

Indikatori prometnog toka zasnovani na podacima pokretnih osjetila i Weibull-ovoj distribuciji

Zeljko, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:908509>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-12**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ivan Zeljko

INDIKATORI PROMETNOG TOKA ZASNOVANI NA
FCD-PODACIMA I WEIBULL-OVOJ DISTRIBUCIJI

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2023.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**INDIKATORI PROMETNOG TOKA ZASNOVANI NA
FCD-PODACIMA I WEIBULL-OVOJ DISTRIBUCIJI**

**VEHICLE FLOW INDICATORS BASED ON
FCD DATA AND WEIBULL DISTRIBUTION**

Mentor: doc. dr. sc. Damir Budimir

Student: Ivan Zeljko

JMBAG: 0135255494

Zagreb, rujan 2023.

Zadatak diplomskog rada

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 2. svibnja 2023.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Prometni geoinformacijski sustavi**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7334

Pristupnik: **Ivan Zeljko (0135255494)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Indikatori prometnog toka zasnovani na FCD-podacima i Weibull-ovoj distribuciji**

Opis zadatka:

Trenutno nedostaje standardiziran okvir za obradu GNSS prikupljenih podataka s pokretnih platformi te njihovu fuziju sa ostalim podacima koji se odnose na prometne tokove. Idejno razrada fuzije uključuje definiciju vrsta i načina pohrane takvih podataka u prostornu bazu podataka, što iziskuje izradu konceptualnog modela podataka prometnica zasnovanog na teoriji organizacije prometnih tokova, kao i metodologije obrade takvih podataka poznatijih u literaturi kao FCD-podatci.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:



doc. dr. sc. Damir Budimir

Sažetak

Rad prikazuje mogućnosti i potencijal iskorištenja FCD-podataka kako bi se dobili indikatori o prometnim tokovima. Ključan dio rada predstavlja fuzija FCD-podataka s podacima modela prometnih tokova (LRS-a) koja je omogućila Weibull-ovu analizu, čijim se parametrima može interpretirati FCD-podatke kao indikatore. Aplikacijom OptaGIS, odnosno georeferenciranim videozapisom, definirane su intervalne vrijednosti parametara kojima se definiraju indikatori prometnog toka.

Ključne riječi: FCD-podaci, Weibull-ova analiza, indikatori prometnih tokova, parametri, GIS, georeferencirani video.

Summary

The paper presents the possibilities and potential of using FCD-data to obtain traffic flow indicators. A key part of the paper is the fusion of FCD data with traffic flow model (LRS) data, which enabled Weibull analysis, whose parameters can be used to interpret FCD data as indicators. The OptaGIS application, respectively georeferenced video, defined the interval values of the parameters used to define traffic flow indicators.

Keywords: FCD-data, Weibull analysis, traffic flow indicators, parameters, GIS, georeferenced video.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. MODELIRANJE PODATAKA U GIS-U ZA ANALIZU PROMETNIH TOKOVA	2
2.1. Vrste podataka u GIS-u	3
2.2. Sustav za prikupljanje podataka o vozilu	4
2.2.1. Prošireni FCD	5
2.2.2. Komunikacijske tehnologije	6
2.3. Primjena FCD-podataka	7
2.4. Linearni referentni sustav	9
2.5. Linearne referentne metode	10
2.6. Geometrija ceste	12
2.6.1. Segmentacija kolnika	12
2.6.2. Dvostruki kolnici	13
2.6.3. Kružni tokovi	14
2.6.4. Rampe	16
2.7. OptaGIS	16
3. FUZIJA PODATAKA GNSS-A S PODACIMA U GIS SUČELJU	19
3.1. Weibull-ova distribucija	19
3.2. Proces transformacije FCD podataka u parametre Weibullove distribucije.....	20
4. INDIKATORI PROMETNOG TOKA	23
4.1. Protok vozila.....	23
4.2. Gustoća prometnog toka.....	25
4.3. Brzina prometnog toka	25
4.3.1. Srednja prostorna brzina prometnog toka	27
4.3.2. Srednja vremenska brzina prometnog toka.....	27
4.3.3. Brzina prometnog toka s obzirom na vrste prometnih tokova.....	28
4.4. Interval slijeđenja vozila.....	29

4.5. Razmak u slijeđenju vozila.....	30
5. EVALUACIJA INDIKATORA PROMETNIH TOKOVA ZASNOVANA NA WEIBULL- OVOJ DISTRIBUCIJI	31
5.1. Funkcija intenziteta pojavljivanja točki $\lambda(t)$ – INDIKATOR	31
5.2. Primjer promjene jednog parametra	32
5.3. Georeferencirani videozapis	32
6. ZAKLJUČAK	34
LITERATURA.....	35
Izjava o akademskoj čestitosti i suglasnosti	37

1. UVOD

U ovom radu prikazati će se mogućnosti i potencijal FCD-podataka za dobivanje indikatora o prometnim tokovima značajnim za područja tehnologije prometa. Isto tako prikazati će se novi način obrade FCD podataka metodologijom transformacije u model prometne mreže (LRS) koji najbolje aproksimira prometne tokove.

Istraživanje se može svesti na dva ključna dijela:

- 1.) izradu modela za integraciju i grupiranje FCD-podataka (tj. izradu LRS-a)
- 2.) metodologiju analize tako grupiranih podataka (Weibull analiza) kojom se ostvaruju indikatori.

Rad se sastoji od pet poglavlja:

Poglavljje pod nazivom: „Modeliranje podataka u GIS-u za analizu prometnih tokova“ definira geografski informacijski sustav i vrste GIS podataka, sustav za prikupljanje podataka o vozilu (eng. Floating Car Data - FCD), linearni referentni sustav i metode te opisuje OptaGIS aplikaciju.

U poglavljju „Fuzija podataka GNSS-a s podacima u GIS sučelju“ definira Weibull-ovu distribuciju te prikazuje proces transformacije FCD podataka u parametre Weibull-ove distribucije.

Poglavljje „Indikatori prometnog toka“ definira prometni tok i njegove pokazatelje.

Poglavljje pod nazivom „Evaluacija indikatora prometnih tokova zasnovana na Weibull-ovoj distribuciji“ objašnjava kako je fuzija FCD-podataka s podacima modela prometnih tokova (LRS-a) omogućila „Weibull-ovu analizu“ koja se oslanja na izračun parametara temeljem kojih se može interpretirati FCD-podatke kao indikatore.

2. MODELIRANJE PODATAKA U GIS-U ZA ANALIZU PROMETNIH TOKOVA

Geografski informacijski sustav (GIS) može se koristiti za znanstvena istraživanja, imovinsko upravljanje, planiranje razvoja, kartografiju i planiranje puta. Svaka varijabla koja se može prostorno smjestiti može se pohraniti u sustavu. Podaci geografskog informacijskog sustava predstavljaju objekte u stvarnom svijetu poput ceste, uporabe zemljišta ili visine. Objekti u stvarnom svijetu se mogu podijeliti u dvije skupine: zasebni objekti (kuće) i neprekinuta polja (količina oborina ili visina). Za obje skupine postoje dvije široke metode korištene u spremanju podataka u geografski informacijski sustav: rasterska i vektorska metoda.¹

Geografski informacijski sustav - GIS je prostorno orijentirana baza podataka sa skupom alata koje koriste osobe i aplikacije u svrhu rješavanja problema. GIS integrira prostorne i tablične podataka unutar “pametne” karte, omogućavajući korisnicima kreiranje interaktivnih upita, provođenje istraživanja, analizu prostornih informacija i uređivanje podataka. Prostorna baza podataka sadrži točke, linije i poligone topološki povezane u logičke skupine u svrhu stvaranja modela stvarnog svijeta. Klasične baze podataka mogu pohranjivati samo numeričke i tekstualne podatke, dok GIS omogućuje digitalni prikaz realnog prostora.

Rezultat GIS analize može varirati od pružanja jednostavnih odgovora na pitanja “gdje” i “koliko”, ali može odgovoriti i na složenija pitanja kao što su “što” i “ako”. GIS omogućuje transformaciju prostornih podataka u relativne informacije i njihovo povezivanje s vremenskim varijablama. Također je moguće integrirati i georeferencirani video koji može poslužiti kao nadogradnja sustava za prikupljanje podataka o vozilu (eng. *Floating Car Data* – FCD). Treba istaknuti da podaci dobiveni od vozila imaju vrijednost samo ako se promatraju u geografskom kontekstu. Linearno referenciranje je važno za FCD sustav, jer integrira sve podatke koji se odnose na odjeljak i omogućuje jednostavnu primjenu algoritama bez potrebe za složenom prostornom interpretacijom. Složeno prostorno referenciranje zapravo je geokodiranje, jednostavno predstavljanje duljine i smjera (vektora) i ublažavanje grešaka u pozicioniranju.

¹ FMLC. Preuzeto sa: <https://fmlc.com.hr/sto-je-to-geografski-informacijski-sustav-gis/> [Pristupljeno 12. srpnja 2023.]

2.1. Vrste podataka u GIS-u

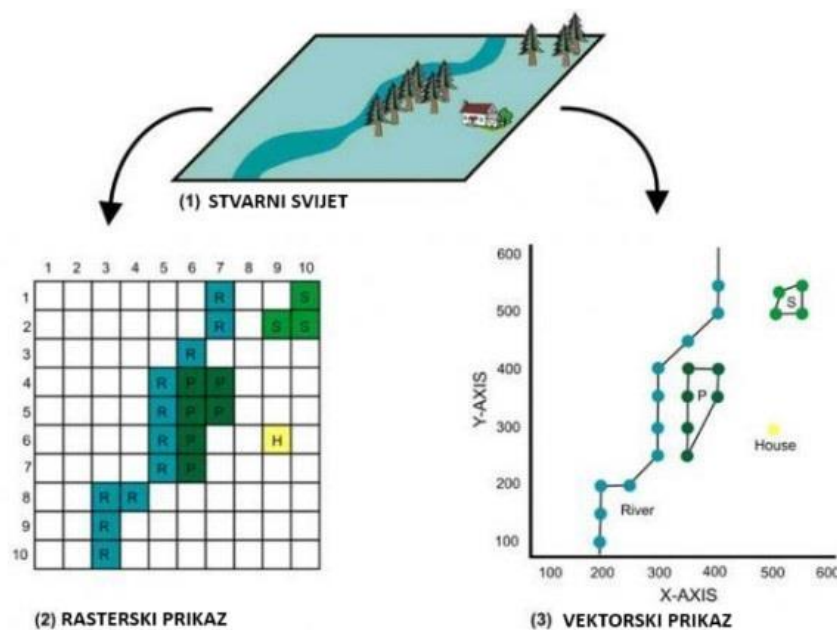
Vektorski podaci predstavljaju podatke pri kojima se objekte stvarnog svijeta prikazuje točkom i njezinim koordinatama (x,y). Koriste se:²

- točka (eng. *point*)
- linija (eng. *line*)
- poligon (eng. *polygon*)

Rasterski podaci predstavljaju model svijeta u kojem se koristi mreža (eng. *grid*) ćelija tj. polja (eng. *cells*) podijeljena u retke i stupce, pri čemu je osnovni element piksel. Karakteristike rasterskih podataka su:³

- vrijednost ćelije odgovara objektu stvarnog svijeta
- lokacija je određena stupcem i retkom mreže
- veličina ćelije – određuje razlučivost (veća ćelija – manja točnost prikaza lokacije)

Slikom 1 prikazan je vektorski i rasterski prikaz stvarnog svijeta.



Slika 1. Vektorski i rasterski prikaz stvarnog svijeta

Izvor: Urban planning 4 citizens. Preuzeto sa: https://www.up4c.eu/wp-up4c/wp-content/uploads/2015/02/gis_osnove.pdf [Pristupljeno 12. srpnja 2023.]

² Urban planning 4 citizens. Preuzeto sa: https://www.up4c.eu/wp-up4c/wp-content/uploads/2015/02/gis_osnove.pdf [Pristupljeno 12. srpnja 2023.]

³ Ibid

Atributni podaci predstavljaju podatke koji su opisne informacije o objektima, odnosno to su svi podaci koji nisu geometrijski. Zbog toga se izrađuje atributna tablica kao što je prikazano slikom 2 u kojoj su pohranjeni ti podaci:⁴

- svaki red u tablici predstavlja jedan objekt (npr. jedan grad)
- svaki stupac u tablici je jedan atribut koji opisuje taj objekt (npr. naziv grada, broj stanovnika...)
- jedan objekt može imati više atributa
- ID – jedinstveni identifikator retka

ID	Naziv	BrojStan
1	Beli Manastir	10,986
2	Belišće	11,786
3	Donji Miholjac	10,265
4	Đakovo	30,092
5	Našice	17,320
6	Osijek	114,616
7	Valpovo	12,327
8	Antunovac	3,559
9	Bilje	5,480
10	Bizovac	4,979
11	Feričanci	2,418

Slika 2. Primjer atributne tablice

Izvor: Urban planning 4 citizens. Preuzeto sa: https://www.up4c.eu/wp-up4c/wp-content/uploads/2015/02/gis_osnove.pdf [Pristupljeno 12. srpnja 2023.]

Tipovi atributnih podataka (svaki atribut mora imati određeni tip podatka):

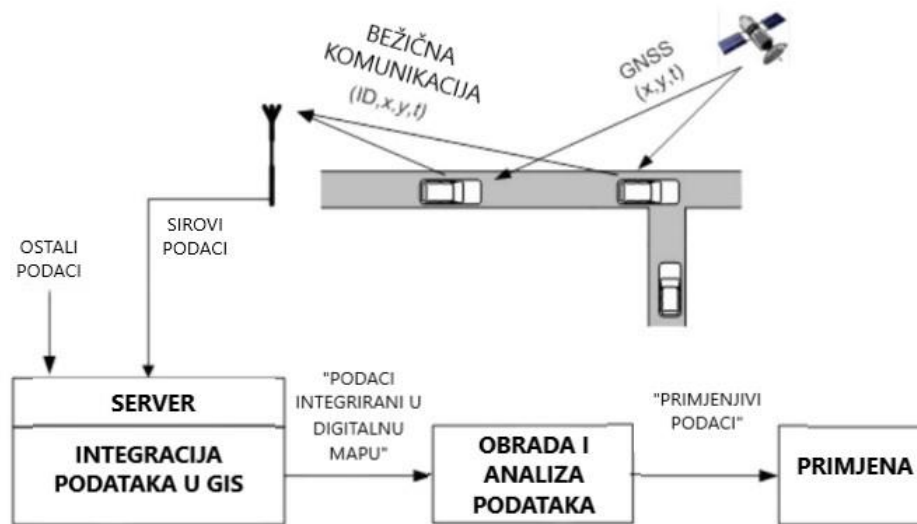
- CHARACTER (STRING) – tekstualne vrijednosti
- NUMERIC – numeričke vrijednosti
- DATUM I VRIJEME...

2.2. Sustav za prikupljanje podataka o vozilu

Sustav za prikupljanje podataka o vozilu (eng. *Floating Car Data* – FCD) je temeljen na nekoliko podsustava različitih tehnologija. Slika 3 prikazuje ključne tehnologije uključene u prikupljanje podataka o prometu vozila, zajedno s mogućnostima primjene dobivenih podataka. Osnovne podatke, koji se odnose na položaj vozila i vrijeme, generira terminal sustava

⁴ Ibid

satelitskog pozicioniranja. Ove koordinate vozila i podaci o vremenu isporučuju se kao "sirovi" podaci centru za obradu. Budući da su uključene mobilne platforme, potrebna je bežična komunikacija. Podaci poput lokacije vozila, brzine i smjera kretanja anonimno se šalju središnjoj jedinici za obradu kako bi se proizveli primjenjivi podaci i/ili informacije.⁵



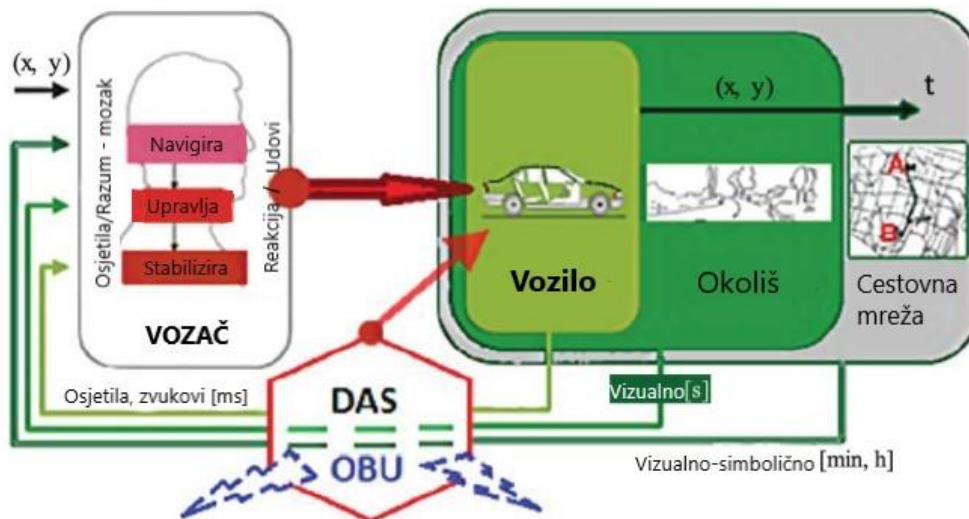
Slika 3. Sustav za prikupljanje podataka o vozilu

Izvor: Budimir D., Jelušić N., Perić M.: Floating Car Data Technology. Znanstveni rad, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci; 2019.

2.2.1. Prošireni FCD

Osim osnovnih podataka koja pružaju vozila, skup poslanih podataka može se značajno proširiti korištenjem dodatne opreme koja je danas dostupna u modernim vozilima. Na primjer, sustav pomoći vozaču – (eng. *Driver Assistance System – DAS*) može proširiti osnovni skup podataka. Informacijski ciklus koji uključuje vozača prikazan slikom 4 pokazuje opseg informacija koji bi se mogao koristiti u FCD sustavu.

⁵ Budimir D., Jelušić N., Perić M.: Floating Car Data Technology. Znanstveni rad, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci; 2019.



Slika 4. Prostorni i vremenski aspekt proširenog FCD-a

Izvor: Izvor: Budimir D., Jelušić N., Perić M.: Floating Car Data Technology. Znanstveni rad, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci; 2019.

2.2.2. Komunikacijske tehnologije

Za primjenu FCD-a nužne su komunikacijske tehnologije koje omogućuju mobilnost. FCD podrazumijeva prijenos podataka od bilo koje točke u transportnoj mreži do centra za prijem i obradu FCD podataka. Najčešće su korištene ćelijske mobilne mreže poput GSM-a (eng. *Global System for Mobile Communications*) i slične tehnologije GPRS (eng. *General Packet Radio Service*), EDGE (eng. *Enhanced Data Rates for Global Evolution*), UMTS (eng. *Universal Mobile Telecommunication System*), HSPA (eng. *Evolved High-Speed Packet Access*) i LTE (eng. *Long Term Evolution*). Slika 5 prikazuje razvoj osnovnih značajki mobilnog prijenosa podataka.⁶

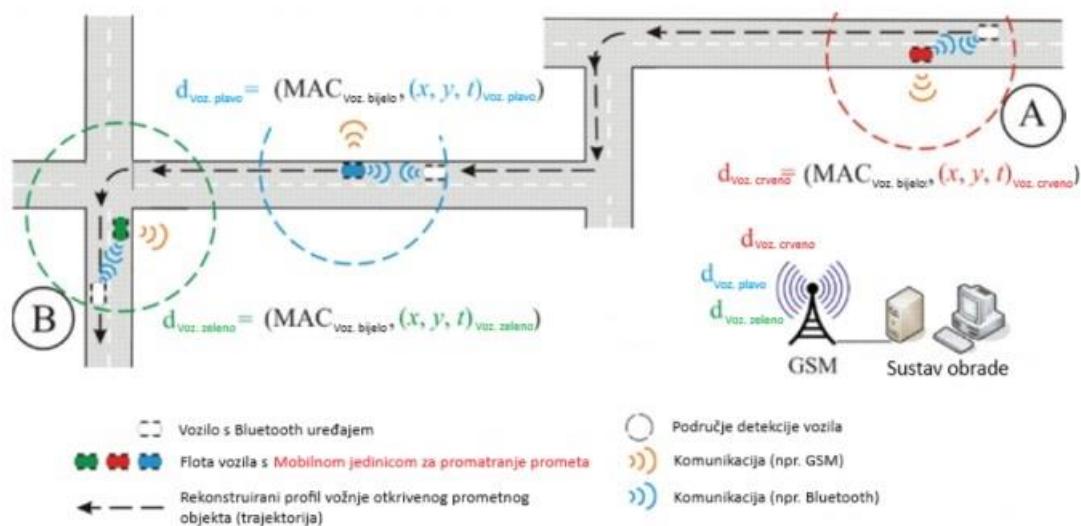


Slika 5. Prikaz razvoja tehnologije mobilnog prijenosa podataka

Izvor: Budimir D., Jelušić N., Perić M.: Floating Car Data Technology. Znanstveni rad, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci; 2019.

⁶ Budimir D., Jelušić N., Perić M.: Floating Car Data Technology. Znanstveni rad, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci; 2019.

Za prošireni FCD (XFCD) i njegovu primjenu u gradovima pogodnim se pokazala WiMax mreža (eng. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*), koju karakteriziraju mobilnost i velike brzine prijenosa podataka. Isto tako, komunikacijske tehnologije kratkog dometa mogu biti primijenjene u FCD sustavu: Wi-Fi (eng. *Wireless-Fidelity*, IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE 802.15.1), ZigBee (IEEE 802.15.4), RFID (eng. *Radio Frequency Identification*) i druge NFC (eng. *Near Field Communication*) tehnologije. Njihova primjena prvenstveno se odnosi na proširenje mogućnosti prikupljanja podataka. Bluetooth tehnologija se koristi za prošireno prikupljanje podataka iz vozila koja nisu izravno povezana sa centralnim uređajem, ali su u dometu vozila koja jesu povezana kao što je prikazano slikom 6. Wi-Fi mreža bi se mogla koristiti na isti način.



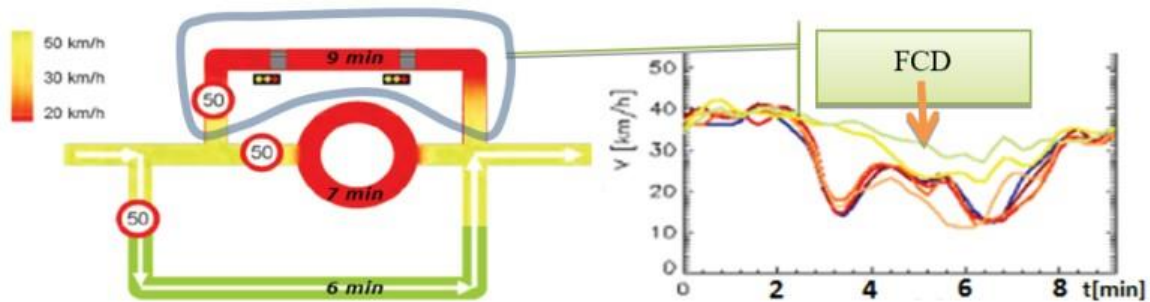
Slika 6. Primjena Bluetooth tehnologije u FCD sustavu

Izvor: Budimir D., Jelušić N., Perić M.: Floating Car Data Technology. Znanstveni rad, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci; 2019.

2.3. Primjena FCD-podataka

Mogućnosti primjene dobivenih informacija FCD prvenstveno ovisi o kvaliteti dobivenih podataka. Tri su ključna utjecaja za kvalitetu podataka o dobivenih od vozila. Prvi predstavlja skup emitiranih podataka o vozilu, drugi predstavlja frekvenciju podataka o vozilu, a treći predstavlja udio vozila koji pružaju podatke u ukupnoj količini vozila na mreži. Trenutne studije usmjerene su na rekonstrukciju prometnog toka, na temelju malog udjela vozila koji pružaju podatke, uz primjenu interpolacija i vjerojatnosti. Takva obrada često rezultira grafičkim

prikazima poput onog na slici 7, koji jasno pokazuje predviđene maksimalne brzine putovanja i vrijeme na dionicama ceste.⁷



Slika 7. Ilustracija profila brzine na osnovu FCD podataka

Izvor: Budimir D., Jelušić N., Perić M.: Floating Car Data Technology. Znanstveni rad, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci; 2019.

Izračun i prikaz kvantitativnih i kvalitativnih parametara za opis prometnog toka u gradovima su bili predmetom raznih istraživanja. Kvantitativni parametri obuhvaćaju broj zaustavljanja na raskrižjima, kašnjenja na raskrižjima, O-D podaci, dok se kvalitativni podaci odnose na razinu usluge (eng. *Level of Service* - LOS).

Budući da je GPS postao standardna oprema u flotnim vozilima (jer se koristi za nadzor nad voznom parku (poput taksija i kamiona)), podaci iz taksi vozila pokazali su se posebno korisnima zbog broja vozila i pokrivenost svih dijelova grada.

Ako se podaci koji se odnose na vrijeme i lokaciju uzmu iz više testnih vozila, mogu se izračunati profili brzina u vremenskim intervalima za svaku dionicu ceste. Kako bi se olakšala uporaba podataka iz flotnih vozila, oni se obično prethodno obrađuju kako bi se identificirala samo brzina na dionici ili vrijeme putovanja.

Obrađeni FCD podaci najčešće se koriste u sljedeće svrhe:⁸

- upravljanje i/ili regulacija prometa (prometne nesreće, održavanje cesta...)
- planiranje kapaciteta cestovne infrastrukture
- informacijski sustavi vozila
- projektiranje i izgradnja cesta

⁷ Budimir D., Jelušić N., Perić M.: Floating Car Data Technology. Znanstveni rad, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci; 2019.

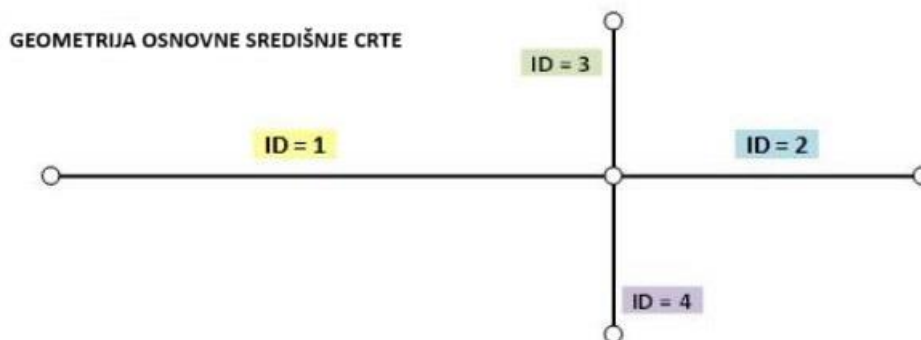
⁸ Ibid

- planiranje hitnih intervencija
- planiranje logističkih ruta
- navigacija (treća generacija)
- naplata cestarine/parkinga
- procjena utjecaja na okoliš
- druge primjene ovisne o duljini putovanja.

2.4. Linearni referentni sustav

Linearno referenciranje je metoda za pohranu i upravljanje geoprostornim informacijama duž linearne značajke. Linearni referentni sustav (LRS) je najčešće implementiran za ceste i autoceste. U LRS-u se određuju lokacije podataka i događaja prema njihovoj udaljenosti duž ceste od neke poznate točke (npr. početak ceste, kilometar marker ili raskrižje). Linearne referentne mjere također se mogu primijeniti na druge vrste linearnih značajki, kao što su autobusne i željezničke rute, vodeni putovi, cjevovodi ili dalekovodi. Kako je navedeno od strane AASHTO Technology Implementation Group (TIG), „Linearni referentni sustav (LRS) usklađuje linearne referentne točke u svim bazama podataka tako da se informacije iz statistike sudara, upravljanja kolnicima i drugi poslovni podaci mogu precizno mapirati i lakše analizirati.”⁹

Slika 8 prikazuje geometriju osnovne središnje crte, segmentiranu na sjecištima.

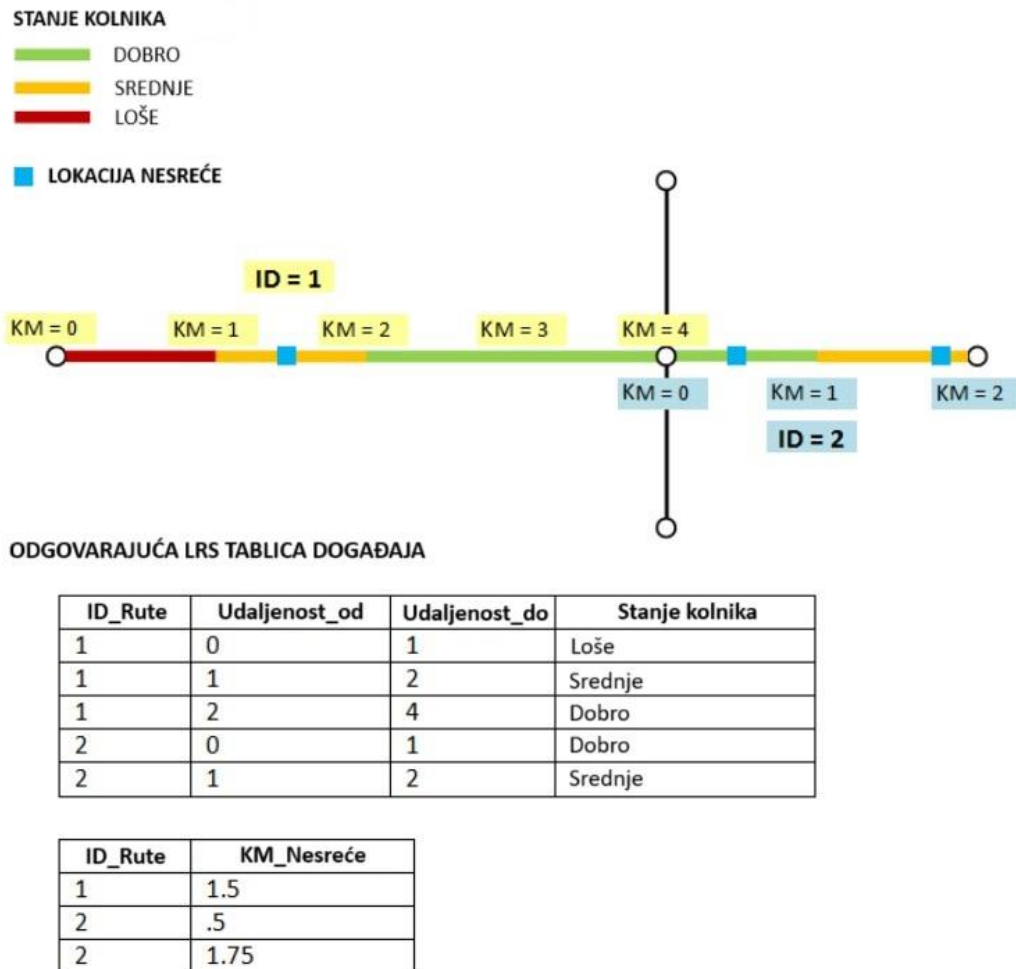


Slika 8. Primjer geometrije osnovne središnje crte

Izvor: All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014., pp 41

Slikom 9 prikazana je istu geometriju s podacima o LRS događajima koji ju preklapaju. Podaci o stanju kolnika i lokacijama nesreća pohranjuju se kao LRS događaji u tablicama.

⁹ All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014., pp 41



Slika 9. Primjer osnovne geometrije sa LRS događajima

Izvor: All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014., pp 42

2.5. Linearne referentne metode

Koncepti linearnih referentnih metoda nisu sinonimi za linearne referentne sustave. Linearni referentni sustav obično obuhvaća više metoda, uz potrebne uredske i terenske postupke za uspostavljanje, korištenje i održavanje svake metode, a također uključuje znanje, vještine, iskustvo i tehnologiju koja je uključena u to linearno referenciranje.¹⁰

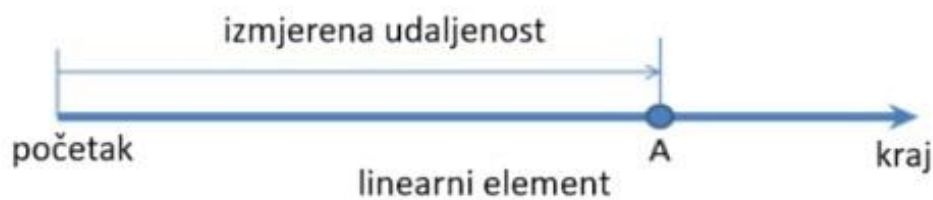
Linearna referentna metoda (LRM) definira specifičan način na koji se opisuju lokacije duž linearnih geografskih obilježja kao što su ceste, željeznice i autobusne rute. Same značajke ne moraju biti kao linearna geometrija, LRM mora podržavati mjerenja u a jednodimenzionalni linearni smisao. S vremenom se pojam LRM počeo odnositi na mjerenja u stvarnom svijetu uz korištenje različitih instrumenata (npr. elektroničko mjerenje udaljenosti ili brojači kilometara)

¹⁰ All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014., pp 46

a također se odnosi na mjerenja uzduž kartografskih linearnih obilježja (npr. polilinije, krivulje i usmjereni rubovi) pomoću specijaliziranih algoritama geoprostornog softvera.

Prema Međunarodnoj organizaciji za standardizaciju (eng. *International Organization for Standardization* – ISO) u standardu o linearnom referenciranju je dokumentirano da se svi LRM-ovi mogu okarakterizirati prema jednom od tri tipa: apsolutnom, relativnom i interpolativnom.

Apsolutne metode mjere ukupnu udaljenost od početka segmenta do događaja kao što je prikazano slikom 10.



Slika 10. Apsolutni LRM

Izvor: All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014., pp 46

Relativne metode lociraju događaje prema njihovoj udaljenosti od poznate referentne lokacije kao što je prikazano slikom 11.



Slika 11. Relativni LRM

Izvor: All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014., pp 47

Interpolativne (tj. proporcionalne) metode, prikazane slikom 12, mjere udaljenost kao udio cijele udaljenosti presjeka. Primjeri uključuju postotke, normalizirane i M vrijednosti.



Slika 12. Interpolativni LRM

Izvor: All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014., pp 47

2.6. Geometrija ceste

Unošenje geometrije ceste u linearni referentni sustav provodi se na različite načine.

2.6.1. Segmentacija kolnika

Segmentacija kolnika, odnosno prikazivanje fizičkog početka, kraja i duljine svakog segmenta, može biti obavljena pomoću jedne ili više metoda:¹¹

1. na temelju raskrižja (segmentirano)
2. na temelju rute.

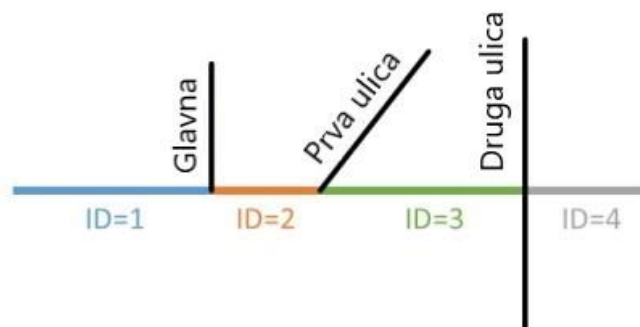
U idealnom slučaju trebalo bi kombinirati obje metode kako bi se zadovoljile višestruke potrebe.

2.6.1.1. Segmentacija na temelju raskrižja

Segmentacija koja se temelji na raskrižjima ili segmentacija promjenjive duljine definirana je krajnjim točkama segmenta koji se javljaju na geometrijskim ili fizičkim raskrižjima središnjih linija dviju ili više cesta. Rute su definirane pridruživanjem segmenata u logičkom redoslijedu od/do čvora kao što je prikazano slikom 13. Prednost korištenja segmentirane mreže je da su ažuriranja geometrije segmenta lokalna i ograničeni u svojim kaskadnim učincima. Osim toga, mreže koje se temelje na raskrižju mogu podržavati detalje kao što su jednosmjerne ulice i ograničenja skretanja na raskrižjima. Nedostatak je što segmentirana mreža može postati vrlo velika i zahtjevna za održavanje na državnoj razini, posebno ako postoji jedan ili više LRM-ova definiranih za mrežu.¹²

¹¹ All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014., pp 51

¹² Ibid, pp 51

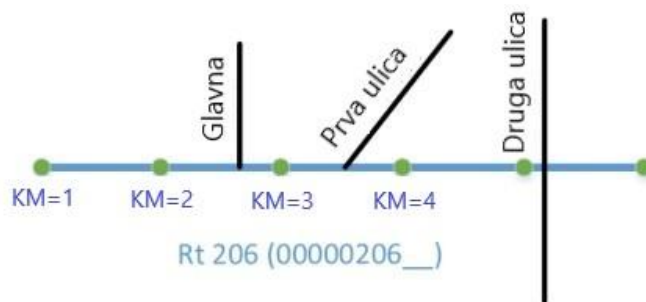


Slika 13. Segmentacija na temelju raskrižja

Izvor: All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014., pp 52

2.6.1.2. Segmentacija na temelju rute

Uobičajena alternativa segmentaciji na temelju raskrižja je stvaranje dugih polilinija koje predstavljaju cijelu duljinu rute i indeksiranje različitih točaka duž rute pomoću jedne ili više linearnih referentnih metoda kao što je prikazano slikom 14. Prednost korištenja segmentacije na temelju rute je ta što se obično usklađuje s naslijeđenih državnih sustava i zahtijeva mnogo manje segmenata ceste u GIS sustavu za upravljanje. Nedostaci uključuju kompleksnost usmjeravanja, rangiranja adresa i zahtjeva dobro definirani LRM za dodjelu atributa kolnika. Ovaj pristup također zahtijeva temeljnu bazu podataka ili softver koji podržava neku vrstu funkcionalnosti "dinamičke segmentacije".¹³



Slika 14. Segmentiranje na temelju rute

Izvor: All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014., pp 52

2.6.2. Dvostruki kolnici

Dvostruki kolnici za cestu obično uključuju fizički podijeljeni kolnik koji zahtijeva dvije ili više linija za adekvatno modeliranje cesta koje su previše kompleksne za prikazivanje jednom linijom. Prikaz sa više linija pruža visoku točnost u predstavljanju stvarnih elemenata kolnika,

¹³Ibid, pp 52

ali zahtijeva dodatnu složenost prilikom obrade i upravljanja podacima o prometnici. Slika 15 prikazuje kako bi dvostruki kolnik točno odražavao geometriju ceste, za razliku od jednostrukog.



Slika 15. Razlika između jednostrukog i dvostrukog prikaza kolnika

Izvor: All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014., pp 54

2.6.3. Kružni tokovi

Kružni tokovi su se transportnim poduzećima pokazali kao izazov u GIS-u. Kružni tok predstavlja raskrižje dviju ili više prometnica u razini. Definiranje tih raskrižja u GIS-u i ispunjenje zahtjeva LRS-a postaje znatno zahtjevnije.¹⁴

Zbog složene prirode ispreplitanja kružnih tokova na različitim prometnicama, postoje alternativni načini rukovanja u različitim situacijama. Ovisno o individualnim potrebama sustava, modeliranje kružnih tokova odvija se na sljedeće načine: spajanje segmenata od slučaja do slučaja ili pojednostavljene konfiguracije.

¹⁴ All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014., pp 58

2.6.3.1. Spajanje segmenata od slučaja do slučaja

Budući da mnogi kružni tokovi nisu savršeno simetrični, svaki se može modelirati od slučaja do slučaja, s ciljem minimiziranja preklapanja segmenata i segmentacije rute, minimiziranja prekida za rutu najvišeg reda koja ulazi/izlazi iz kružnog toka i definira rampe gdje je to potrebno. Slika 16 prikazuje primjer ove vrste složene konfiguracije.

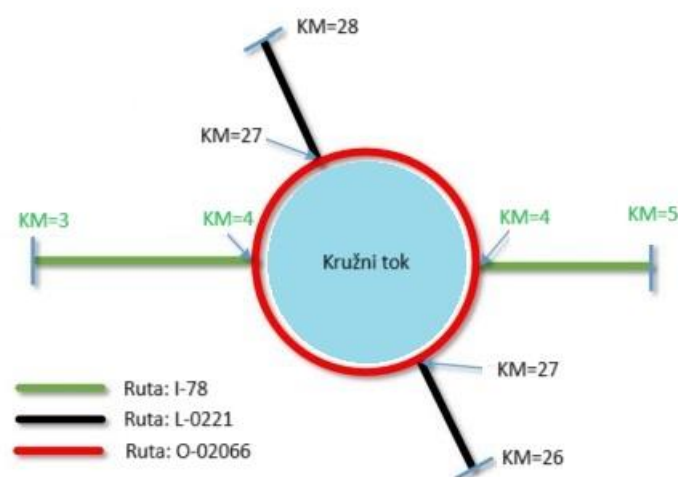


Slika 16. Prikaz složene konfiguracije kružnog toka

Izvor: All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014., pp 60

2.6.3.2. Pojednostavljena konfiguracija

Netradicionalna metoda za prikazivanje manjih kružnih tokova, pri kojoj se kružni tok tretira kao posebna ruta, odvojena od ostalih. Ostalim je rutama prikazan prijelom segmenta, ali nema praznine u kilometrima u njihovom LRM-u kao što je vidljivo na slici 17.



Slika 17. Pojednostavljena konfiguracija kružnog toka

Izvor: All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014., pp 61

2.6.4. Rampe

Rampa se može definirati kao prometna građevina koja povezuje dvije ceste izvan razine bez presijecanja prometnih tokova. Rampama se općenito ne dodjeljuju nazivi glavnih cesta ili rasponi adresa, a obično imaju jedan smjer kretanja. Početne i završne lokacije rampe u GIS-u se obično definiraju na mjestu na kojem rampa tangira trase koje povezuje kao što je vidljivo na slici 18.¹⁵



Slika 18. Rampa

Izvor: All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014., pp 62

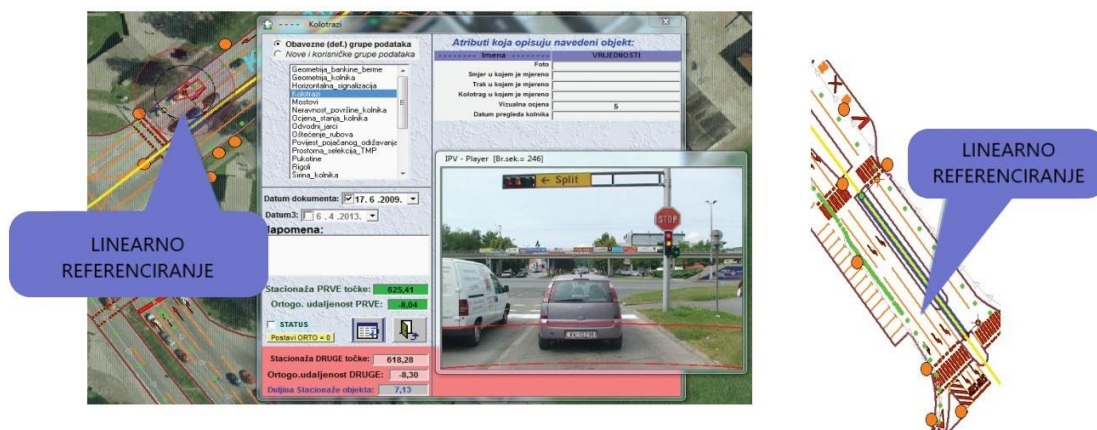
2.7. OptaGIS

OptaGIS je aplikacija posebno dizajnirana za testiranje, verifikaciju i validaciju algoritama za obradu podataka FCD-a. Aplikacija koristi prethodno učitane karte (navigacijsku kartu, topografske karte i digitalne ortofoto karte) i tematske podatke (identificiranje prometnih tokova).

Aplikacija omogućava jednostavno georeferenciranje video sadržaja dobivenog iz prometnog toka i mjerenje podataka dobivenih interpretacijom snimki. Omogućena je sinkronizacija s bazom podataka o cestovnoj infrastrukturi. Time se povećava efikasnost, poboljšava kvaliteta prikupljenih podataka i smanjuje vrijeme potrebno za unos podataka.

Slika 19 prikazuje primjer izvedenog linearnog referenciranja u aplikaciji OptaGIS koja je razvijena na Fakultetu prometnih znanosti.

¹⁵ All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014., pp 61



Slika 19. Linearno referenciranje podržano georeferenciranim videozapisom.

Izvor: Budimir D., Jelušić N., Perić M.: Floating Car Data Technology. Znanstveni rad, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci; 2019.

Ovim se pristupom vrijeme može jednostavno dodati u model podataka, olakšavajući time analizu. Osnovne značajke linearnog referenciranja primijenjene u prikupljanju, obradi i prikazu podataka o prometnim tokovima prezentacije su sljedeće:¹⁶

- Definiranje rute (jednostavna identifikacija rute)
 - Segmentiranje rute na dionice - podjela rute u više segmenata s početnim i završnim točkama.
- Dodjeljivanje vrijednosti duž rute (segmentima od – do)
 - Uspostavljanje odnosa prema stacionaži (lokalizacija objekta duž linearne geometrije).
 - Objedinjavanje geometrijskih podataka u cjelinu.
 - Mogućnost usklađivanja i preračunavanja stacionažnih koordinata u geokoordinate i obratno.
 - Grupiranje više značajki bez potrebe za segmentiranjem.
- Referenciranje obilježja primjenom tablica
 - Uspostavljanje odnosa između objekata koji nemaju geometriju prikladnu za segmente.
- Jednostavna prezentacija događaja na ruti (vizualizacija).

¹⁶ Budimir D., Jelušić N., Perić M.: Floating Car Data Technology. Znanstveni rad, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci; 2019.

GIS koji sadrži sloj s georeferenciranim videozapisom može u svrhu analize prometa omogućiti vozačevu perspektivu na infrastrukturu, pružajući uvjete koji se značajno razlikuju od onih prisutnih na licu mjesta (mogućnost zaustavljanja i ponavljanja scena). Omogućuje detaljniju analizu i bolju percepciju. Daljnjim razvojem georeferenciranog videozapisa i slične tehnologije, rastu nove mogućnosti ekstrakcije podataka, percepcije, istraživačkih metoda i stvarnovremenske analize prometa.

3. FUZIJA PODATAKA GNSS-A S PODACIMA U GIS SUČELJU

Brzo i pouzdano pozicioniranje uz zadovoljavajuću točnost i globalnu pokrivenost može se postići primjenom Globalnog satelitskog navigacijskog sustava (eng. *Global Navigation Satellite System* – GNSS). Najznačajniji predstavnici GNSS tehnologije su američki GPS (eng. *Global Positioning System*), Ruski GLONASS, europski Galileo i kineski Compass. Svi navedeni sustavi sastoje se od tri segmenta: svemirski (orbitalno-satelitski) segment, kontrolni segment (zemaljski) i korisnički segment (prijamnici). Za mjerenje udaljenosti koristi se radio signal male snage koji sadrži šifrirane podatke o vremenu slanja, na temelju kojih primatelj izračunava udaljenost do satelita i zatim vlastiti položaj ako postoje najmanje tri "vidljiva" satelita.¹⁷

3.1. Weibull-ova distribucija

Weibull-ova distribucija ima široku primjenu. Koristi se u tzv. teoriji životnog vijeka kao matematički model za opisivanje slučajnog vijeka trajanja nekog elementa (žarulje, otpornika, i sl.), u teoriji pouzdanosti, a ima široku upotrebu u kemiji, biologiji, medicini farmakologiji, šumarstvu i inženjerskim istraživanjima.¹⁸

Da bi bilo moguće procijeniti parametre prvo je potrebno definirati kada neka slučajna varijabla ima Weibull-ovu distribuciju.

Slučajna varijabla X ima troparametarsku Weibull-ovu distribuciju s parametrima $c > 0$, $\alpha > 0$, $\xi_0 > 0$ ako slučajna varijabla Y : [1]

$$Y = \left(\frac{X-\xi_0}{\alpha}\right)^c \quad [1]$$

ima standardnu eksponencijalnu distribuciju s funkcijom gustoće: [2]

$$f_Y(y) = e^{-y}, y > 0 \quad [2]$$

i funkcijom distribucije: [3]

$$F_Y(y) = 1 - e^{-y}, y > 0 \quad [3]$$

Funkcija distribucije troparametarske Weibull-ove slučajne varijable X definirana je s: [4]

¹⁷ Budimir D., Jelušić N., Perić M.: *Floating Car Data Technology*. Znanstveni rad, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci; 2019.

¹⁸ Bulić A.: *Procjena parametara Weibullove distribucije*. Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku; 2016.

$$F_X(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\xi_0}{\alpha}\right)^c}, x > \xi_0 \quad [4]$$

Funkciju gustoće troparametarske Weibull-ove slučajne varijable X dobijemo: [5]

$$\begin{aligned} f_X(x) &= \frac{dF_X(x)}{dx} \\ &= -e^{-\left(\frac{x-\xi_0}{\alpha}\right)^c} (-c) \left(\frac{x-\xi_0}{\alpha}\right)^{(c-1)} \frac{1}{\alpha} \\ &= \left(\frac{c}{\alpha}\right) \left(\frac{x-\xi_0}{\alpha}\right)^{(c-1)} e^{-\left(\frac{x-\xi_0}{\alpha}\right)^c} \end{aligned} \quad [5]$$

Funkcija gustoće slučajne varijable X koja ima troparametarsku Weibull-ovu distribuciju definirana je sa: [6]

$$f_X(x) = \left(\frac{c}{\alpha}\right) \left(\frac{x-\xi_0}{\alpha}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x-\xi_0}{\alpha}\right)^c}, x > \xi_0 \quad [6]$$

gdje se parametar ξ_0 naziva parametar položaja (engl. the location parameter), parametar α parametar skaliranja (engl. the scale parameter) i parametar c parametar oblika (engl. the shape parameter).¹⁹

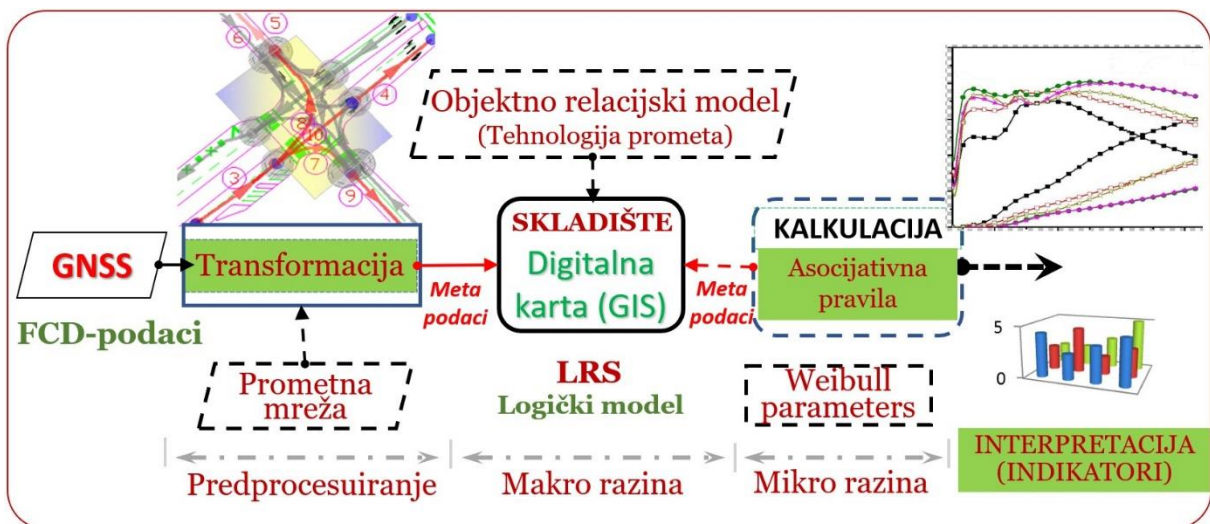
Oznaka $X \sim W(c, \xi_0, \alpha)$.

3.2. Proces transformacije FCD podataka u parametre Weibullove distribucije

Fuzija FCD-podataka s podacima modela prometnih tokova (LRS-a) omogućila je Weibullovu analizu kojom se oslanja na izračun parametara temeljem kojih možemo interpretirati FCD-podatke kao indikatore. Slikom 20 prikazan je model obrade FCD-podataka kroz tri faze obrade.²⁰

¹⁹ Bulić A.: Procjena parametara Weibullove distribucije. Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku; 2016.

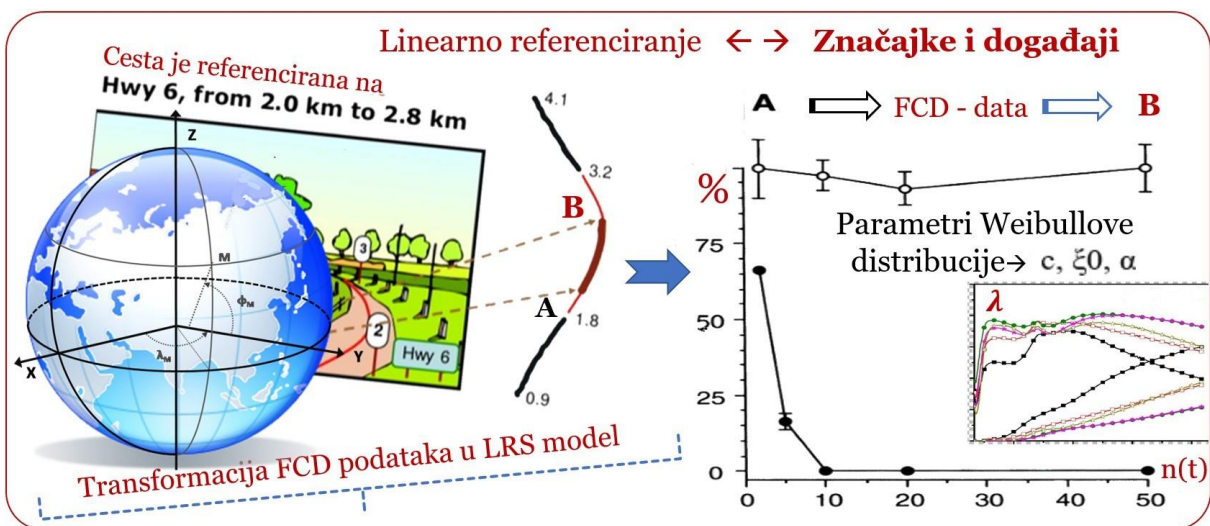
²⁰ Budimir D, Šoštarić M., Zeljko I. Evaluation of vehicle flow indicators based on FCD data and Weibull distribution. Znanstveni rad, 16th Baška GNSS Conference; 2023.



Slika 20. Model obrade FCD podataka kroz tri faze

Izvor: Budimir D, Šošćarić M., Zeljko I. Evaluation of vehicle flow indicators based on FCD data and Weibull distribution. Znanstveni rad, 16th Baška GNSS Conference; 2023.

Na slici 21 prikazan je proces transformacije FCD-podataka u parametre Weibull-ove distribucije koji aproksimiraju gustoću pojavljivanja FCD-podataka na dijelovima prometne mreže i time su se pokazali pogodnima za skladištenje podataka (jer dva ili tri parametra zamjenjuju veći broj FCD-podataka) i za detekciju prometnog toka kroz definirane indikatore.



Slika 21. Proces transformacije FCD podataka u parametre Weibull-ove distribucije

Izvor: Budimir D, Šošćarić M., Zeljko I. Evaluation of vehicle flow indicators based on FCD data and Weibull distribution. Znanstveni rad, 16th Baška GNSS Conference; 2023.

Transformacijom podataka GNSS-a u parametre omogućava se identificiranje stanja prometnog toka specifično za svaku FCD-putanju na lokaciji; primjerice kroz raskrižje gdje je pod

utjecajem drugi prometnih tokova (ulijevanja i odlijevanja, a posebice presijecanja prometnih tokova na samom raskrižju).

Definiranjem intervalnih vrijednosti definiraju se indikatori pomoću OptaGIS aplikacije, odnosno na osnovu georeferenciranog videozapisa. Dakle, vrijednosti parametara Weibull-ove distribucije ukazuju na indikator prometnog toka koji je specifičan za lokaciju.

4. INDIKATORI PROMETNOG TOKA

Prometni tok je istovremeno kretanje vozila na putu u određenom poretku. Za opisivanje prometnih tokova i zakonitosti kretanja motornih vozila u prometnim tokovima na cestovnim prometnicama potrebno je definirati pokazatelje. U teoriji prometnog toka ti se pokazatelji nazivaju osnovnim parametri ili osnovnim veličinama prometnog toka. Razlika između uvjeta kretanja vozila u prometnim tokovima u odnosu na uvjete kretanja pojedinačnog vozila je što u prometnom toku na kretanje vozila djeluje i međusobna interakcija vozila. Glavni pokazatelji za opisivanje prometnih tokova su: ²¹

1. protok vozila, q
2. gustoća prometnog toka, g
3. brzina prometnog toka, v
4. vrijeme putovanja vozila u toku, t
5. jedinično vrijeme putovanja vozila u toku
6. vremenski interval slijeđenja vozila u toku
7. razmak slijeđenja vozila u toku, s

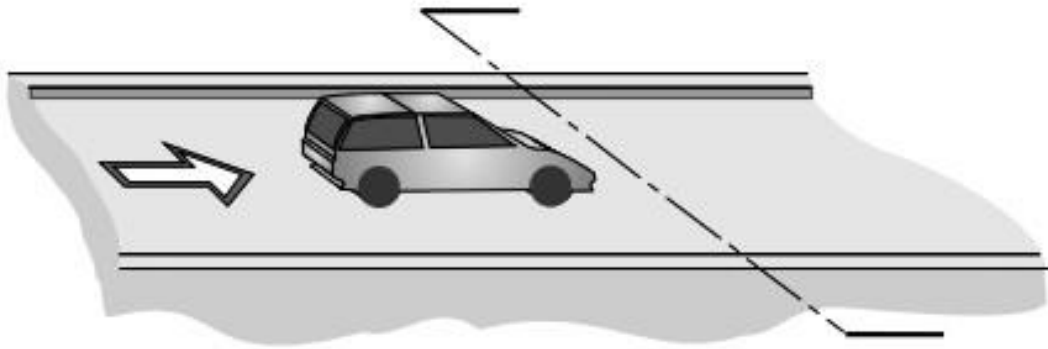
4.1. Protok vozila

Protok vozila predstavlja broj vozila koja prođu kroz promatrani presjek prometnice u jedinici vremena u jednom smjeru za jednosmjerne prometnice ili u oba smjera za dvosmjerne prometnice. Ovisno o načinu promatranja u odnosu na prostor razlikuje se:²²

a) protok vozila na presjeku (dijela ili dionice) ceste prikazan slikom 22 predstavlja protok koji se ostvaruje na promatranom presjeku (dijela ili dionice) ceste u jedinici vremena.

²¹ Dadić I., Kos G., Ševrović M.: Teorija prometnog toka. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2014.

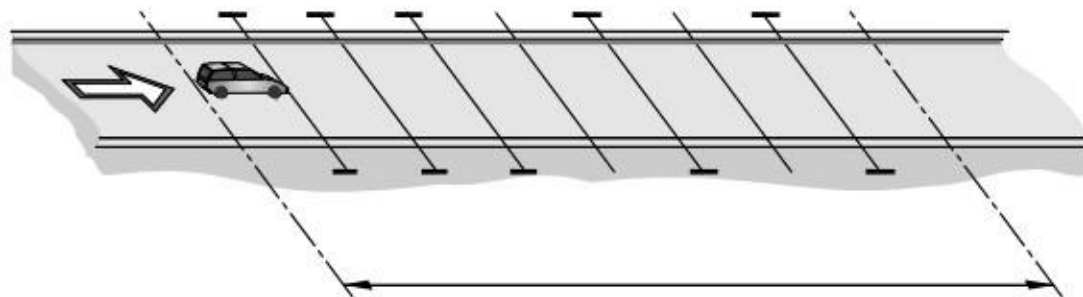
²² Ibid



Slika 22. Protok vozila na presjeku

Izvor: Dadić I., Kos G., Ševrović M.: Teorija prometnog toka. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2014.

b) protok vozila na dijelu ili dionici ceste prikazan slikom 23 predstavlja aritmetičku sredinu protoka na n - presjeka na dijelu ili prometnoj dionici, gdje $n \rightarrow \infty$.



Slika 23. Protok vozila na dionici

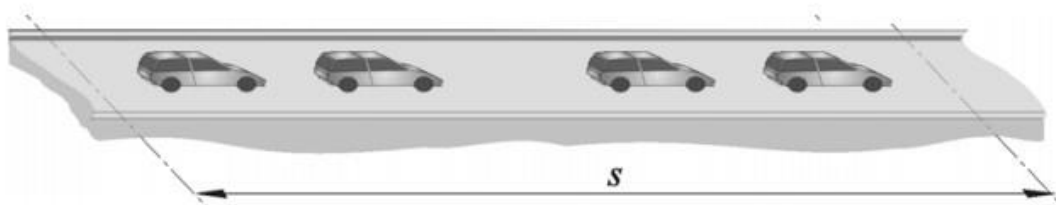
Izvor: Dadić I., Kos G., Ševrović M.: Teorija prometnog toka. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2014.

Relacije se odnose na protok na dijelu u jednom pravcu u jednom nizu i u jednom smjeru. Osnovna jedinica za iskazivanje protoka vozila je broj vozila u jednom satu (voz/h). U praksi se koriste i veće vremenske jedinice od jednog sata, kao što je dan (voz/24h). Osnovni simbol za označavanje protoka je q (voz/h). Koriste se i sljedeći simboli:

- PGDP (prosječni godišnji dnevni promet, voz/dan)
- PDP (prosječni dnevni promet, voz/24h)
- DP (dnevni promet, voz/24h).

4.2. Gustoća prometnog toka

Gustoća prometnog toka je broj vozila na jedinici duljine prometnice, po prometnoj traci, po smjerovima za jednosmjerne prometnice, odnosno u oba smjera za dvosmjerne prometnice kao što je prikazano slikom 24. Gustoća je prostorno vezana za odsjek ili prometnu dionicu, a vremenski za trenutno stanje.²³



Slika 24. Gustoća prometnog toka

Izvor: Dadić I., Kos G., Ševrović M.: Teorija prometnog toka. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2014.

S obzirom na vremenski period u kojem se promatra, gustoća prometnog toka može predstavljati:

Broj vozila po jedinici dužine promatranog odsjeka (dionice) u trenutku promatranja g (voz/km). [7]

$$g = \frac{N}{s} \left[\frac{\text{voz}}{\text{km}} \right] \quad [7]$$

- N - broj vozila u prometnom toku na promatranom dijelu puta u određenom trenutku,
- s - duljina dijela u kilometrima.

Broj vozila po jedinici duljine promatranog dijela (dionice) kao aritmetička sredina više trenutnih promatranja u nekom vremenskom periodu.

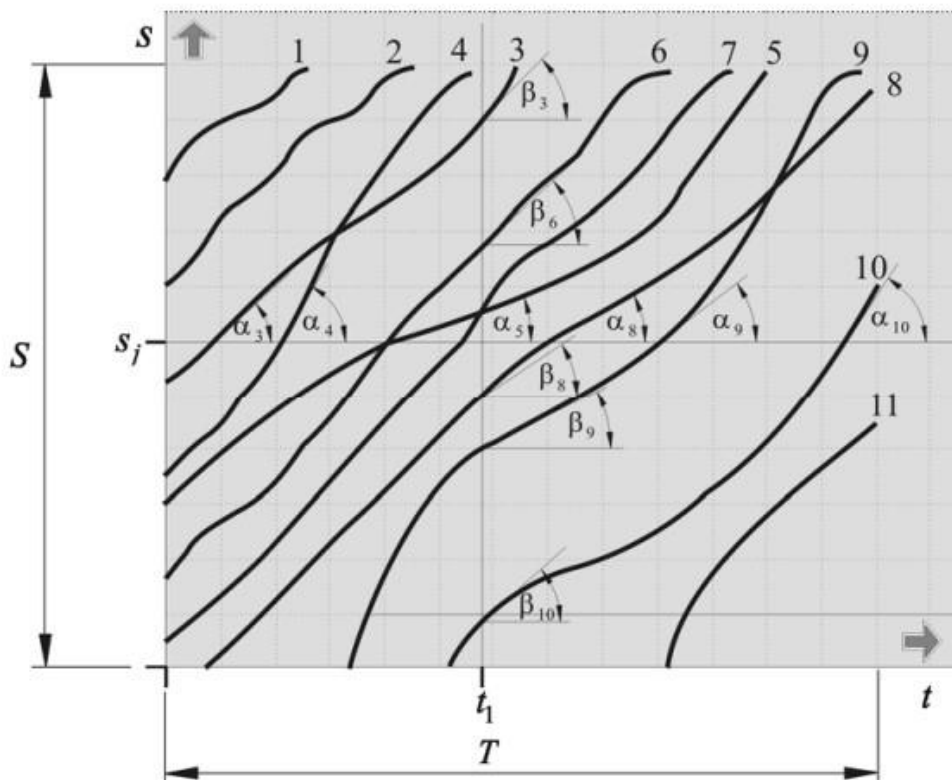
4.3. Brzina prometnog toka

Pod pojmom brzine toka eksplicitno se misli na određenu srednju vrijednost brzina svih vozila koja sudjeluju u promatranom toku. Brzine prometnog toka u prostoru i vremenu prikazane su slikom 25. Ovisno o načinu promatranja protoka u odnosu na prostor i vrijeme, te s obzirom na značenje pojmova protoka vozila i gustoće toka, uspostavljena su dva pojma za definiranje

²³ Dadić I., Kos G., Ševrović M.: Teorija prometnog toka. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2014.

brzine prometnog toka kao odgovarajuće srednje vrijednosti brzina svih vozila koja čine promatrani tok. Ti pojmovi su:²⁴

- srednja prostorna brzina toka, koja je analogno gustoći prostorno vezana za odsjek puta (S), a vremenski za trenutak.
- srednja vremenska brzina toka, koja je analogno protoku vozila prostorno vezana za presjek puta, a vremenski za period promatranja (T).



Slika 25. Brzina prometnog toka u prostoru i vremenu

Izvor: Dadić I., Kos G., Ševrović M.: Teorija prometnog toka. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2014.

U cilju ilustracije razlika u načinu promatranja brzine prometnog toka s gledišta prostora i vremena prikazane su sljedeće putanje kretanja vozila na odsjeku S u periodu vremena T i dva aspekta promatranja brzina: tzv. trenutno promatranje na odsjeku i tzv. lokalno promatranje na presjeku.

Trenutno promatranje na odsjeku S koje dovodi do srednje prostorne brzine: [8]

²⁴ Dadić I., Kos G., Ševrović M.: Teorija prometnog toka. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2014.

$$\bar{v}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n tg\beta_i \quad [8]$$

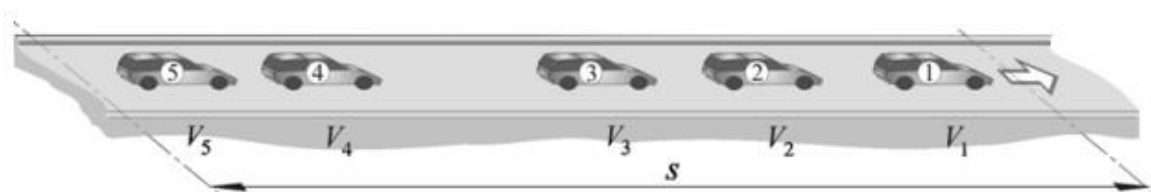
Lokalno promatranje u vremenu T koje dovodi do srednje vremenske brzine: [9]

$$\bar{v}_t = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m tg\alpha_i \quad [9]$$

4.3.1. Srednja prostorna brzina prometnog toka

Srednja prostorna brzina prometnog toka prikazana slikom 26 predstavlja aritmetičku sredinu trenutnih brzina svih vozila u prometnom toku na promatranom odsjeku puta. [10] Ova brzina se još naziva i srednjom trenutnom brzinom. Ona sa gledišta prostornog promatranja predstavlja brzinu na dionici ceste, a sa gledišta vremenskog promatranja predstavlja trenutnu brzinu toka. U stručnoj literaturi se mjerenje srednje prostorne brzine naziva trenutnim promatranjem (mjerenjem) na odsjeku puta.²⁵

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad [10]$$



Slika 26. Srednja prostorna brzina.

Izvor: Dadić I., Kos G., Ševrović M.: Teorija prometnog toka. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2014.

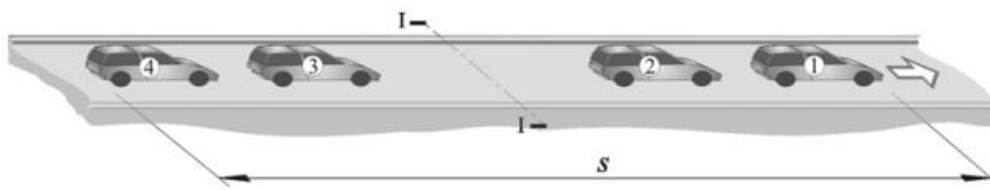
4.3.2. Srednja vremenska brzina prometnog toka

Srednja vremenska brzina prometnog toka prikazana slikom 27 predstavlja aritmetičku sredinu brzina svih vozila u prometnom toku koja prolaze kroz promatrani presjek puta, u određenom vremenskom periodu.²⁶[11]

$$\bar{v}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i \quad [11]$$

²⁵ Dadić I., Kos G., Ševrović M.: Teorija prometnog toka. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2014.

²⁶ Ibid



Slika 27. Srednja vremenska brzina

Izvor: Dadić I., Kos G., Ševrović M.: Teorija prometnog toka. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2014.

Mjerenje brzina vozila na promatranom presjeku puta, kao i utvrđivanje srednje vremenske brzine prometnog toka, u stručnoj literaturi se naziva lokalno mjerenje ili promatranje.

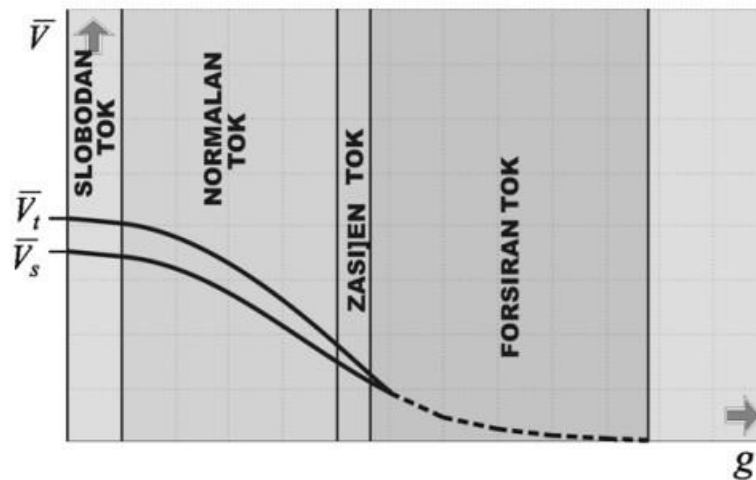
4.3.3. Brzina prometnog toka s obzirom na vrste prometnih tokova

U ovisnosti o uvjetima kretanja vozila u prometnom toku s obzirom na stupanj interakcijskog utjecaja pri približno idealnim prometnim uvjetima srednja prostorna i srednja vremenska brzina prometnog toka dobivaju slijedeće specifične nazive:²⁷

1. **brzina slobodnog toka**; vezana je za slobodan tok i podrazumijeva da se sva vozila u prometnom toku na promatranom odsjeku kreću u identičnim ili bliskim uvjetima kretanja koja odgovaraju kretanju pojedinačnih vozila na dotičnom odsjeku v_s i v_t .
2. **brzina normalnog toka** (stabilan, polustabilan i nestabilan); pojam brzine normalnog toka vezan je za stabilan, polustabilan i nestabilan prometni tok u kome na uvjete kretanja vozila djeluje i interakcija između vozila u toku v_s i v_t .
3. **brzina zasićenog toka**, tzv. brzina pri kapacitetu; vezana je uz zasićen prometni tok u kome se sva vozila kreću uz potpuno ili približno potpuno djelovanje interakcije između vozila u toku. U uvjetima zasićenog toka sva vozila se kreću približno istom brzinom (v_{ZT}), što znači da ne postoji gotovo nikakva kvantitativna razlika između srednje prostorne i srednje vremenske brzine prometnog toka. Znači, pri zasićenom toku vrijedi uvjet da je: $\overline{v_{ZT}} \cong \overline{v_s} \cong \overline{v_t}$
4. **brzina forsiranog (prisilnog) toka**, pojam brzine forsiranog toka vezan je za forsiranprisilni prometni tok. U uvjetima forsiranog (prisilnog) toka vozila se kreću približno istom brzinom koja, promatrana u prostoru i vremenu, oscilira između vrijednosti v_{ZT} i 0. Znači, pri zasićenom toku važi uvjet da je $v_f < v_{ZT}$.

²⁷ Dadić I., Kos G., Ševrović M.: Teorija prometnog toka. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2014.

Slikom 28 prikazane su srednja prostorne i vremenske brzine u različitim uvjetima odvijanja prometnih tokova.



Slika 28. Prikaz srednje prostorne i vremenske brzine u različitim uvjetima odvijanja prometnih tokova

Izvor: Dadić I., Kos G., Ševrović M.: Teorija prometnog toka. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2014.

4.4. Interval slijeđenja vozila

Interval slijeđenja vozila u prometnom toku predstavlja vrijeme između prolaska dva uzastopna vozila kroz zamišljeni presjek promatranog odsjeka puta (čeonni prolazak vozila). Ovisno o načinu promatranja toka u odnosu na prostor i vrijeme razlikuje se:²⁸

- interval praćenja pojedinačno za N vozila koja u periodu vremena T prođu promatrani presjek (odsjeka ili dionica) puta,
- srednju vrijednost intervala praćenja na promatranom presjeku puta za N vozila u vremenu T ,
- interval slijeđenja na dionici puta, kao aritmetički prosjek srednjih vrijednosti intervala praćenja na m promatranih presjeka puta u vremenu T .

Interval praćenja vozila na presjeku puta predstavlja vrijeme prolaska prednjeg dijela uzastopnih vozila preko promatranog presjeka puta. Interval praćenja na odsjeku ili dionici puta predstavlja aritmetičku sredinu intervala praćenja na n - presjeka odsjeka ili dionice za promatrani tok. Osnovna jedinica za iskazivanje intervala praćenja vozila je sekunda. Najčešći

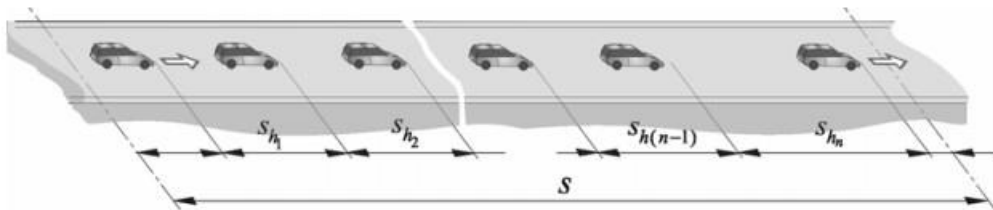
²⁸ Dadić I., Kos G., Ševrović M.: Teorija prometnog toka. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2014.

simbol za označavanje intervala praćenja vozila je t_h . Interval praćenja vozila ima veliki značaj za opisivanje uvjeta odvijanja prometa na cestama kao osnovni indikator kvalitete prometnog toka.

4.5. Razmak u slijeđenju vozila

Razmak slijeđenja vozila predstavlja prostorni razmak između dva uzastopna vozila u prometnom toku i najčešće se označava sa S_h , a izražava u metrima. Razmak u praćenju predstavlja srednju vrijednost svih razmaka praćenja između uzastopnih vozila u određenom toku na promatranom odsjeku ili dionici puta. Razlikuju se:²⁹

- a) udaljenosti između pojedinih vozila u prometom toku koja su se našla u određenom trenutku na promatranom odsjeku ili dionici puta prikazane slikom 29; S_{hi} , gdje je $i = 1, 2, \dots, n$.



Slika 29. Razmaci u slijeđenju vozila

Izvor: Dadić I., Kos G., Ševrović M.: Teorija prometnog toka. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2014.

- b) srednja vrijednost trenutnih razmaka između svih vozila u prometnom toku koja su se našla u određenom trenutku na promatranom odsjeku ili dionici puta $\overline{S_h}$.
- c) aritmetički prosjek m -srednjih trenutnih razmaka utvrđenih na promatranom odsjeku u periodu vremena T .

²⁹ Dadić I., Kos G., Ševrović M.: Teorija prometnog toka. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2014.

5. EVALUACIJA INDIKATORA PROMETNIH TOKOVA ZASNOVANA NA WEIBULL-OVOJ DISTRIBUCIJI

Digitalni otisak koji ostavlja FCD trag može se prepoznati kroz parametre Weibull-ove distribucije (parametarske funkcije gustoće FCD-podataka na dijelu prometne mreže) na LRS-u (modelu prometne mreže, koji se značajno razlikuje od modela koji se koristi u teoriji grafova za primjerice izračun najmanje udaljenosti između dvije točke na prometnoj mreži) kao indikator prometnog toka.

Značajno je za primijetiti da se pojavljivanje točki (GNSS-podaci) nepredvidivo te je i sam intenzitet pojavljivanja slučajna varijabla. Vjerojatnost pojavljivanja $R(t)$ može se korelirati s indikatorima tj. očekivanim vrijednostima koje opisuju prometni tok.

5.1. Funkcija intenziteta pojavljivanja točki $\lambda(t)$ – INDIKATOR

Ukupan broj točki n odgovara vremenu zadržavanja na dionici. $R(t)$ – položaj točke na segmentu LRS-a (vjerojatnost položaja) [12]

$$R(t) = \frac{n(t)}{n} = \frac{n-N(t)}{n} = 1 - \frac{N(t)}{n} \quad [12]$$

Diferenciranjem se dobije: [13]

$$\frac{dR(t)}{dt} = -\frac{1}{n} \frac{dN(t)}{dt} \quad [13]$$

Množenjem s n i dijeljenjem s $n(t)$ slijedi: [14]

$$\begin{aligned} \frac{n}{n(t)} \frac{dR(t)}{dt} &= -\frac{1}{n(t)} \frac{dN(t)}{dt} \\ -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} &= \frac{1}{n(t)} \frac{dN(t)}{dt} \end{aligned} \quad [14]$$

n – ukupan broj GNSS točki na dionici

$N(t)$ – preostali broj točki od trenutka t

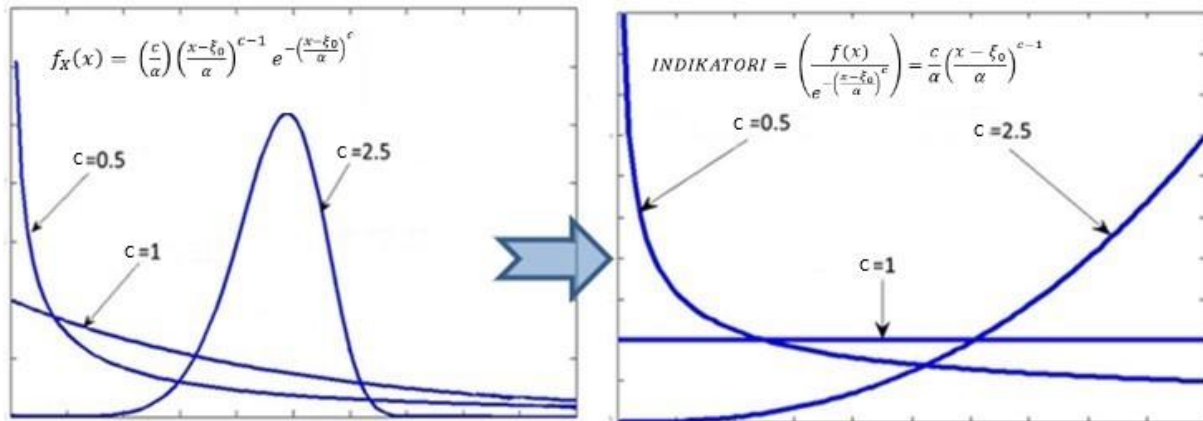
$n(t)$ – broj pojavljivanja točki od trenutka promatranja do trenutka t .

Ljeva i desna strana su izrazi za funkciju intenziteta pojavljivanja točki $\lambda(t)$ pa je: [15]

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} \rightarrow \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad [15]$$

5.2. Primjer promjene jednog parametra

Slikom je prikazana funkcija intenziteta pojavljivanja FCD-podataka (funkcija indikatora) koja odgovara tipičnim funkcijama gustoće FCD-podataka. Prikazan je primjer promjene jednog parametra, dakle parametra c (parametar oblika) koji ukazuje ako je $c=1$ na konstantnu gustoću pojavljivanja, ako je manji od 1 $c<1$ na padajuću gustoću i ako je $c>1$ na rastuću gustoću.³⁰



Slika 30. Primjer promjene jednog parametra Weibullove distribucije

Izvor: Budimir D, Šošćarić M., Zeljko I. Evaluation of vehicle flow indicators based on FCD data and Weibull distribution. Znanstveni rad, 16th Baška GNSS Conference; 2023.

5.3. Georeferencirani videozapis

Georeferenciranje predstavlja postupak dodjeljivanja geografskih koordinata prostorno orijentiranim informacijama ili objektima. U cestovnom prometu georeferencirani video omogućava pogled na infrastrukturu iz vozačeve perspektive u laboratorijskim uvjetima koji su bitno različiti od uvjeta na terenu, čime je omogućena detaljniju analizu i olakšana percepciju predmetnog istraživanja.

Digitalni videozapis sačinjen je od slijeda grupiranih informacija koje se nazivaju okviri (eng. frame) s unaprijed utvrđenim, vrlo kratkim, vremenskim razmakom slijeđenja. Taj elementarni element videozapisa može se promatrati kao jedinstvena cjelina koja postoji u sve četiri dimenzije. Dodjeljivanjem geografskih koordinata svakom zasebnom okviru moguće je izvršiti georeferenciranje videozapisa. Georeferenciranje videozapisa moguće je automatizirati

³⁰ Budimir D, Šošćarić M., Zeljko I. Evaluation of vehicle flow indicators based on FCD data and Weibull distribution. Znanstveni rad, 16th Baška GNSS Conference; 2023.

korištenjem sustava satelitske radionavigacije s aplikativnim softverom za snimanje videozapisa.³¹

Validacija i verifikacija rezultata istraživanja ostvarena je uz mogućnost vizualizacije u aplikaciji OptaGIS koja je prikazana slikom. Pored mogućnosti fuzije podataka u sustav LRS-a ovom aplikacijom omogućena je i vizualizacija podataka kao i mjerenja te različite komparacije podataka.



Slika 31. Sučelje OptaGIS aplikacije

Izvor: Budimir D, Šošćarić M., Zeljko I. Evaluation of vehicle flow indicators based on FCD data and Weibull distribution. Znanstveni rad, 16th Baška GNSS Conference; 2023.

³¹ Brlek P. Metoda sanacije opasnih mjesta na cestama uz pomoć georeferenciranog videozapisa. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2017.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisana je i provedena fuzija heterogenih podataka (prostornih, odnosno LRS podataka i senzorskih, odnosno FCD-podataka). Fuzija podataka je formalni okvir u kojem su navedena sredstva i alati za evaluaciju podataka nastalih FCD tehnologijom prikupljanja.

Fuzija FCD-podataka je nužna jer „sirovi“ FCD-podaci ne sadržavaju prometne indikatore. Fuzija FCD-podataka s podacima modela prometnih tokova (LRS-a) omogućila je „Weibull-ovu analizu“ koja se oslanja na izračun parametara temeljem kojih se može interpretirati FCD-podatke kao indikatore. Parametri Weibull-ove distribucije pokazali su se pogodnima za skladištenje i za detekciju prometnog toka kroz definirane indikatore.

OptaGIS aplikacijom, odnosno na osnovu georeferenciranog videozapisa definirane su intervalne vrijednosti kojima se definiraju indikatori. Dakle, vrijednosti parametara Weibull-ove distribucije ukazuju na indikator prometnog toka koji je specifičan za lokaciju.

Validacija i verifikacija dobivenih rezultata ostvarena je uz mogućnost vizualizacije u aplikaciji OptaGIS. Uz mogućnost fuzije podataka u sustav LRS-a ovom je aplikacijom omogućena i vizualizacija podataka kao i mjerenja te različite komparacije podataka.

LITERATURA

1. All public roads geospatial representation study. Federal Highway Administration; 2014.
2. Budimir D., Jelušić N., Perić M.: Floating Car Data Technology. Znanstveni rad, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci; 2019.
3. Budimir D, Šoštarić M., Zeljko I. Evaluation of vehicle flow indicators based on FCD data and Weibull distribution. Znanstveni rad, 16th Baška GNSS Conference; 2023.
4. Dadić I., Kos G., Ševrović M.: Teorija prometnog toka. Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; 2014.
5. FMLC. Preuzeto sa: <https://fmlc.com.hr/sto-je-to-geografski-informacijski-sustav-gis/> [Pristupljeno 12. srpnja 2023.]
6. Urban planning 4 citizens. Preuzeto sa: https://www.up4c.eu/wp-up4c/wp-content/uploads/2015/02/gis_osnove.pdf [Pristupljeno 12. srpnja 2023.]

POPIS SLIKA:

Slika 1. Vektorski i rasterski prikaz stvarnog svijeta	3
Slika 2. Primjer atributne tablice	4
Slika 3. Sustav za prikupljanje podataka o vozilu	5
Slika 4. Prostorni i vremenski aspekt proširenog FCD-a	6
Slika 5. Prikaz razvoja tehnologije mobilnog prijenosa podataka	6
Slika 6. Primjena Bluetooth tehnologije u FCD sustavu	7
Slika 7. Ilustracija profila brzine na osnovu FCD podataka.....	8
Slika 8. Primjer geometrije osnovne središnje crte.....	9
Slika 9. Primjer osnovne geometrije sa LRS događajima	10
Slika 10. Apolutni LRM	11
Slika 11. Relativni LRM	11
Slika 12. Interpolativni LRM	12
Slika 13. Segmentacija na temelju raskrižja.....	13
Slika 14. Segmentiranje na temelju rute	13
Slika 15. Razlika između jednostrukog i dvostrukog prikaza kolnika.....	14
Slika 16. Prikaz složene konfiguracije kružnog toka	15
Slika 17. Pojednostavljena konfiguracija kružnog toka	15
Slika 18. Rampa.....	16
Slika 19. Linearno referenciranje podržano georeferenciranim videozapisom.	17
Slika 20. Model obrade FCD podataka kroz tri faze	21
Slika 21. Proces transformacije FCD podataka u parametre Weibull-ove distribucije..	21
Slika 22. Protok vozila na presjeku	24
Slika 23. Protok vozila na dionici.....	24
Slika 24. Gustoća prometnog toka	25
Slika 25. Brzina prometnog toka u prostoru i vremenu	26
Slika 26. Srednja prostorna brzina.....	27
Slika 27. Srednja vremenska brzina	28
Slika 28. Prikaz srednje prostorne i vremenske brzine u različitim uvjetima odvijanja prometnih tokova	29
Slika 29. Razmaci u slijedenju vozila	30
Slika 30. Primjer promjene jednog parametra Weibullove distribucije.....	32
Slika 31. Sučelje OptaGIS aplikacije.....	33

Izjava o akademskoj čestitosti i suglasnosti

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

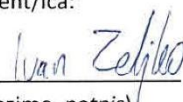
IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ diplomski rad
(vrsta rada)
isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom INDIKATORI PROMETNOG TOKA ZASNOVANI NA FCD-PODACIMA I WEIBULL-OVOJ DISTRIBUCIJI, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 11. rujna 2023.

Ivan Zeljko, 
(ime i prezime, potpis)