3

### Motivacija

- pojava novih izvora podataka i postupaka procjene migracija
- veća preciznost određivanja položaja. polazišta i odredišta
- kontekstualizacija
- točnost opisa putovanja raste
- područje primjene raste
- potencijalno vrlo velik reprezentativni uzorak (CDR)
- jako dobra rezolucija u vremenu
- osigurati anonimnost

#### 3.1 Problematika i ograničenja tradicionalnih pristupa procjene POM-e

Širenje gradova i rast stanovništva rezultirali su rastućim brojem sve ozbiljnijih prometnih zastoja u gradovima diljem svijeta. Prepoznata je potreba za strategijama upravljanja prometom i gradom općenito koje će uvažiti dinamiku razvoja stanovništva i njegove migracije u kontekstu suvremenih društvenih i gospodarskih kretanja. Djelotvorno upravljanje i kontrola prometa doprinose povećanju sigurnosti, kvalitete prometne i kvalitete transportno-logističke usluge, potiče ekonomski rast i smanjuje zagađenje okoliša. Suvremeni odnosi promijenili su prirodu kretanja ljudi i

dobara zbog čega tradicionalni pristup postaje zastario i neprimjeren. \*\*\*strateško planiranje izgradnje prometne infrastrukture i urbanizacija moraju uzeti u obzir dinamiku promjena - članak gdje se objašnjava da je pretpostavka kod strateškog planiranja da će peak-hour ostati isti, to su projektiranja koja moraju razmišljati unaprijed desetcima godina (a to znaci uzeti u obzir mnog faktora )\*\*\*

### 3.1.1 Validacija Polazišno-Odredišnih Matrica

Kada je riječ o validaciji POM, pregledom literature utvrđeno je da se jednoznačno koriste pojmovi točnost, pouzdanost i kvaliteta POM-a. Za njihovu procjenu koriste se mjere koje opisuju razinu sličnosti odnosno razlike (greške) s referentnom matricom - a temelj je razlika na razni svakog elementa. **Tradicionalni postupak validacije POM-e svodi se na određivanje njene sličnosti s *grand truth* matricom.** [25] Grand truth POM-a je POM-a koja je uzeta kao ona koja najtočnije opisuje stvarno stanje. U analizi prometa, dobivena je tradicionalnim postupcima (anketiranje i/ili prebrojavanje vozila). Statističke mjere kvantiziraju razliku procijenjenih i “istinitih” vrijednosti. (Vidi Dodatak A - Postojeće metrik za validaciju Polazišno-Odredišnih Matrica).

Kao što je spomenuto u odlomku 2.2.3, upravo ta *grand truth* POM-a ujedno je i ulaz - *seed* POM-a - u procjeni nove POM-e iz rezultata prebrojavanja vozila čija će se točnost/pouzdanost/kvaliteta ocjenjivati usporedbom s tom isto mPOM-om. Postupak validacije stoga je pristran i ovisan o kvaliteti izvorne POM-e, koja je procijenjena u odnosu njenu *seed* matricu i tako rekurzivno.

### Validacija suvremenih Polazišno-Odredišnih Matrica

Redefiniranje metodologije koja će pružiti povećanu kvalitetu i transparentnost uz ispunjavanje suvremenih zahtjeva na tehnologije (cijena, zaštita privatnosti i podataka itd.) privlači pažnju istraživača i van područja prometne znanosti. Oni predlažu alternativne izvore podataka o kretanju za promatranje obrazaca putovanja i pristupe procjeni POM-a, no prema [28] nailaze na problem da prometna struka zahtijeva

### *Poglavlje 3. Motivacija*

da se njihova vrijednost dokazuje usporedbom s tradicionalnim pristupima, dobro poznatim u praksi.

Za usporedbu suvremene POM s prostornom podjelom koja nije podjela na TAZ s POM čija je prostorna podjela na TAZ na tradicionalan način zahtjeva da se prostorna podjela prilagodi novoj ili prostornoj podjeli jedne od matrica. To se u praksi čini agregacijom i/ili interpolacijom tokova. Detaljnije u Dodatku B.

(...)

**Istraživači proširuju područje primjene zaključaka analize kretanja stanovništva uzimajući u obzir njihov kontekst [29]. (...)**

Novi moderni postupci procjene POM-a postaju sve više razmatrana opcija s obzirom na fleksibilnost, cijenu i ažurnosti koju nude u odnosu na tradicionalne. Prepoznat je potencijal, ne samo za analizu urbanih i državnih razmjera, već i za analizu mobilnosti planetarnog razmjera dijeljenjem i kombiniranjem različitih izvora podataka koji nose podatak o položaju [30][31]. CDR se ističe kao izvor gotovo jednako zastupljen u zemljama u razvoju i razvijenim zemljama, s penetracijom oko 40%-50% stanovništva za pojedine operatore [11]. U Francuskoj 2008. 80% stanovništva starijeg od 12 godina posjedovalo je mobilni uređaj [11]. Istraživanje iz 2016. provedeno na podacima u Čileu iznosi podatak da Čile ima čak 132 mobilne pretplate na 100 stanovnika [4]. (...)

## **3.2 Formulacija problema**

Analiza problema i osnovne zaonitosti vezane uz njegovo rješavanje

Postoji potreba za objektivnom procjenom kvalitete POM-a definiranjem odnosnih parametara kvalitete.

(...)

## 3.3 Pregled prethodnih istraživanja

### 3.3.1 Primjeri korištenja vanjskih izvora konteksta u analizi kretanja

#### Studija A -

U jednom od svojih radova grupa autora kvantizira vezu između ukupno 23 namjenske kategorije Points of Interest (POIs) iz službene gradske baze (npr. tvornice, bolnice, javne škole, religijski objekti, hoteli, knjižnice, sportski objekti) i onime što nazivaju 3 tipa privlačenja. Dolaze do zaključka da postoje 3 tipa privlačenja te da svaki ima karakterističan tok (gustoću ukupnog toka, udaljenost i disperziju polazišta tokova usmjerenih prema objektu tog tipa privlačenja). Svaku od kategorija karakterizira jedan od ta 3 tipa privlačenja. [10] U radu koriste podatke iz službene baze s 12,000 POIs i CDR zapisima iz razdoblja od mjesec dana. Cilj projekta bio je ispitati mobilnost na području grada Riyadha, u Saudijskoj Arabiji za planiranje izgradnje podzemne željeznice. Njihovi rezultati mogu se primijeniti u planiranju pozicioniranja budućih objekata u gradu.

#### Studija B - Model Raspodjele Toka

Inovativni pristup kontekstualizaciji toka korištenjem OpenStreetMap baze predstavljen je u radu [6]. Na osnovu pripadajućih opisnih podataka, prostorni objekti na području interesa kategorizirani su prema tipu socio-ekonomske aktivnosti u koju su uključeni. Definirano je ukupno 6 kategorija: Dom (Home), Posao (Work), Zdravlje (Health), Edukacija (Education), Zabava (Leisure) i Ostalo (Other). Razvijen je vjerojatnosni model koji, na osnovu broja objekata pojedine kategorije u određenoj ćeliji i promatranog vremenskog okvira, ukupni ulazni tok u određenu ćeliju dijeli na 6 tokova usmjerenih prema objektima tih kategorija. Iz jedne POM-e tako se dobije 6 POM-a, po jedna za svaku od kategorija. U demonstraciji modela korištene su POM-e dobivene iz javno dostupnih, anonimiziranih telekomunikacijskih zapisa na području kineskog grada Shenzhena.[21][32] **Definiranjem konteksta putovanja na ovaj način sačuvana je mogućnost postizanja dobre rezolucije u vre-**

menu, a istovremeno je dan kontekst koji uključuje tipične komutacijske *Home* i *Work* kategorije, te umjesto općenite kategorije *Other* precizira 4 kategorije.

Definiranjem konteksta dobivamo nove informacije o kretanju unutar ćelije, odnosno o konačnoj destinaciji nakon ulaska u ćeliju. U tom smislu poznata je informacija o internom kretanju.

## Studija C - Planiranje održivih gradova

(...) [29]

### 3.3.2 Grafički oblik i strukturalna sličnost Polazišno-Odredišnih Matrica

Vrijednosti u matrici mogu se normalizirati na opseg vrijednosti koji je moguće prikazati u obliku slike tako da svaka vrijednost predstavlja vrijednost piksela. Koriste se različite palete, od raspona 0-100 koji predlažu [21], prikazom nijansama jedne boje 0-255 engl. *grayscale* [33], paletom nijansa 2 boje, ili kojom drugom proizvoljnom paletom s više boja (vidi paletu boja na slici ??).

Nekolicina autora ističe važnost strukturalne sličnosti s referentnom matricom kao važnu mjeru kvalitete POM-e jer visoka razina strukturalne sličnosti može biti prisutna i kod POM-a s manjom razinom sličnosti prema statističkim mjerama. Također, strukturalna sličnost je (vizualno) vidljiva u grafičkom obliku POM-e. **Dobro odgovara ljudskoj vizualnoj percepciji sličnosti slike.**

## MSSIM

MSSIM dolazi iz područja računalne obrade slike i koristi se kao mjera usporedbe digitalnih slika (*eng. measure of comparison*). U prometu ideja o korištenju MSSIM za mjerenje sličnosti POM-a prvi se puta spominje i demonstrira na simuliranim POM-ma dobivenim iz referentne POM-e dodavanjem šuma. [2]

### Poglavlje 3. Motivacija

Informacija o strukturi slike definira se kao atributi slike koji predstavljaju strukturu objekata na sceni, i neovisni su o prosječnom osvjetljenju i kontrastu. Jer osvjetljenje i kontrast mogu znatno varirati na sceni, moraju se u obzir uzeti samo njihove lokalne vrijednosti.

SSIM bazira se na degradaciji strukturalnih informacija na jednoj slici u usporedbi s drugom (referentnom) slikom. SSIM se računa za svaki kvadratni blok veličine  $N$  elemenata na način da se jezgra (da bi obuhvatila novi blok) pomiče ćeliju po ćeliju dok ne prođe preko cijele slike. MSSIM je srednja vrijednost svih SSIM.

#### Osnovni

Neka su  $X$  i  $Y$  matrice koje uspoređujemo a  $x = \{x_n | x = 1, 2, \dots, N\}$  i  $y = \{y_n | y = 1, 2, \dots, N\}$  parovi vrijednosti kvadratnih prozora veličine jezgre na istim pozicijama u  $X$  i  $Y$ ;  $SSIM$  je određen prosječnim vrijednostima  $\mu_x$  i  $\mu_y$  sa standardnim devijacijama  $\sigma_x$  i  $\sigma_y$  i kovarijancom  $\sigma_{xy}$

$$l(x, y) = (2\mu_x\mu_y + C1)/(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C1) \quad (3.1)$$

$$c(x, y) = (2\sigma_x\sigma_y + C2)/(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C2) \quad (3.2)$$

$$s(x, y) = (\sigma_{xy} + C3)/(\sigma_x\sigma_y + C3) \quad (3.3)$$

$l(x, y)$  opisuje razliku u osvjetljenju,  $c(x, y)$  razliku u kontrastu, a  $s(x, y)$  razliku u strukturi između  $x$  i  $y$ .  $C1$ ,  $C2$  i  $C3$  su konstante uvedene da se izbjegne "nestabilnost" kada su nazivnici bliski 0. Opća forma  $SSIM$  definira se kao

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)^\alpha][c(x, y)^\beta][s(x, y)^\gamma] \quad (3.4)$$

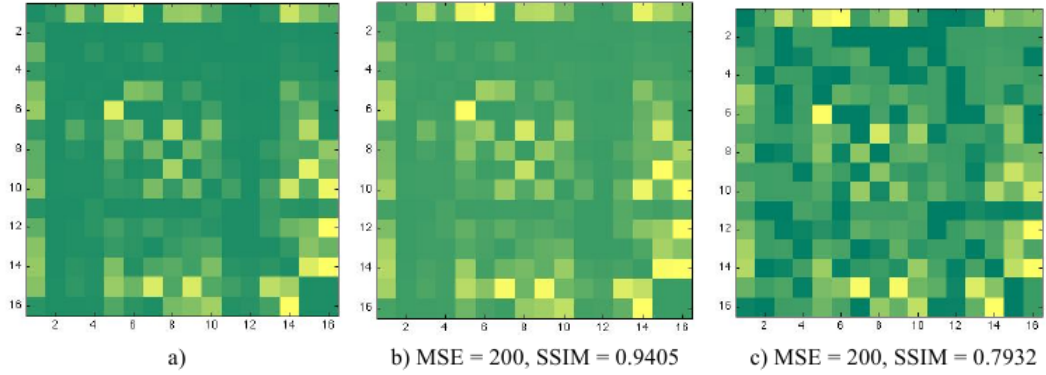
gdje su  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  parametri relativne važnosti svake komponente. Za  $SSIM$  vrijedi slijedeće:

$$SSIM(x, y) \leq 1 \quad (3.5a)$$

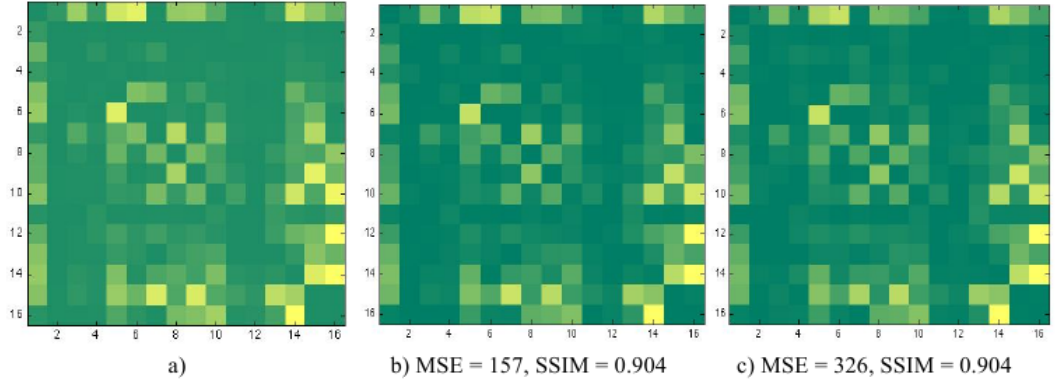
$$SSIM(x, y) = SSIM(y, x) \quad (3.5b)$$

$$SSIM(x, y) = 1 \iff x = y \quad (3.5c)$$

$$MSSIM(X, Y) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M SSIM(x_m, y_m) \quad (3.6)$$



- (a) U odnosu na referentnu *grand truth* POM-u a), vrijednost metrike točnosti MSE jednak je za obje POM-e b) i c), dok se indeks strukturalne sličnosti znatno razlikuje, gdje POM-a b) ima veću strukturalnu sličnost s a) nego što ima c). Podsjetimo se da za SSIM vrijedi (3.5). Lako je na matrici c) *golim okom* uočiti narušenost strukturalne sličnosti.



- (b) U odnosu na referentnu POM-u a), vrijednost metrike strukturalne sličnosti iznosi 0.904 za obje POM-e b) i c), dok se MSE razlikuje (veći MSE znači veću razliku). Obje POM-e dobivene su dodavanjem Gaussianovog šuma na referentnu matricu.

Slika 3.1 Narušenu strukturalnu sličnost lakše je uočiti nego narušen MSE. SSIM (i MSSIM) u odnosu na referentnu POM-u može biti korišten kao dodatna informacija (*goodness of fit* mjera) prilikom validacije POM-e [2]



## Poboljšani

Nekoliko godina nakon prvog spominjanja *MSSIM* kao metrike usporedbe POM-a [33] se dotiče 3 problema postavljajući pitanja : Koliko treba biti veliki blok? Kako usporediti "guste" i "rijetke" POM-e? Koja je prihvatljiva vrijednost *MSSIM*? Autori definiraju poboljšani model koji nazivaju *4D-MSSIM* gdje u izračun dodaju stvarne euklidske udaljenosti prostornih zona.

## 3.4 Teza

- Statistička analiza podataka iz suvremenih informacijskih i komunikacijskih sustava sve više se koristi za procjenu POM-a čime je omogućeno poboljšanje kvalitete procjene preslikavanjem na kontekst.
- Određivanje konteksta proširuje područje pokrivanja u fizičkom i informacijskom smislu te povećava točnost pome unosom relevantnih atributa vezanih za način i svrhu putovanja - čime je putovanje točnije opisano
- izbor metode procjene definira preciznost određivanja konteksta

# Poglavlje 4

## Metodologija

opis sklopa/programske podrške. Opis rješavanja zadatka i odgovarajući proračuni

## Poglavlje 5

### Rezultati

iznošenje rezultata i analiza rezultata do kojih je došlo rješavanjem problematike zadatka, rezultati mjerenja

## Poglavlje 6

## Diskusija

**Poglavlje 7**

**Zaključak**

# Bibliografija

- [1] J. Xie, Y. Nie, and X. Liu, “Testing the proportionality condition with taxi trajectory data,” Transportation Research Part B Methodological, May 2017.
- [2] T. Djukić, “Reliability assessment of dynamic OD estimation methods based on structural similarity index,” 92nd meeting of the Transportation Research Board, 2013.
- [3] J. Goulding, Best Practices and Methodology for OD Matrix Creation from CDR data, N/LAB, University of Nottingham, 2016.
- [4] E. Graells-Garrido and D. Saez-Trumper, “A Day of Your Days: Estimating Individual Daily Journeys Using Mobile Data to Understand Urban Flow,” 2016.
- [5] G. Chen, S. Hoteit, A. C. Viana, M. Fiore, and C. Sarraute, “Individual Trajectory Reconstruction from Mobile Network Data,” Tech. Rep., January 2019. , s Interneta, <https://hal.inria.fr/hal-01675570v2>
- [6] I. Stupar, P. Martinjak, V. Turk, and R. Filjar, “Socio-Economic Origin-Destination Matrix Derivation Through Contextualization of Material World,” 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2018.
- [7] N. Jelusic, “Telematicka sucelja (nastavni tekst),” 2016.
- [8] M. Cools, E. Moons, and G. Wets, “Assessing the Quality of Origin-Destination Matrices Derived from Activity Travel Surveys,” Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2010.
- [9] I. Espada. (2013.) Overview of the four-step transport demand model. Australian Road Research Board. , s Interneta, <https://www.youtube.com/watch?v=h2rxC-0rZLU> (20.9.2019.).

## Bibliografija

- [10] M. Alhazzani, F. Alhasoun, Z. Alawwad, and M. C. González, “Urban Attractors: Discovering Patterns in Regions of Attraction in Cities,” Public Library of Science, 2016.
- [11] P. Bonnel, E. Hombourger, A. maria Olteanu-Raimond, and Z. Smoreda, “Passive mobile phone data to construct origin-destination matrix: Potentials and limitations,” Transportation Research Procedia, Elsevier, no. 11, pp. 381.–398., 2015.
- [12] S. Bera and K. V. K. Rao, “Estimation of origin-destination matrix from traffic counts: the state of the art,” European Transport Trasporti Europei n. 49, 2011.
- [13] A. Kuharic, “Prikupljanje podataka o protoku vozila uporabom mobilnih telefona,” Master’s thesis, Fakultet prometnih znanosti, Sveuciliste u Zagrebu, 2016. , s Interneta, <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fpz:683/datastream/PDF/>
- [14] C. A. Segovia, “Origin-Destination Trips and Skims Matrices,” 2015. , s Interneta, [http://www.fsutmsonline.net/images/uploads/fsutms\\_training/FSUTMS\\_Webinar\\_Series\\_\\_Origin\\_and\\_Destination\\_Skims\\_and\\_Matrix\\_Information\\_20150917.pdf](http://www.fsutmsonline.net/images/uploads/fsutms_training/FSUTMS_Webinar_Series__Origin_and_Destination_Skims_and_Matrix_Information_20150917.pdf)
- [15] H. Zhao and Y. Zhao, “Traffic analysis zones - how do we move forward?” AASHTO CTPP and TRB Joint Conference, Applying Census Data for Transportation, 2017.
- [16] D. Gundlegard, C. Rydergren, N. Breyer, and B. Rajna, “Travel demand estimation and network assignment based on cellular network data,” COMPUTER COMMUNICATIONS, 2016.
- [17] A. Peterson, “The Origin-Destination Matrix Estimation Problem- Analysis and Computations,” Ph.D. dissertation, Linköping Studies in Science and Technology, 2007.
- [18] P. Thakur and R. Grace. (2018., July) Rethinking peak hour with new transport models. KPMG Australia. , s Interneta, <https://home.kpmg/au/en/home/insights/2018/07/avoid-peak-hour-new-transport-models.html> 20.9.2019.
- [19] V. Frías-Martínez, E. Frías-Martínez, and C. S. Ruiz, “Estimation of urban commuting patterns using cellphone network data,” 2012.
- [20] C. M. Schneider, V. Beik, T. Couroneé, Z. Smoreda, and M. C. González, “Unraveling daily human motifs,” J. R. Soc. Interface, no. 10, May 2013.

## Bibliografija

- [21] M. Filić, R. Filjar, and K. Vidović, “Graphical Representation of Origin-Destination Matrix in R Statistical Environment,” 36. skup o prometnim sustavima s međunarodnim sudjelovanjem AUTOMATIZACIJA U PROMETU, November 2016.
- [22] J. L. Toole, S. Colak, B. Sturt, L. P. Alexander, A. Evskoff, and M. C. González, “The path most traveled: Travel demand estimation using big data resources,” Transport Research Part C, 2015.
- [23] F. Calabrese, G. D. Lorenzo, L. Liu, and C. Ratti, “Estimating Origin-Destination flows using opportunistically collected mobile phone location data from one million users in Boston Metropolitan Area,” IEEE Pervasive Computing 10, no. 4, pp. 36–44., April 2011., 2011.
- [24] C. Krause and L. Zhang, “Short-term travel behaviour predictions with gps, land use and point of interest data,” Elsevier, 2018.
- [25] A. Travassoli, A. Alsger, M. Hickman, and M. Meshbah, “How close the models are to the reality? Comparison of Transit Origin-Destination Estimates with Automatic Fare Collection Data,” Australian Transport Research Forum, 2016.
- [26] W. Kuhlman, “The construct of purpose specific od matrices using public transport smart card data,” Tech. Rep., 2015.
- [27] N. S. Aslam, T. Cheng, and J. Cheshire, “A data precision heuristic model to detect home and work location from smart card data,” Geo-spatial Information Science, 2018.
- [28] T. Pollard, N. Taylor, T. van Vuren, and M. MacDonald, “Comparing the Quality of OD Matrices in Time and Between Data Sources,” European Transport Conference, 2013.
- [29] E. Barbour, C. C. Davila, S. Gupta, C. Reinhart, J. Kaur, and M. C. González, “Planning for sustainable cities by estimation building occupancy with mobile phones,” Nature Communications, 2019.
- [30] S. Scepanovic, I. Mishovski, P. Hui, J. K. Nurminen, and A. Yla-Jaaski, “Mobile Phone Call Data as Regional Socio-Economic Proxy Indicator,” PLoS ONE, 2015.
- [31] P. Hui, R. Mortier, M. Piorkowski, T. Henderson, and J. Crowcroft, “Planet-scale human mobility measurement,” in 2ND ACM International Workshop on Hot Topics in Planet-scale Measurement. Hot Planet, 2010.



## *Bibliografija*

- [32] (03.06.2019) Data description for urbancps. , s Interneta, <https://www-users.cs.umn.edu/~tianhe/BIGDATA/>
- [33] T. van Vuren, “256 shades of gray - comparing OD matrices using image quality assessment techniques,” Scottish Transport Applications Research (STAR), 2015.
- [34] E. Mellegard, “Obtaining origin-destination- matrices from cellular network data,” Master’s thesis, Chalmers University of Technology, Department of Mathematical Sciences, 2011.
- [35] M. Coscia and R. Hausmann, “Evidence that Calls-based Mobility Networks are Isomorphic,” Working Papers - Cernter for International Development at Harvard University, 2015.
- [36] F. Bahoken and A.-M. Olteanu-Raimond, “Designing Origin-Destination Flow Matrices from Individual Mobile Phone Paths: The effect of spatiotemporal filtering on flow measurement,” in ICC 13 - 26th International Cartographic Conference, Aug 2013, DRESDEN, Germany. ICC 13 - 26th International Cartographic Conference 15p, 2013., hal-01011987v2.
- [37] (21.06.2019) Opencellid. , s Interneta, <https://www.opencellid.org/>

# Pojmovnik

**ANPR** Automatic Number Plate Recognition. 4

**CDR** Call Data Records ili Charging Data Records. x, 6–11, 13, 16–18, 21, 23, 26, 33–38, 40

**D4D** Data for Development. 18, 21

**FCD** Floating Car Data. 5

**FPD** Floating Phone Data (Floating Cellular Data). 6

**GDPR** General Data Protection Regulation. 8

**GIS** Geoprostorni Informacijski Sustav. 3, 11

**GNSS** Global Navigation Satellite System. 5–7

**GPS** Global Positioning System. 11, 16

**GSM** Global System for Mobile (Communications). 6, 7

**HW** Home-Work. 9, 26, 33

**ITS** Inteligentnim Transportnim Sustavima (engl. *Intelligent Transportation Systems*). 4, 5, 20

**MSSIM** Mean Structural Similarity index. x, 29, 31

**ODM** Origin-destination Martix. 1

**OSM** OpenStreetMap. 11, 12, 15

**POIs** Points of Interest. 10, 13

**POM** Polazišno-Odredišna Matrica. vi, vii, 1–10, 13, 16, 20, 21, 23, 25–43

**RSI** Road Side Interview. 3, 37

**SSIM** Structural Similarity index. x, 29, 31

**TAZ** Traffic Analysis Zone. ix, 13–15

**WH** Work-Home. 9, 26, 33

# Sažetak

Ovo je tekst u kojem se opiše sažetak vašega rada. Tekst treba imati duh rekapitulacije što je prikazano u radu, nakon čega slijedi 3-5 ključnih riječi (zamijenite dolje postavljene općenite predloške riječi nekim suvislim vlastitim ključnim riječima).

***Ključne riječi*** — Polazišno-odredišna matrica, parametri kvalitete, usporedba

## Abstract

This is a text where a brief summary of your work is outlined. The text should have a sense of recap of what was presented in the thesis, followed by 3-5 keywords (replace the general keyword templates below with some meaningful keywords of your own) .

***Keywords*** —Origin-Destination Matrix, quality parameters, keyword 3

## Dodatak A

# Postojeće metrike za validaciju Polazišno-Odredišnih Matrica

### A.0.1 Metrike za procjenu sličnosti Polazišno-Odredišnih Matrica s referentnom

Za procjenu kvalitete POM-a dobivenih isključivo anketranjem u radu [8] korištena je mjera Mean Absolute Percentage Error (MAPE), te je prikazano da se zadovoljavajuća razina kvalitete takvih POM-a postiže tek ako uzorak obuhvaća 50% populacije. Istaknuta je važnost korištenja dodatnih izvora za izradu POM-a.

U radu [12] navedene su statističke mjere Relative Error (RE), Total Demand Deviation (TDD), Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE) te Maximum Possible Relative Error (MPRE) i Travel Demand Scale (TDS) koji procjenjuju kvalitetu neovisno o referentnoj matrici (no MPRE ne dopušta pogreške u prebrojavanju prometa, dok TDS ovisi o topologiji mreže i odabiru ruta).[2]

U [19] korišten je *Pearsonov koeficijent korelacije* -  $r$  da bi se utvrdila **sličnost svakog retka POM-e** dobivene iz CDR s **retkom referentne** (ukupni izlazni tok iz svake polazišne ćelije). Isti postupak korišten je za kontekstualizirane Home-Work (HW) i Work-Home (WH) POM-e dobivene iz CDR u usporedbi s referentnim POM-ma dobivenim anketiranjem.

U svome radu [25] navodi se nekoliko uobičajeno korištenih mjera -  $R^2$ , Geoffrey

E. Havers statistics (GEH), Root Mean Squared Error percentage %RMSE te uvodi novu mjeru Eigenvalue-based measure (EBM) (temeljenu na svojstvenim vrijednostima matrica) i procjenjuje pouzdanost POM-e dobivene iz sustava automatskog prikupljanja podataka u javnom prijevozu (autobus, vlak i trajekt). Spominje i Wasserstein metric, mjeru koja se razlikuje po tome da ne uspoređuje samo vrijednosti parova istih ćelija (elementwise).

Spearmanov koeficijent korelacije ranga korišten je u [4] za procjenu sličnosti POM-a dobivenih iz CDR sa tada aktualnim POM-ma dobivenim anketiranjem.

## Dodatak B

# Prilagodba prostorne podjele

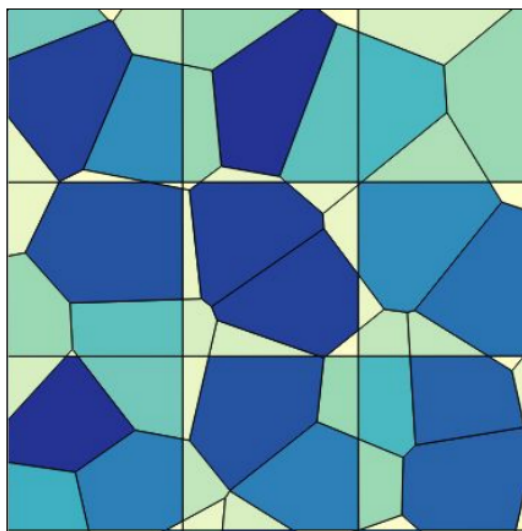
Ako je točnost matrice definirana isključivo kao sličnost svakog njenog elementa s ekvivalentnim u elementom u *grand truth* matrici nužno je osigurati da prostorna podjela matrice odgovara prostornoj podjeli referentne ili je potrebno obje matrice svesti na zajedničku prostornu podjelu.

### B.1 Grupacija baznih stanica

Kod analize na području cijele države [3] koristi *k-sredina* algoritam za grupiranje baznih stanica u broj grupa jednak broju TAZ na području Senegala. [10] na području grada Riaydha agregira bazne stanice u 1492 TAZ-e. [34] ne definira unaprijed broj grupa već za grupaciju koristi *mean-shift* algoritam koji sam određuje broj grupa na području Švedske, potom koristeći OpenStreetMap (OSM) grupe veže uz imena gradova i mjesta. U istraživanju [35] bazne stanice na području Kolumbije grupiraju po jedinicama samouprave (eng. *municipalities*). Isti postupak je korišten i u istraživanju na području Madrida, kako bi POM-e u konačnici bile usporedive s onima dobivenim iz anketa [19].

## B.2 Interpolacija

Postupak konverzije POM-a iz prostorne podjele na Voronoi ćelije u drugu prostornu podjelu, npr. uniformnu kvadratnu mrežu (ćelije  $1\text{km}^2$ ), opisan u priručniku [3]. U postupku određivanja postotka ukupnog toka Voronoi ćelije koji će se dodijeliti novoj kvadratnoj ćeliji predlaže se uzeti u obzir: površinu preklapanja tih ćelija, broj zgrada ili ukupnu površinu zgrada (uključujući katove) na području preklapanja tih ćelija. Na slici B.1 je prikazan treći oblik interpolacije gdje su korišteni podaci o ukupnoj kvadratnoj površini zgrada.



Slika B.1 Primjer mozaika *krhotina* koje dozvoljavaju interpolaciju između Voronoi ćelija i kvadratne mreže. Nijansa odražava postotak površine zgrada u *krhotini* u odnosu na cijelu Voronoi ćeliju kojoj pripada. Rezultat se dobiva na osnovu tih *težinskih faktora* polazišne i odredišne *krhotine* te pripadajućih ("roditeljskih") Voronoi ćelija. Sumom svih rezultata *krhotina* jedne kvadratne ćelije izračuna se konačni tok. [3]

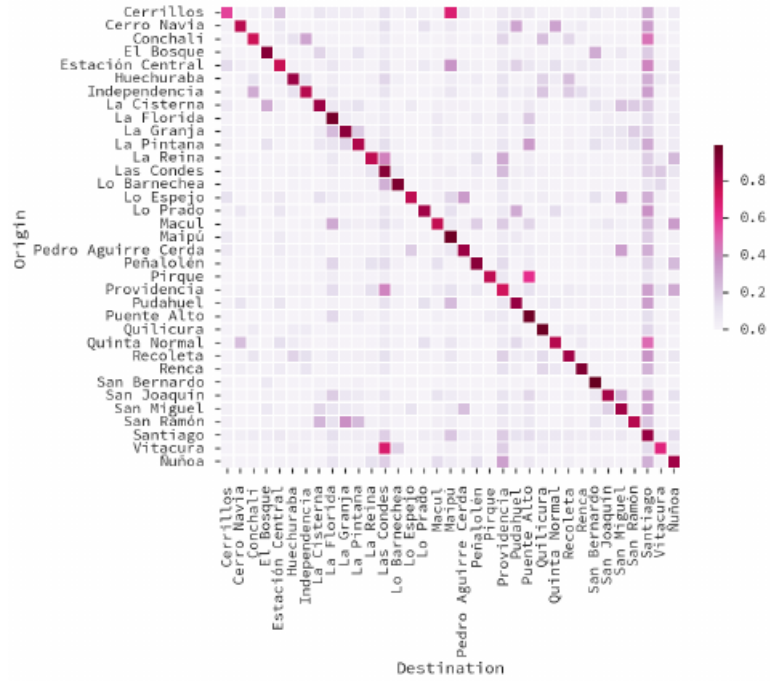


## B.3 Posljedice agregacije prostornih ćelija

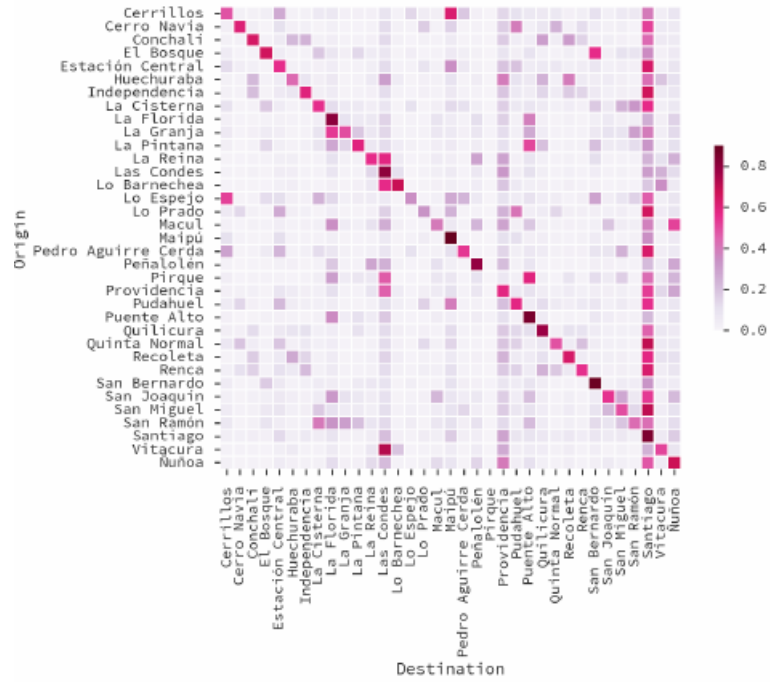
Voronoi ćelije također je moguće ugnijezditi (što se često radi kod usporedbe s POM-ma dobivenim drugim postupkom), a pritom se može u matricu bilježiti i aproksimacija internog toka, odnosno broja putovanja unutar nove ćelije (dijagonala matrice). Takva putovanja nazivaju se internim putovanjima.

Postotak eksternih putovanja koji se gubi u procesu agregacije Voronoi ćelija analiziran je za POM-e iz regije Picardie u Francuskoj. **Agregacijom Voronoi ćelija na razinu *Urban Areas* (područja oko gradova) 85% svih putovanja postaje internim putovanjima, a na razini *Urban Cores* (područja oko većih gradova) čak 97% početno zabilježenih putovanja je interno, te ostaje samo 3% eksternih putovanja.** [36]. Sličnu situaciju opisuje i [4] (Vidi sliku B.2)

Na temelju usporedbi POM-a kretanja u 4 različita grada, dobivenih iz CDR i iz anketa, gdje je svaki grad u anketnim POM-ma imao svoju prostornu podjelu odnosno rezoluciju, Studija [22] je pokazala da sa **smanjenjem rezolucije (visokim stupnjem agregacije Voronoi ćelija) stupanj korelacije s POM-ma iz ankete (za isti grad) raste.**



(a) Izvor podataka anketa



(b) Izvor podataka CDR

Slika B.2 Distribucija CDR putovanja na području Santiago, Čile. POM je normalizirana prema redovima (polazištima) (\*) [4]

# Dodatak C

## OpenCellID

Operatori u CDR zapisima ne otkrivaju položaje baznih stanica već samo njihov ID. Postoji nekoliko javno dostupnih baza kao što je OpenCellID [37] nastalih volonter-skim doprinosom koje pohranjuju podatke o procjenama položaja baznih stanica, snazi signala i sl. Položaji se prikupljaju pomoću aplikacije instalirane na mobilnom uređaju, registriranjem Global Positioning System (GPS) položaja i identifikacijske oznake bazne stanice na koju je uređaj trenutno spojen. Dakle, ove baze ne sadrže "najtočnije" položaje baznih stanica već usrednjene položaje mobilnih uređaja koji su u nekom trenutku bili spojeni na tu baznu stanicu. Tako procijenjeni položaj za potrebe izrada POM-a čak i više odgovara od stvarnog položaja. [34]