

Primjena računalnog vida za brojanje putnika u javnom gradskom prijevozu

Szabo, Robert

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:119:534479>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-15**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**PRIMJENA RAČUNALNOG VIDA ZA BROJANJE PUTNIKA
U JAVNOM GRADSKOM PRIJEVOZU
COMPUTER VISION APPLICATIONS IN PUBLIC
TRANSPORT PASSENGER COUNTING**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Grgurević

Student: Robert Szabo

JMBAG: 0135238650

Zagreb, srpanj 2022.

Zagreb, 27. travnja 2022.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Računalne mreže**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6950

Pristupnik: **Robert Szabo (0135238650)**
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Primjena računalnog vida za brojanje putnika u javnom gradskom prijevozu**

Opis zadatka:

U diplomskom radu potrebno je prepoznati i utvrditi važnost i načine brojanja putnika u javnom gradskom prijevozu. Opisati značajke računalnog vida. Prepoznati i opisati mogućnosti primjene računalnog vida u tehnologiji prometa i transporta. Navesti načine obrade i distribucije prikupljenih podataka. Analizirati i usporediti brojanje putnika korištenjem komunikacijskih tehnologija i računalnog vida.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

izv. prof. dr. sc. Ivan Grgurević

ZAHVALA

Zahvalio bih se najprije mentoru izv. prof. dr. sc. Ivanu Grgureviću na pomoći oko odabira teme za diplomski rad te izdvojenom vremenu oko pomoći pisanja istog.

Veliku zahvalu zaslužuju i moji prijatelji i kolege, koji su bili uz mene prilikom studiranja na Fakultetu prometnih znanosti. Na kraju bih se zahvalio svojoj obitelji, koji su cijelo vrijeme vjerovali u mene, poticali me te pomagali pri svladavanju izazova.

PRIMJENA RAČUNALNOG VIDA ZA BROJANJE PUTNIKA U JAVNOM GRADSKOM PRIJEVOZU

SAŽETAK

Provođenje preciznog i pouzdanog brojanja putnika bitan je zadatak kako bi se ostvarilo kvalitetnije planiranje javnog gradskog prijevoza. Cilj ovog rada je pregled primjene računalnog vida za brojanje putnika u javnom gradskom prijevozu te donošenje zaključaka o opravdanosti primjene računalnog vida na osnovi usporedne analize s drugim komunikacijskim tehnologijama. Kroz rad istražene su različite tehnologije za brojanje putnika, a najviše se fokusiralo na računalni vid. Istražene su funkcionalnosti računalnog vida u prometu, ali i u drugim područjima primjene. Kroz primjere iz već postojećih sustava istraženo je kako je potrebno dizajnirati arhitekturu sustava računalnog vida u prometu. Način dizajniranja arhitekture uvjetovan je time da se ostavi prostora za druge podsustave te je cilj da se na kraju svi sustavi spoje u jednu cjelinu. Preciznost različitih modela brojanja putnika putem računalnog vida istražena je i prikazana kroz analizu. Također, istraženi su i načini brojanja putnika putem Wi-Fi tehnologije te su međusobno uspoređeni.

KLJUČNE RIJEČI: računalni vid; brojanje putnika; javni gradski prijevoz; Wi-Fi; arhitektura sustava; nadzorni sustav; inteligentni transportni sustavi

SUMMARY

Conducting accurate and reliable passenger counting is an important task in order to achieve better planning of urban public transport. The aim of this paper is to review application of computer vision for counting passengers in public urban transport and to draw conclusions about computer vision implementation based on comparative analysis with other communication technologies. Different technologies for passenger counting are explored throughout the paper but the main focus was on computer vision. Also, this paper explores functionalities of computer vision in other fields as well as traffic. Through real life examples of already implemented systems it is explored how to correctly design architecture of the computer vision system in traffic. Way of designing appropriate architecture is conditioned to

leave open space for other subsystems in order to be able to connect everything into one system. Accuracy of different computer vision models for passenger counting is explored through analysis. Also, passenger counting with Wi-Fi technology is also analysed and compared with computer vision methods.

KEYWORDS: computer vision; passenger counting; urban public transport; Wi-Fi; system architecture; video surveillance; intelligent transportation systems

Sadržaj

1. Uvod.....	3
2. Važnosti i načini brojanja putnika u javnom gradskom prijevozu.....	6
2.1. Načini brojanja putnika	9
2.1.1. Infracrveni senzori	9
2.1.2. Senzor na podlozi za gazište	10
2.1.3. Mjerne ćelije za vaganje vozila.....	10
2.1.4. Wi-Fi digitalni potpis	10
3. Značajke računalnog vida	12
3.1. Optičko prepoznavanje znakova.....	13
3.2. Strojna inspekcija	14
3.3. Videonadzor.....	16
3.3.1. Videonadzor u zatvorenom prostoru.....	18
3.3.2. Videonadzor velikog otvorenog područja.....	20
4. Primjena računalnog vida u tehnologiji prometa i transporta	23
4.1. Detekcija anomalija	23
4.2. Prikupljanje prometnih parametara	26
4.3. Autonomna vozila.....	29
4.4. Brojanje putnika	32
5. Načini obrade i distribucije prikupljenih podataka.....	35
5.1. Arhitektura inteligentnog nadzornog sustava	35
5.2. Arhitektura sustava za upravljanje prometom	37
5.3. Sustav za automatsko lociranje vozila.....	39

6.	Usporedba načina brojanja putnika.....	42
6.1.	Rezultati brojanja putem Wi-Fi signala.....	42
6.2.	Rezultati brojanja putem računalnog vida.....	47
6.3.	Usporedba brojanja putnika putem Wi-Fi signala i računalnog vida.....	50
7.	Zaključak	52
	Literatura	54
	Popis slika.....	59
	Popis tablica	61
	Popis grafikona	62
	Popis kratica i akronima.....	63

1. Uvod

Brojanje putnika bitan je zadatak za nadziranje toka putničkog prometa te za alociranje resursa javnog gradskog prijevoza (JGP). Efikasno praćenje prometa vrlo je važno za stvaranje dobro organiziranog i troškovno isplativog JGP-a. S pravilno prikupljenim i obrađenim podacima tvrtke JGP-a mogu efikasno raspoređivati vozila na rutama ovisno o uvjetima na cesti i prijevoznj potražnji. Također, podaci mogu poslužiti za informiranje putnika i za praćenje sustava čime se može dalje povećati sigurnost korištenja JGP-a.

Kako razviti pouzdan sustav za detekciju i brojanje putnika je kritično pitanje. Dok je brojanje putnika računalnim vidom u kontroliranim uvjetima jednostavno, u realnim uvjetima s velikim brojem ljudi je vrlo složeno. To je zbog velike gustoće putnika koja varira u kompleksnoj okolini i realističnim uvjetima (poput visoke osvjetljenosti, kompleksnih sjena, zaklanjanja, kompleksnih interakcija i svjetlosnih fluktuacija i dr.). Međutim, sustav za brojanje putnika, ovisno o tehnologiji koja se primjenjuje, može se i pojednostaviti.

Danas već postoje mnogi različiti sustavi koji automatski broje putnike u JGP-u i primjenjuju se u svjetskim gradovima. Neki od tih sustava nisu kompleksni za ugradnju, korištenje i održavanje za razliku od drugih, no razlikuju se po preciznosti, cijeni, osjetljivosti na vanjske uvjete i druge parametre. Ono po čemu se kompleksniji sustavi poput računalnog vida razlikuju od jednostavnijih, jest to što se mogu koristiti i u druge svrhe. Naime, podaci koje složeniji sustavi prikupljaju mogu se dodatno obrađivati te se koristiti i za druge aplikacije inteligentnih transportnih sustava (ITS). Bez obzira na to, svaki sustav posjeduje svoje prednosti i nedostatke što tvrtke JGP-a trebaju imati na umu kod ugradnje takvih sustava.

Do danas su provedena brojna istraživanja o različitim tehnikama automatskog brojanja putnika i računalnom vidu. Autori rada [1] ispitali su važnosti i isplativost korištenja različitih sustava automatskog brojanja putnika za strateško planiranje JGP-a. U radu [2] predstavljene su najčešće tehnike automatskog brojanja putnika dok su autori rada [3] izradili model predviđanja broja putnika na temelju brojanja putem Wi-Fi detekcije. Po pitanju brojanja putnika putem Wi-Fi detekcije, u radovima [4] i [5] ispitana je preciznost brojanja različitim metodama detekcije Wi-Fi signala. Na temu računalnog vida napisano je mnogo knjiga i radova poput [6] gdje se opisuju razne tehnike i aplikacije za analizu i interpretaciju slika. Autori u knjizi [7] još dublje ulaze u strojni vid gdje detaljno opisuju svaki korak od

pridobivanja slike sve do obrade i interpretacije svjetlosnih snopova. Također, razni su radovi napisani na temu primjene računalnog vida u prometu. Primjerice, autori rada [8] istražili su razne tehnike računalnog vida za prepoznavanje i razumijevanje anomalija na prometnicama (prometnih prekršaja, incidenata, nepravilnog ponašanja sudionika u prometu i dr.). Autori rada [9] su također istraživali detekciju anomalija na prometnicama, ali glavni fokus su im bile različite tehnike Dubokog učenja koje su kategorizirali s obzirom na njihove ciljeve. Na području autonomne vožnje, autori rada [10] istražili su računalni vid koji pomaže prepoznati i pratiti objekte, rekonstruirati i razumjeti okolinu, mjeriti kretanje i sl. kod autonomne vožnje. Upravljanje i praćenje prometa u tunelima korištenjem sustava VITUS-1 istraženo je u radu [11]. Izvlačenje informacija korištenjem računalnog vida iz snimaka s prometnica u stvarnom vremenu objašnjeno je u radu [12].

U ovome radu glavna svrha jest prikazati i istražiti načine brojanja putnika korištenjem računalnog vida s primjenom u javnom gradskom putničkom prijevozu. Glavni fokus istraživanja bit će na primjeni računalnog vida u svrhu usporedbe brojanja putnika pomoću drugih dostupnih komunikacijskih tehnologija poput Wi-Fi-ja. Cilj istraživanja je pregled primjene računalnog vida za brojanje putnika u javnom gradskom prijevozu. Na osnovi usporedne analize s drugim komunikacijskim tehnologijama za brojanje putnika donest će se zaključci o opravdanosti primjene računalnog vida za brojanje putnika u javnom gradskom prijevozu.

Diplomski rad se sastoji od sedam poglavlja/teza:

1. Uvod
2. Važnosti i načini brojanja putnika u javnom gradskom prijevozu
3. Značajke računalnog vida
4. Primjena računalnog vida u tehnologiji prometa i transporta
5. Načini obrade i distribucije prikupljenih podataka
6. Usporedba brojanja putnika korištenjem komunikacijskih tehnologija i računalnog vida
7. Zaključak

U Uvodu je prikazana svrha, cilj i koncept, odnosno kratki opis poglavlja diplomskog rada.

U drugom poglavlju je objašnjeno zašto je potrebno prikupljati statističke podatke o JGP-u i stanju na prometnicama (broj prevezenih putnika, vrijeme putovanja, stanje na

prometnicama i dr.). Nadalje, analizirani su podaci o prevezenim putnicima u JGP-u u Zagrebu te su istražene metode brojanja putnika.

Treće poglavlje objašnjava princip rada računalnog vida kroz različita područja primjene. Izvedba računalnog vida različita je u svakom od područja primjene (optičko prepoznavanje znakova u prometu, stroja inspekcija u industrijskoj proizvodnji i videonadzor) te služe kao stvarni primjeri za detaljniji prikaz različitih funkcija i načina izvedbe računalnog vida.

Četvrto poglavlje prikazuje primjere korištenja računalnog vida u prometnom sustavu kao ključnu tehnologiju koja zamjenjuje ljudski nadzor. Kako i u prethodnom poglavlju koje se bazira na različita područja primjene računalnog vida, tako i u ovom (četvrtom poglavlju) primjena računalnog vida u prometnom sustavu opisana je kroz četiri različita primjera. Svaki od primjera primjene računalnog vida (detekcija anomalija, prikupljanje prometnih parametara, autonomna vozila i brojanje putnika) imaju specifične zahtjeve po kojima se razlikuje način izvođenja tehnologije.

U petom poglavlju računalni vid prikazan je kao podsustav ITS-a raščlanjivanjem na komponente i povezivanjem u cjelokupnu arhitekturu sustava. Sustavskim prikazom računalnog vida prikazan je način obrade i distribucije podataka te je objašnjeno zašto je bitno na taj način sagledati sve podsustave prije ugradnje u jednu cjelinu. Sustav automatskog lociranja vozila u Londonu – iBus, iskorišten je kao primjer.

Za prikaz efikasnosti i opravdanosti brojanja putnika putem računalnog vida u šestom poglavlju provedena je usporedba sa brojanjem putnika putem Wi-Fi tehnologije. Za svaki način brojanja putnika (Wi-Fi i računalni vid) korištena su dva različita pristupa te su uspoređeni njihovi rezultati.

U sedmom poglavlju doneseni su zaključci o opravdanosti korištenja računalnog vida za brojanje putnika s obzirom na prethodna poglavlja.

2. Važnosti i načini brojanja putnika u javnom gradskom prijevozu

U velikim gradovima gdje se povećava broj stanovnika, a analogno tome i dnevne migracije ljudi, organizacija javnog gradskog prijevoza postaje vrlo važna djelatnost. Ujedno se povećava i broj osobnih automobila na prometnicama što još više komplicira cjelokupnu problematiku prometa, osobito u velikim gradovima, industrijskim i turističkim središtima¹. Iz tog razloga razvoj javnog gradskog prijevoza (JGP-a) u urbanim sredinama razvijenih zemalja postao je jedan od većih prioriteta. S obzirom na cilj usluge JGP-a (omogućiti prijevoz što većem broju putnika u što kraćem roku) kvaliteta usluge se očituje u subjektivnom mišljenju korisnika. Istraživanjima je pokazano da postoje mnogi čimbenici koji utječu na kvalitetu usluge, kao što su udobnost, točnost, učestalost, cijena, sigurnost itd. [13]. Nadalje, velik broj ljudi danas je ovisno o prijevozu osobnim vozilom bilo to zbog osjećaja zadovoljstva, slobode, statusa ili moći. U globalu, osobno vozilo i dalje pruža najveću pogodnost, brzinu, udobnost i osjećaj slobode. To znači da je sustav JGP-a potrebno prilagoditi upravo prema tim atributima kako bi se privukao veći broj korisnika [13].

2.1. Važnosti brojanja putnika

Broj putnika je pokazatelj uspješnosti prijevozne agencije odnosno JGP-a te se može koristiti za kontroliranje putnika i provođenje sigurnosnih mjera. Također, detaljni podaci dobiveni brojanjem putnika koriste se za stvaranje distribucija putovanja prema kojima se mogu planirati i optimizirati rute [14]. U nedavno vrijeme pandemije COVID-19 posebno je potrebno obratiti pozornost na sigurnost i epidemiološke mjere, što posebno vrijedi za mjesta gdje je veća gustoća ljudi na jednom mjestu. Pojava virusa COVID-19 bitno je utjecala i na zabrinutost putnika o zdravstvenoj sigurnosti. Zastarjela vozila s lošom ventilacijom i loše provođenje mjera zdravstvene sigurnosti mogu nepogodno utjecati na širenje zaraze, ali i na stavove putnika o prijevoznoj agenciji. Iz tih razloga nije čest slučaj da se putnici odluče na neki drugi način bilo osobnim automobilom, taksi službom, biciklom i slično [15].

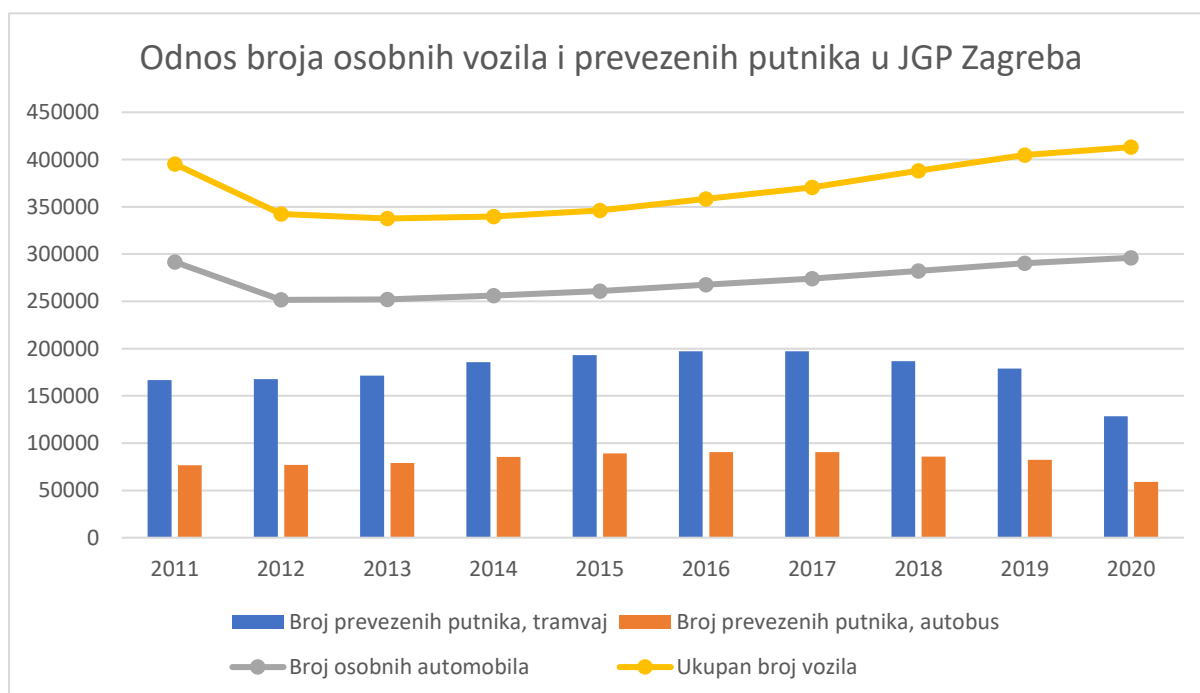
¹ Prema podacima ACEA (engl. *European Automobile Manufacturers' Association*) broj osobnih automobila u Europi 2020. godine je porastao za 1.2% u odnosu na 2019. godinu. Najviše u Rumunjskoj (+5.4%) i Slovačkoj (+5.1%), dok se u Francuskoj malo smanjio (-0.3%) [17].

U tablici 1 prikazani su brojevi osobnih vozila i vozila JGP-a u Gradu Zagrebu te broj prevezenih putnika od 2011. godine do 2020 [16].

Tablica 1. Broj motornih vozila i gradski prijevoz Grada Zagreba [16]

Godina	Broj osobnih vozila	Ukupan broj vozila	Tramvaj		Autobus	
			Broj tramvaja	Broj prevezenih putnika	Broj autobusa	Broj prevezenih putnika
2011.	291568	395391	289	166772	429	76713
2012.	251554	342345	284	167555	430	77077
2013.	252187	337591	277	171426	426	78848
2014.	255995	339749	277	185606	399	85365
2015.	260856	346230	274	193152	411	89172
2016.	267769	358308	274	197088	403	90648
2017.	274059	370505	274	197078	413	90634
2018.	282241	388263	266	186693	432	85849
2019.	290180	404893	266	178937	436	82285
2020.	296047	413117	266	128429	475	59061

Grafički prikaz tablice 1. vidljiv je ispod na grafikonu 1.



Grafikon 1 Odnos motornih vozila i prevezenih putnika u Gradu Zagrebu [16]

Bitno je napomenuti da je broj putnika u JGP-u jednak zbroju prodanih prijevoznih karata za JGP. Ta činjenica ukazuje na određeno odstupanje od stvarnog broja prevezenih putnika koji je u stvarnosti nešto veći. Prema prvim rezultatima popisa stanovništva iz 2021. godine, u Gradu Zagrebu stanuje 777 183 ljudi što je za 12 834 manje od prethodnog popisa provedenog 2011. godine (ukupno 790 017 stanovnika) [18]. Bez obzira na to, iz grafikona 1. je vidljiv kontinuirani porast broja osobnih vozila, a blagi pad prevezenih putnika u razdoblju od 2017. do 2020. godine. S obzirom na pandemiju koja se pojavila pred kraj 2019. godine te karantene koja je uslijedila, podaci prevezenih putnika iz 2020. godine ne prikazuju situaciju u uobičajenim uvjetima što je potrebno uzeti u obzir kod budućeg planiranja nakon pandemije. Činjenica da je porast broja osobnih vozila prisutan i za vrijeme smanjenja broja stanovnika u Gradu Zagrebu, ukazuje na to da je potrebno puno jače poticanje građana na korištenje JGP-a.

Uzimajući u obzir navedene podatke može se zaključiti da postoji nesrazmjer između korištenja JGP-a i osobnog prijevoza. To dovodi do nepovoljnih prometnih uvjeta poput manjka parkirališnih mjesta, većih gužvi tokom vršnih sati, lošom iskorištenosti kapaciteta JGP-a, nepovoljnih učinaka na okoliš² i sl. Različitim optimizacijama prometnog sustava poput reorganizacija regulacije na prometnicama, izgradnja novih parkirališta i prometnica, promjena i uvođenje cjenovnih tarifa itd. mogu se privremeno smanjiti nepovoljni uvjeti no i dalje će rasti prometna potražnja po pitanju osobnih vozila. Unaprjeđenjem JGP-a s druge strane, moguće je potaknuti veći broj ljudi na korištenje usluga JGP-a čime bi se smanjio broj osobnih vozila koja su i najveći uzrok negativnih učinaka u prometnom sustavu.

Kao što je ranije naglašeno, atributi kvalitete usluga JGP-a poput točnosti, učestalosti, udobnosti, cijene i sigurnosti najviše utječu kod korisnikovih mišljenja o usluzi. Iz toga se da zaključiti da je prvi korak unaprjeđenja usluge poboljšanje tih atributa. Podaci poput broja, gustoće i distribucije korisnika mogu se prikupiti metodama brojanja putnika. Ostvarenjem velike točnosti brojanja putnika, prijevoznici JGP-a mogli bi provoditi efikasnije strategije o distribuciji vozila čime bi se uvelike poboljšala točnost i zahtijevana učestalost vozila. Lakše bi se analiziralo ponašanje korisnika, optimiziralo oglašavanje i alociralo resursima.

² Prometni sektor drugi je po redu najveći emiter ugljičnog dioksida (CO₂) u 2020. godini. U 2020. godini prometni sektor je proizveo 7.29 milijardi metričkih tona CO₂ dok je jedino elektroprivreda proizvela više, čak 13.13 milijardi tona CO₂ [19].

2.2. Načini brojanja putnika

Kao što je ranije navedeno, za dobivanje podataka o prevezenim putnicima u tablici 1 korištena je metoda zbrajanja prodanih karata. Brojanje putnika na temelju prodanih karata ima puno nedostataka i daje veliku očekivanu pogrešku. Naime, osobe koje se voze bez vozne karte, predstavljaju glavni problem koji uzrokuje grešku kod takvog načina iskazivanja prevezenih putnika. Nadalje, podaci o prodanim kartama se ne mogu koristiti za daljnje analize poput distribucije putovanja i iskorištenja kapaciteta, a takve analize su potrebne za daljnje unaprjeđenje usluge. Za detaljnije i preciznije brojanje putnika potrebno je automatizirati proces brojanja što je moguće izvesti na razne načine.

Danas postoje sustavi automatskog prikupljanja podataka (engl. *Automatic Data Collection* – ADC) pod koje ulaze automatsko lociranje vozila (engl. *Automatic Vehicle Location* – AVL), automatsko brojanje putnika (engl. *Automatic Passenger Counting* – APC) te automatska naplata karata (engl. *Automatic Fare Collection* – AFC). Za dobivanje najpreciznijih podataka potrebna je kombinacija AVL i APC sustava. Tako bi se dobile najtočnije informacije o tome gdje i koliko se putnika ukrcava u vozila JGP-a [1].

U svrhu automatskog brojanja putnika prijevozne agencije često postavljaju više senzora za prikupljanje podataka na svakim vratima prijevoznog sredstva (autobus, vlak, tramvaj i sl.). Tehnologije koje se danas koriste uključuju infracrvene senzore, infracrvene kamere, stereoskopske kamere, radare mikrovalova, laserske skenere, piezoelektrične senzore, elektroničke vage i dr. [1]. U nastavku su detaljnije objašnjena neka od najčešćih rješenja

2.2.1. Infracrveni senzori

Infracrveni senzori se dijele na dva tipa:

- Aktivni senzori – transmitter šalje infracrveni snop prema prijammniku i detektira prisutnost snopa (Da/Ne)
- Pasivni senzori – detektira prisutnost infracrvenog zračenja na pokrivenom području

Aktivni senzori se montiraju na vrata prijevoznog sredstva na način da prolazak putnika kroz vrata prekine infracrveni snop. Najčešće se montiraju po dva senzora na svaka vrata kako bi se povećala točnost mjerenja.

Pasivni senzori se uglavnom koriste za detekciju kretanja kod sigurnosnih sustava u većim prostorima. Pasivni senzori modificirani s uređajem za brojanje često budu neisplativi zbog velike cijene. Zahtijevaju ugrađivanje na poseban način kako prostor detekcije ne bi bio prevelik čime bi se uvelike smanjila točnost brojanja.

2.2.2. Senzor na podlozi za gazište

Podloga za gazište postavljena je na ulazu kod vrata vozila najčešće kod pristupne stepenice. Radi na način da pri ulazu ili izlazu putnika broji kada putnici nagaze na podlogu. Ovakva metoda je laka za održavanje i jeftina za ugradnju ali nije pouzdana kada je velika gužva na vratima i ne može raspoznati radi li se o putniku koji ulazi ili izlazi iz vozila. Također, osjetljiva je na blato i nečistoću te na deformaciju nagazne podloge. Dobra strana ovakvog rješenja je jako visoka točnost (preko 95%) kod pravilnog korištenja.

2.2.3. Mjerne ćelije za vaganje vozila

Mjerne ćelije na ovjesu vozila koriste se radi mjerenja tereta na ovjesu. Na temelju toga vlakovi i tramvaji, na kojima su mjerne ćelije najčešće montirane, procjenjuju snagu koja je potrebna kočnicama za sigurno zaustavljanje s obzirom na težinu vozila. Zbog dinamike tereta na ovjesu uslijed vožnje, teško je procjenjivati broj putnika dok se vozilo kreće. Iz tog razloga teško je brojati putnike koristeći takve senzore, no postoje sustavi mjernih ćelija koji se ugrađuju na infrastrukturu (npr. autobusna stajališta, mostovi i dr.). Kod takvih sustava moguća je procjena broja putnika s obzirom na težinu vozila prije i poslije zaustavljanja [2].

2.2.4. Wi-Fi digitalni potpis

Putnike je moguće brojati detekcijom Wi-Fi ili Bluetooth paketa koje odašilju mobilni uređaji putnika. Detektiraju se jedinstvene MAC (engl. *Media Access Control*) adrese koje predstavljaju prisutan uređaj u blizini. S obzirom na određene parametre poput jačine signala, vrijeme prve i zadnje detekcije, broj detekcija i dr. algoritam klasificira uređaje koji su u vozilu i izvan vozila. Iako danas većina putnika u JGP-u nose mobilne uređaje, postoje neki

nedostaci kod ovakvog načina brojanja. Jedan putnik može imati više ili nijedan uređaj kod sebe, uređaji od pješaka pored vozila mogu odašiljati signal jednake jačine kao i putnici u vozilu, uređaj u vozilu možda ne odašilje signal itd. [3].

U nastavku će biti opisane značajke računalnog vida i njezine primjene kod brojanja putnika JGP-a.

3. Značajke računalnog vida

Računalni vid je dio umjetne inteligencije koji trenira računalo da tumači i razumije okolinu vizualnim putem. Prvi put se pojavljuje krajem 1960-ih te je bio stvoren kako bi se mogla stvoriti trodimenzionalna okolina iz dvodimenzionalne slike radi što realnijeg tumačenja prostora. Računalni vid je sam po sebi multidisciplinarno područje znanosti te je danas jedna od tri komponente većeg sustava: umjetna inteligencija, strojno učenje i računalni vid. Naime, u počecima razvoja računalnog vida područje je bilo sagledavano kao komponenta vizualne percepcije za oponašanje ljudske inteligencije. Vjerovalo se da će se rješavanjem vizualnih ulaza moći doći do rješenja većih problema poput većeg nivoa razumijevanja i planiranja. Tako je 1966. godine profesor Marvin Minsky na sveučilištu MIT³ (engl. *Massachusetts Institute of Technology*) zadao studentu da spoji kameru na računalo i nauči računalo da opiše što vidi [6]. Zadatak se, naravno, pokazao mnogo težim nego što se isprva činilo.

Kroz povijesni razvoj računalnog vida, razvijali su se razne tehnike i načini izvedbe sustava. Tako i danas postoje razne tehnike izvedbe koje se koriste ovisno o cilju. U nastavku je prikazan princip rada računalnog vida u tri različita područja.

³ MIT je privatno istraživačko sveučilište u američkom gradu Cambridge, država Massachusetts.

3.1. Optičko prepoznavanje znakova

Optičko prepoznavanje znakova uglavnom se upotrebljava kao napredan sustav za pomoć vozaču (engl. *Advanced Driver Assistance Systems* - ADAS) u modernim automobilima⁴. Predstavlja relativno jednostavan problem gdje je potrebno prepoznavati znakove u prometu. Pošto je svaki prometni znak sam po sebi osmišljen tako da bude jedinstven, uočljiv i lak za prepoznavanje, tako je jednostavno 'naučiti' sustav da ih prepozna pri pojavi. S druge strane, u stvarnosti se često događa da uvjeti onemogućavaju idealan pogled na prometni znak bilo zbog osvjetljenja, kuta gledanja, prirodnih nepogoda, fizičkog stanja znaka ili nečeg drugog (slika 1.). To zahtijeva stvaranje baze znanja na kojoj će sustav moći prepoznati znak čak i u nepovoljnim uvjetima [20].



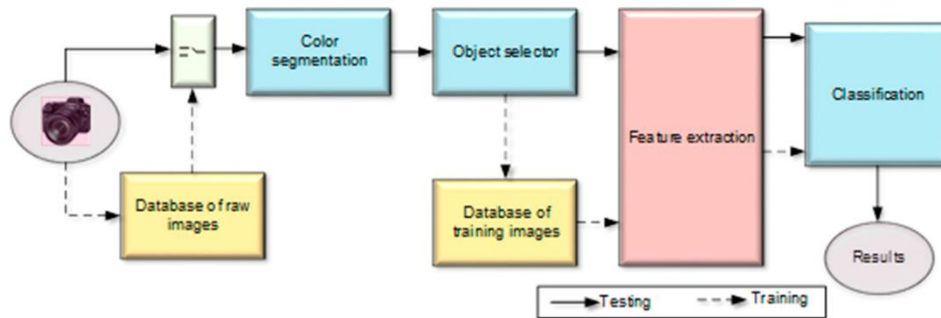
Slika 1. Prometni znakovi u realnim uvjetima [20]

Baza znanja je osnova koju je potrebno napraviti kod razvijanja sustava za prepoznavanje znakova. Sastoji se od velikog broja slika prometnih znakova pod različitim uvjetima vidljivosti te predstavlja uzorke svih prometnih znakova koje je potrebno razaznati. Takav skup podataka koristi se za treniranje i testiranje tehnika za detekciju i prepoznavanje.

Rad sustava za prepoznavanje znakova može se podijeliti u tri faze: detekcija, praćenje i klasifikacija. U fazi detekcije cilj je lociranje prometnog znaka na ulaznoj slici scene, dok je cilj klasifikacije odrediti o kakvom znaku se radi. Za vrijeme faze detekcije generiraju se

⁴ ADAS sustavi koriste automatizirane tehnologije poput senzora i kamera kako bi detektirali prepreke ili vozačeve pogreške kako bi prikladno djelovali. Neki od područja djelovanja ADAS sustava su: uzbunjivanje i upozoravanje, izbjegavanje sudara, pomoć pri vožnji, vizualno motrenje okoline i dr. [21].

interesna područja gdje je najveća vjerojatnost da će se znak pojaviti. Klasifikacijom se dalje procesiraju generirana interesna područja i pokušava se identificirati točan tip znaka ili, ako je riječ o lažnoj detekciji, onda se interesno područje odbacuje. Na slici 2. prikazan je dijagram sustava za prepoznavanje znakova.



Slika 2. Blok dijagram sustava za prepoznavanje prometnih znakova [22]

Vidljivo je da sustav može raditi na dva načina – način treniranja i način testiranja. U načinu treniranja sustav proširuje bazu znanja prikupljajući setove slika prometnih znakova koji se kasnije koriste za treniranje i validaciju. U načinu testiranja sustav prepoznaje znakove koji nisu u bazi znanja [22].

3.2. Strojna inspekcija

Gotovo se svi industrijski proizvodi provode kroz vizualne inspekcije u većoj ili manjoj mjeri. Svrha vizualne inspekcije je osiguravanje kvalitete proizvoda te je kod određenih proizvoda i industrijskih dijelova nužan proces kako bi se osiguralo da krajnji proizvod uopće može i ispuniti svoju svrhu. Današnjom brzinom proizvodnje obavljanje vizualne inspekcije od strane zaposlenika bilo bi neefikasno i vremenski zahtjevno. Također, ljudskom oku lako mogu promaknuti mikrooštećenja kod proizvoda koji trebaju biti kirurški precizno sastavljeni. Iz tog razloga se danas najčešće koriste automatizirani strojevi za vizualnu inspekciju. Zadaci vizualne inspekcije mogu se svrstati u sljedeće kategorije:

- Cjelovitost proizvoda, npr.:
 - jesu li sve komponente sastavljene?
 - jesu li paketi potpuno ispunjeni?

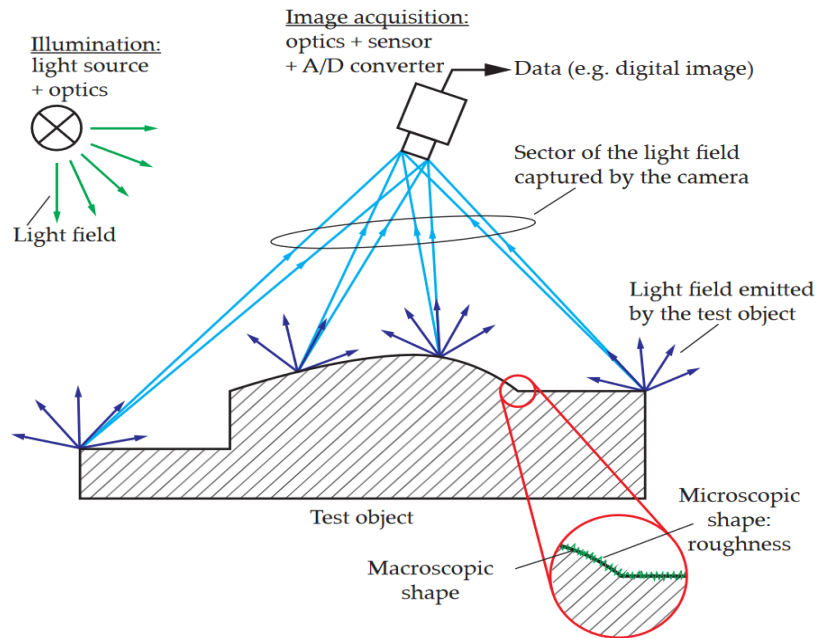
- Preciznost pozicije i orijentacije dijelova, npr.:
 - je li takt motora od vozila dobro ugođen?
- Dosljednost dimenzija, oblika i kutova komponenata;
 - postoje li dijelovi koji odstupaju od željenog oblika?
- Stanje površine i tekstura;
 - je li prisutna korozija ili površinska oštećenja?
 - je li tekstura homogena?
- Optičke karakteristike;
 - boja i refleksija
- Identifikacija materijala, npr.:
 - automatsko sortiranje različitih materijala
 - detekcija i uklanjanje loših proizvoda iz rasutih proizvoda

Za razliku od nekih drugih sustava baziranih na računalnom vidu, automatizirani sustavi za vizualnu inspekciju najčešće ne trebaju imati velike baze znanja na temelju kojih donose zaključke. Oni su definirani isključivo algoritmima koji im omogućuju precizne kalkulacije i velike brzine procesiranja. Nadalje, imaju mogućnost vrlo precizno razaznati razlike u boji i nijansama sve dok je osigurano da se uzorci nalaze pod jednakim svjetlosnim uvjetima [7].

Kod sustava koji koriste računalni vid za izvršavanje zadataka, kvaliteta dobivenih informacija ovisi isključivo o procesu pridobivanja slika. Dio svjetlosti koja osvjetljava površinu testnog objekta se odbija do optičkog instrumenta (kamera) te prenosi informacije koje su ključne za vizualnu inspekciju (slika 3.). Tako se u informacijskim tehnologijama svjetlosni snop iz izvora može tumačiti kao prijenosni signal koji se modulira interakcijom s objektom nakon čega sadrži informacije o objektu. Ovakva modulacija signala ovisi o raznim fizičkim fenomenima pa se i informacije o objektu mogu prikupiti na različite načine. Takvi fizički fenomeni stvaraju raznoliki spektar optičkih informacija:

- raspodjela intenziteta svjetlosti s obzirom na položaj i orijentaciju;
- spektar (raspodjela intenziteta s obzirom na valnu duljinu);
- polarizacija (pojava kod međudjelovanja svjetlosti i tvari, pri čemu električno i magnetsko polje više ne titra jednako u svim smjerovima [23];

- koherentnost⁵ (vremenski i prostorni odnosi svjetlosnog vala);
- faza;
- vremenska ovisnost (ovisnost intenziteta i drugih parametara o vremenu).



Slika 3. Optičko prikupljanje informacija o objektu [7]

Interakcija testnog objekta i emitirane svjetlosti se može opisati određenom funkcijom refleksije koja opisuje fizičke karakteristike s obzirom na relevantne informacije. Odgovarajuća funkcija refleksije je sve što je sustavu za vizualnu inspekciju potrebno kako bi mogao prikupiti bitne informacije o površini objekta na temelju čega donosi zaključak.

3.3. Videonadzor

Inteligentni video nadzor jedan je od najaktivnijih područja primjene računalnog vida. Cilj je izvlačenje informacija iz snimaka nadzornih kamera primjenom automatske detekcije, praćenja i prepoznavanja objekata od interesa. S obzirom na to da su danas kamere za nadzorne sustave relativno jeftine i dostupne tako i primjena varira od malih mjesta poput

⁵ Koherentnost je svojstvo svjetlosti po kojemu svjetlost iz istog ili koherentnog izvora uvijek ima istu fazu i amplitudu bez obzira na prostor i vrijeme [7].

privatnih dvorišta i zatvorenih prostora sve do velikih javnih površina poput parkirališta, autocesta pa čak i cijelih gradova.

Jedan od glavnih ciljeva videonadzora jest omogućiti prepoznavanje neželjenih aktivnosti i/ili događaja na privatnim i javnim površinama u stvarnom vremenu. Neželjeni događaji mogu biti različiti ovisno o nadziranom mjestu, od provala u privatne objekte do prometnog incidenta na javnom raskrižju. Bez obzira na različitosti okolina u kojima se primjenjuje, inteligentni videonadzor uglavnom primjenjuje slične načine izvedbe. Neke od najčešćih tehnika koje se koriste su [24]:

A. Suzbijanje pozadine:

Stvaranje referentne slike koja predstavlja pozadinu i koja se u načelu ne mijenja. Oduzimanjem referentne slike od stvarne slike izdvajaju se objekti koje je potrebno detektirati.

B. Razlikovanje kadra (engl. *Frame Differencing*):

Tehnika gdje računalno provjerava razlike između dva susjedna kadra (engl. *frames*). Mjesta gdje su se pikseli promijenili iz prethodnog kadra se grupiraju te se time dobiva oblik objekta koji se kreće.

C. Podudaranje s predloškom (engl. *Template Matching*):

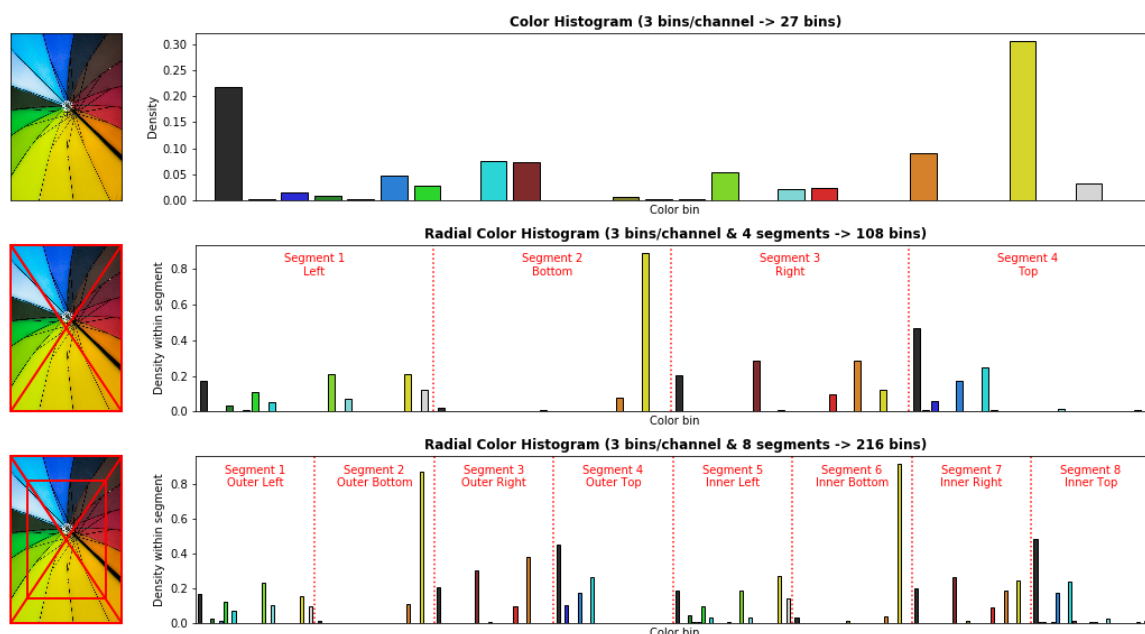
Tehnika računalnog vida gdje se identificiraju dijelovi slike koji odgovaraju prethodno definiranom predlošku. Predložak može biti objekt koji je potrebno detektirati na slici (npr. vozilo), a slika je pogled na raskrižje. Tehnikom podudaranja s predloškom, algoritam može prepoznati vozila na slici.

D. Detekcija pokreta

Detekcija promjene pozicije objekta u odnosu na okolinu ili promjena u okolini u odnosu na objekt.

E. Detekcija na osnovi boje

Boja može poslužiti kao koristan podatak kod prepoznavanja objekta. Lagan i efikasan način detekcije objekta može se izvesti podudaranjem slike na osnovi temeljnog histograma boja (slika 4.).



Slika 4. Radijalni histogram boja [25]

Slika 4. prikazuje primjer stvaranja histograma boja na primjeru slike s lijeve strane. Zauzeće pojedinih boja na slici ili u segmentu slike reprezentirano je histogramom gdje x-os predstavlja boju, a y-os gustoću obojanih piksela.

3.3.1. Videonadzor u zatvorenom prostoru

Ovisno o području na kojem se primjenjuje videonadzor, od sustava se zahtijeva da prepoznaje različite situacije. Primjerice, u zatvorenim prostorima potrebno je prepoznati prisutnost ljudi, pratiti kretanje, prepoznavati obrasce ponašanja (npr. stav ukućana), automatski procijeniti opasnost situacije i sve to uz mogućnost udaljenog spajanja na zahtjev korisnika. Videonadzor u zatvorenim prostorima uglavnom se smatra jednostavnijim za izvođenje od otvorenih prostora. Razlog tome je potreba za manjim brojem najčešće fiksiranih kamera koje nisu pod utjecajem vibracija i vremenskih nepogoda te potreba za praćenje malog

broja pokretnih meta (ukućani i kućni ljubimci). S druge strane, scene u zatvorenim prostorima donose neke druge osobitosti koje otežavaju izvođenje sustava:

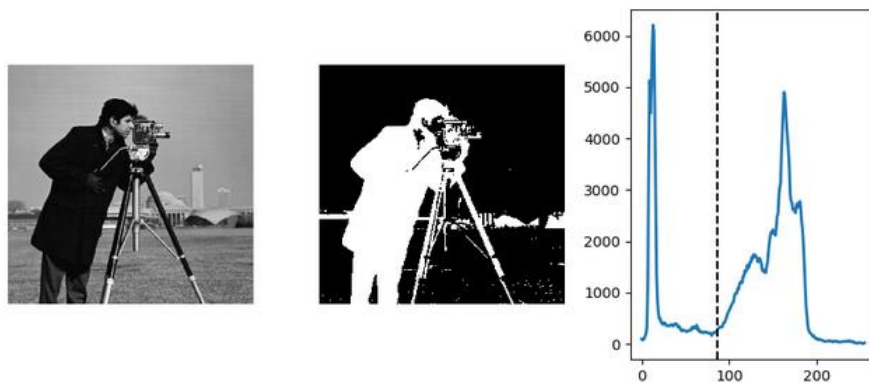
- a) Umjetno osvjetljenje prostora s više izvora svjetlosti – stvaranje velikih sjena koje mogu izazvati greške pri detekciji objekta i njegovih atributa. Potrebno je izvesti pouzdanu detekciju sjena.
- b) Velik broj manjih objekata koji se mogu pomicati – praćenje objekata od interesa često se izvodi metodom suzbijanja pozadine što je lako za izvesti kod fiksiranih kamera. Kada sustav zna kako izgleda pozadina, vrlo lako može prepoznati objekt od interesa koji se pojavljuje u kadru (npr. čovjek). Kada dođe do pomicanja manjih objekata unutar pozadine (npr. igračke na polici), to može 'zbuniti' sustav. Zbog toga je potrebno uvesti način prepoznavanja pozadine na temelju znanja.
- c) Kretanje ljudi su nagle s brzim promjenama oblika i međusobnim zaklanjanjima – algoritmi za praćenje se moraju dobro nositi s brzim i naglim promjenama u kadru. Također, moraju se moći nositi s velikim zaklanjanjima dijelova objekta (npr. u trenutku mimoilaženja dva čovjeka, jedan će biti potpuno zaklonjen od pogleda kamere).
- d) Potreba za mogućnošću spajanja u sustav putem pametnog telefona ili računala⁶ [26].

Glavni korak za daljnje procesiranje podataka je segmentacija objekata. Sustav za video nadzor ne smije biti ograničen samo na objekte koji se kreću. Cilj je klasificirati objekte od interesa, poput ljudi, te ih pratiti tokom cijelog njihovog pojavljivanja u kadru. Time je osigurano da istaknuti objekti budu prepoznati čak i dok su duže vrijeme u stanju mirovanja. Također, potrebno je i zanemariti nebitne i prolazne objekte, poput sjena, statičnih objekata ili šumova, koji se mogu pojavljivati u kadru⁷. Klasifikacija objekata od interesa bazira se na provjeri geometrijskih obilježja (odnos širine i visine) i prisutnosti eliptičnih rozih područja (ljudska lica). Sjene su detektirane pod pretpostavkom da pikseli pozadine nemaju velike promjene osim zatamnjenja.

⁶ Za prikazivanje sadržaja na uređajima pod ograničenim uvjetima (loša internetska veza ili zastarjeli uređaji) primjenjuju se tehnike univerzalnog multimedijskog pristupa (engl. *Universal Multimedia Access – UMA*). Cilj je adaptirati video na temelju sadržaja (engl. *Content-Based Video Adaptation*) gdje se izdvajaju samo najbitniji dijelovi snimke čime se omogućavaju veće kompresije podataka i smanjuje veličina sadržaja koji je potrebno prenijeti.

⁷ Kako bi se to omogućilo potreban je poseban korak validacije u kojemu se razaznaje je li objekt pravi ili prividan. To je moguće ostvariti procjenom broja promijenjenih piksela u posljednja dva framea.

Nakon klasifikacije i verifikacije objekta, objekt dobiva svoj okvir (engl. *track*) koji se sastoji od slike izgleda (procjena izgleda objekta u RGB prostoru), vjerojatnosti pripadnosti (vjerojatnost da piksel pripada okviru), vektor kretanja i ocjene dubine. Pod uvjetom da je pozicija okvira pravilno izračunata i da točno prati osobu unutar kadra, tada se analizira i detektira njezin stav tj. poza. Postoje četiri glavne poze koje je potrebno međusobno razaznati kako bi sustav mogao prepoznati neželjenu situaciju: Stojeći položaj, čučanj, sjedeći položaj i ležeći položaj.



Slika 5. Primjer stvaranja projekcijskog histograma [26]

Klasifikator koji se najčešće koristi za prepoznavanje poze temelji se na projekcijskom histogramu (slika 5.). Projekcijski histogram prikazuje siluetu osobe u koordinatnom sustavu. S dovoljno velikim setom za treniranje algoritma sustav se na taj način nauči prepoznati u kojem položaju se osoba nalazi.

3.3.2. Videonadzor velikog otvorenog područja

U razvijenim gradovima danas je prisutno na tisuće kamera koji na dnevnoj bazi prikupljaju ogromne količine podataka. Veliki napori se ulažu u istraživanje načina kako efikasno izvući informacije iz podataka velikih razmjera.

Za razliku od zatvorenih prostora za nadziranje velikog područja potrebno je analizirati područje pokriveno s više videokamera. Uvođenjem inteligentnog videonadzora većeg područja potrebno je svladati detekciju i prepoznavanje pokreta, analizu putanje, prepoznavanje uzoraka te interpretaciju situacija i interakcije objekata. Za usavršavanje

inteligentnog videonadzora s više kamera koriste se različite tehnologije računalnog vida poput [27]:

1. Kalibracija više kamera na jedan koordinatni sustav
2. Stvaranje topologije mreže kamera⁸
3. Reidentifikacija objekata prethodno prepoznatih na drugim kamerama
4. Praćenje objekata preko više kamera
5. Analiza ponašanja promatranjem aktivnosti jednog objekta na različitim kamerama

Kao i kod videonadzora u zatvorenim prostorima, videonadzor s više kamera susreće se sa specifičnim izazovima:

- Kako se videonadzor s više kamera primjenjuje na velikom području tako se mreža kamera stalno povećava. Dizajniranje mreže gdje je potrebna ručna kalibracija mreže svakom pojavom novih kamera je vrlo neefikasan način izvođenja sustava. Ručna kalibracija cijele mreže zahtijeva puno vremena, a stalnim priključivanjem novih kamera bi se uvijek iznova morala raditi. Stoga je potrebno napraviti sustav koji se sam prilagođava promjenama u mreži bez puno ljudskog posredovanja.
- Topologija velike mreže kamera može biti vrlo složena te su vidna polja kamera ograničena strukturama u okolini. Također, neke kamere mogu imati iskrivljena vidna polja i mogu pokrivati više ravnina. Takve situacije donose dodatne izazove kod kalibracije, praćenja preko više kamera i interpretacije topologije.
- Česte su velike razlike u točkama gledišta, osvjetljenja i postavkama različitih kamera. Takve karakteristike sustava otežavaju prepoznavanje istih objekata preko više kamera.
- U scenama gdje su velike gužve (poput trgovačkih centara, aerodroma ili velikih raskrižja) teško je bez greške pratiti objekte preko velikih udaljenosti zbog čestih zaklanjanja među objektima.
- Neki sustavi videonadzora primjenjuju kombinaciju pasivnih i aktivnih kamera. Aktivne kamere se automatski prilagođavaju po pitanju parametara

⁸ Topologija mreže kamera pokazuje mjesta preklapanja pogleda različitih kamera tj. preklapaju li se pogledi ili su prostorno razdvojeni. Ukoliko su prostorno razdvojeni, može se izračunati vrijeme koje je potrebno da objekt prijeđe iz jednog pogleda do drugog.

zoom-a, pomaka te nagiba po potrebi. Kalibracija, detekcija pokreta, praćenje objekata i analiza aktivnosti kod takvih hibridnih sustava se susreću s mnogim novim izazovima koji nisu prisutni kod statičkih sustava a koje je potrebno svladati.

4. Primjena računalnog vida u tehnologiji prometa i transporta

Nagli razvoj računalnog vida postavio ga je kao ključnu tehnologiju za brojne aplikacije koje zamjenjuju ljudski nadzor. Zbog složenosti i nepredvidivosti prometnog sustava nadzor sustava igra veliku ulogu kod vođenja prometa. Računalni vid u sustavu javnog prometa i transporta može imati velike prednosti kod prikupljanja podataka i vođenja prometa.

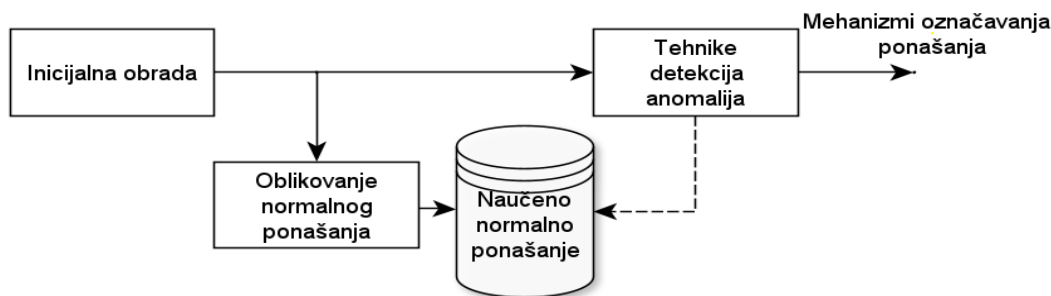
Ugradnjom kamera na strateškim mjestima na javnim površinama u prometu mogu se prikupljati bitni podaci koji se mogu koristiti za optimiziranje prometnih procesa. Isto tako, računalni vid može se iskoristiti za izradu raznih sigurnosnih mehanizama koji pomažu pri detekciji incidenata ili opasnih situacija pa čak i u sprečavanju istih. Ugradnja kamera u moderna vozila danas je česta praksa, pa tako i razvoj sigurnosnih sustava kočenja i detekcije, adaptivnih tempomata, sustava autonomne vožnje i dr., a sve to uz korištenje računalnog vida.

4.1. Detekcija anomalija

Uz masovno korištenje nadzornih kamera na javnim površinama, u istraživačkim zajednicama na popularnosti je dobilo razumijevanje okoline putem računalnog vida⁹. Izvori informacija poput GPS-a (engl. *Global Positioning System*), GSM-a (engl. *Global System for Mobile Communications*) i radarskih detektora prikupljaju samo statističke podatke o trenutnom stanju na prometnicama. S druge strane, vizualni podaci sadrže bogatstvo informacija koji mogu pomoći u detekciji i predviđanju zagušenja, incidenata i drugih anomalija u prometnom sustavu [8].

Slika 6. prikazuje pojednostavljeni blok dijagram kako sustav za prepoznavanje anomalija funkcionira. Blok inicijalne obrade („*preprocessing*“) izvlači attribute/podatke iz ulaza. Normalno ponašanje sustava je opisano pomoću pravila, modela i podataka. Pojedine tehnike detekcije anomalija detektiraju anomalije i ocjenjuju ih mehanizmima za označavanje.

⁹ Opće funkcije računalnog vida za razumijevanje okoline su kao prvo detekcija scene, lokalizacija, prepoznavanje i razumijevanje. Glavna uporišta za razumijevanje uključuju: percepciju, održavanje koherencije, raspoznavanje događaja, evaluaciju, kontrolu i učenje te komunikaciju s drugim sustavima, vizualizaciju i stjecanje znanja. Sve to je potrebno sustavu kako bi se mogao prilagođavati varijacijama u okolini, očekivati i predviđati značajke u promjenjivoj okolini [28].



Slika 6. Shema sustava za detekciju anomalija [8]

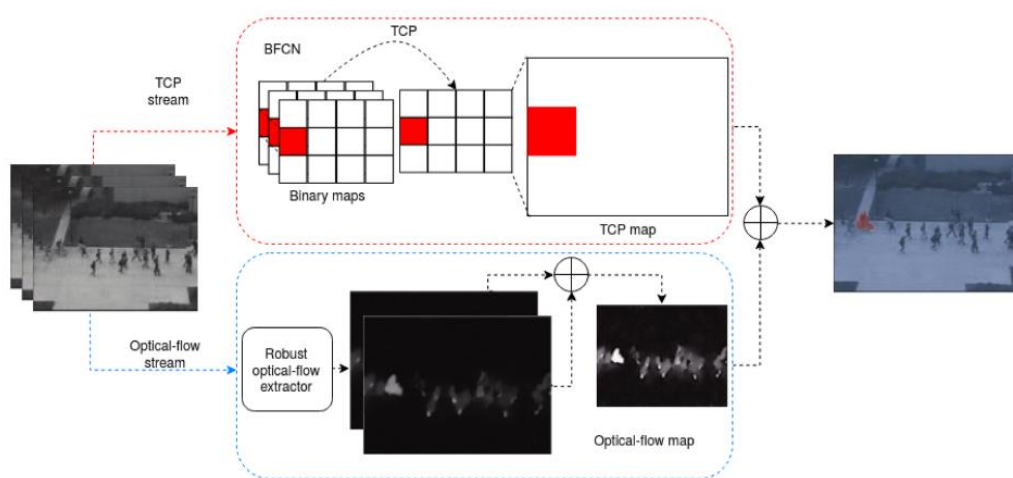
Anomalija je definirana kao odstupanje entiteta u sceni (vozilo, čovjek ili okolina) od normalnog ponašanja. Najčešće, sustavi za detekciju anomalija su „naučili“ kako izgleda normalno ponašanje te onda traže devijacije u scenama od normalnog ponašanja koje tumače kao anomalije. Prisutnost vozila na pločniku, prisutnost nepoznatog predmeta na cesti, polukružna okretanja pod crvenim svjetlom, naglo razilaženje gomile pješaka ili nagli pad pješaka neki su od primjera anomalija [9]. U generalnom smislu anomalije se klasificiraju u tri kategorije:

- Anomalija točke – npr. zaustavljeno vozilo na prometnoj cesti
- Kontekstualna anomalija – podatak koji bi u drugačijem kontekstu mogao biti normalan. Npr. kao anomaliju možemo tumačiti kada se u prometnom zastoju motocikl kreće većom brzinom od ostalih vozila, dok pod normalnim prometnim uvjetima to može biti normalna situacija.
- Kolektivna anomalija – veća grupa podataka zajedno mogu prouzrokovati anomaliju iako bi takvo ponašanje moglo biti normalno kod pojedinačnog podatka. Npr. grupa ljudi se naglo razilazi u kratkom vremenu.

U kontekstu videonadzora, anomalije se često svrstavaju u dvije kategorije kao lokalne i globalne. Lokalne anomalije nastaju na određenom području scene, a globalne su prisutne u segmentu videa i ne zna se gdje su započele. Ono što predstavlja ključne izazove kod detekcije anomalija su: definiranje reprezentativne definicije normalnog ponašanja, definiranje granice između normalnog i anomalije, činjenica da anomalija ne mora biti

anomalija u određenom kontekstu, ograničena dostupnost podataka za treniranje sustava te mijenjanje normalnog ponašanja s vremenom.

Postoji više različitih tehnika detekcije anomalija i sve se svode na to da se te tehnike provode samo na relevantnim značajkama. U videonadzoru gdje su glavni podaci videosnimci, nužno je izvući relevantne značajke nad kojima će se provoditi tehnike detekcije anomalija. Iako se sve tehnike detekcije anomalija provode na istim značajkama, mehanizmi i kriteriji određivanja anomalija se razlikuju. Slika 7. prikazuje metodu detekcije i lokaliziranja anomalija na značajkama koje su izvučene korištenjem umjetnih neuronskih mreža¹⁰.

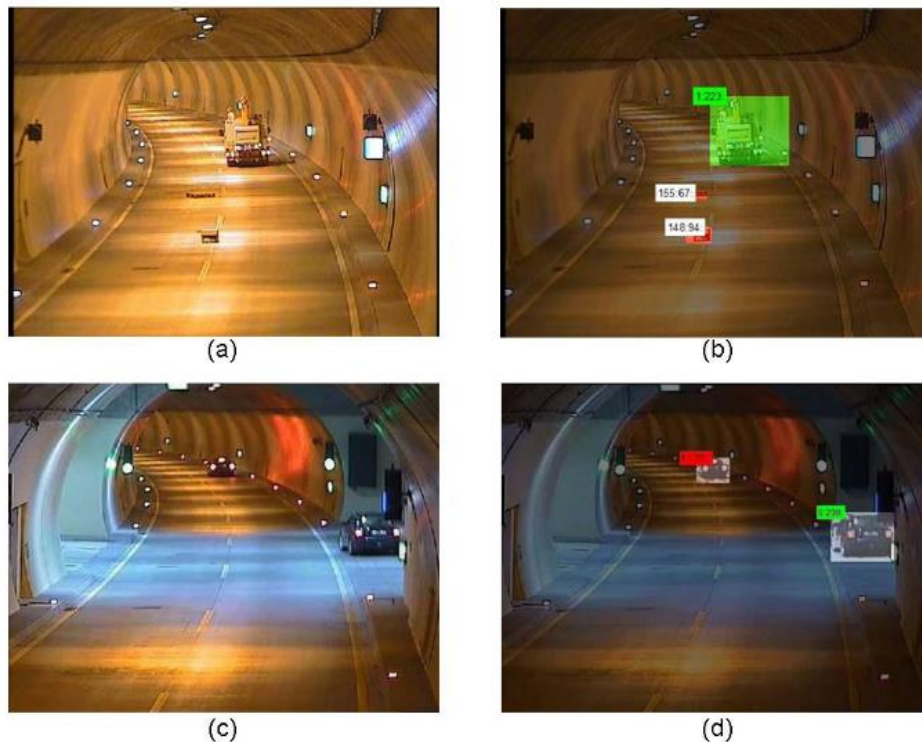


Slika 7. Shema prevođenja značajki iz videosnimaka u TCP protokol [8]

Detekcija anomalija jedna je od pod-domena razumijevanja ponašanja te se sve češće provodi u pametnim gradovima gdje je potrebno pravovremeno reagirati na opasne situacije. Kvalitetno izvođenje detekcije anomalija u sustavu videonadzora nad gradskim prometnicama povećava se sigurnost u prometu, povećava se brzina reakcije žurnih službi te se smanjuje mogućnost eskalacije incidentnih situacija. Kritična prometna infrastruktura poput tunela, mostova i autocesta zahtijeva bolju kontrolu prometa te se u modernim objektima velik dio kontrole oslanja na videonadzor. Kamere postavljene na određenim intervalima osiguravaju potpunu pokrivenost infrastrukture i njezine okoline. Videosnimci se zatim u stvarnom vremenu šalju u kontrolni centar od kuda se upravlja drugim sustavima poput promjenjivih prometnih znakova, semafora, rasvjete i dr. Detekcija anomalija koristi se za detekcije raznih

¹⁰ Način aproksimiranja matematičkih funkcija inspiriran ljudskim mozgom – neuronske mreže
Metoda neuronskih mreža temelji se na nadgledanom učenju sustava na objektima poznatih atributa i ima sposobnost proširivanja znanja u svrhu detekcije novih objekata.

opasnosti poput vatre, dima, prometnih nesreća, prometnih zagušenja i dr. (slika 8.) te može uvelike pomoći pri donošenju pravovremenih odluka, a pogotovo na dužim dionicama.



Slika 8. a) i b) detekcija nepoznatih predmeta na cesti, c) i d) detekcija zaustavljenog vozila [11]

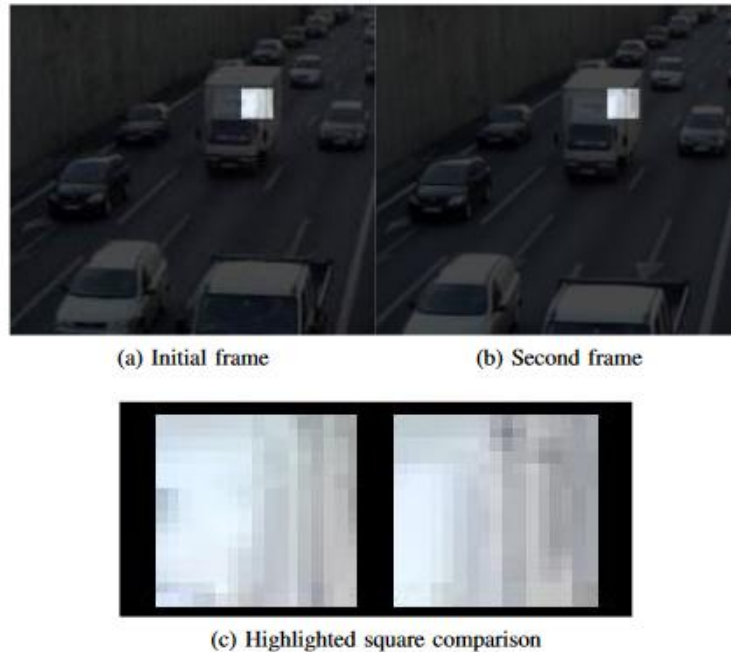
Primjer na slici 8. prikazuje detekciju objekata na snimci tunela. Algoritmi za procesiranje i analiziranje slike korišteni su u projektu VITUS-2 [11].

4.2. Prikupljanje prometnih parametara

U svrhu upravljanja prometnim tokovima i raskrižjima, prometnom planiranju, pomoći pri donošenju odluka, pametnom nadograđivanju prometnica te podršci aplikacijama za rutiranje prikupljaju se podaci koji opisuju prometno stanje u stvarnom vremenu. Najosnovnije karakteristike se mogu izvući mjerenjem broja vozila i njihovim brzinama na prometnici. Često se ti podaci prikupljaju induktivnim petljama, radarima, ručnim brojanjem i video kamerama.

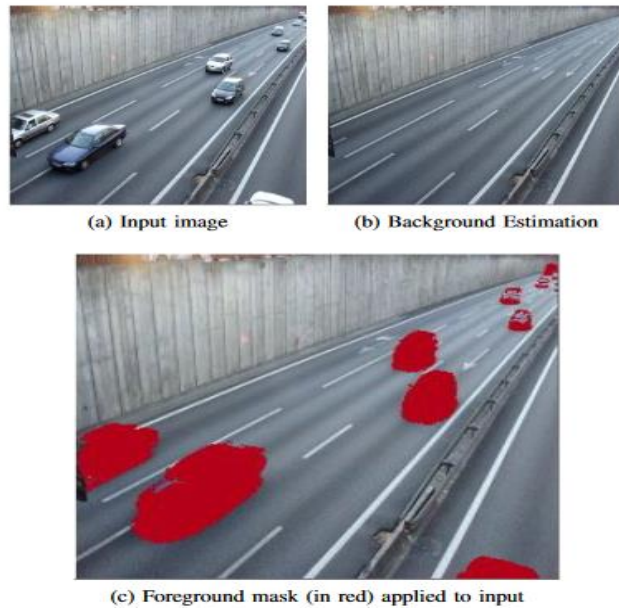
Do danas su razvijeni mnogi algoritmi koji uspijevaju izvlačiti prometne parametre procesiranjem snimaka iz videokamera. Danas se najčešće koriste algoritmi temeljeni na razlici u odnosu na pozadinu za detektiranje vozila. Neke od takvih metoda opisane su i u ranijim poglavljima, a najčešće su [12]:

- Optički tok (engl. *Optical flow*) jedna je od tehnika gdje se računaju pomaci određenih točaka na objektu od interesa kroz tijek videa (slika 9.).



Slika 9. Princip rada metode optičkog toka [12]

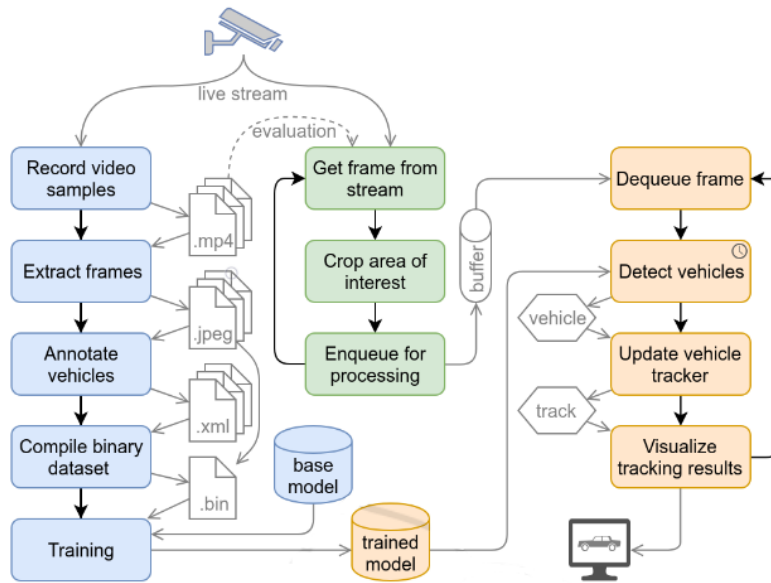
- Ranije opisana metoda suzbijanja pozadine može detektirati objekte pod pretpostavkom da će pozadina uvijek izgledati isto ili će se mijenjati u malim pomacima (slika 10.).



Slika 10. Princip rada metode suzbijanja pozadine [12]

- Skriveni Markov Model (engl. *Hidden Markov Model*) jedna je od metoda koja se dobro nosi s međusobnim zaklanjanjem među objektima jer računa vjerojatnost pripadnosti određene točke vozilu. Prvo izvlači značajke iz slike te ih svrstava u određene kategorije (cesta, vozilo, dio vozila) te nakon analize sekvence pronađenih kategorija detektira vozila.

S druge strane, razvoj umjetnih neuronskih mreža doveo je do jednostavnosti izvođenja zadataka računalnog vida. Neuronske mreže na temelju pohranjenog znanja imaju mogućnost same prepoznati objekte te učiti detektirati nove nepoznate objekte strojnim učenjem. Znanje na temelju kojeg neuronske mreže uče pohranjeno je u setovima podataka za treniranje sustava.



Slika 11. Tok podataka u sustavu prepoznavanja objekata [29]

Slika 11. prikazuje primjer toka podataka u sustavu za detekciju vozila koji koristi model strojnog učenja. Korištenjem umjetnih neuronskih mreža izbjegava se dosta izazova kod prepoznavanja objekata. Međusobno zaklanjanje objekata, detekcija pod različitim osvjetljenjem, lažne detekcije sjena samo su neki od problema koje neuronske mreže lako svladavaju. S druge strane, sustav na temelju neuronskih mreža ne može biti univerzalan jer se setovi podataka za treniranje koriste za svaku lokaciju pojedinačno. Svaka lokacija ima različite karakteristike poput kuta pogleda kamere i boja scene što zahtijeva specifičan set za treniranje. Također, metoda strojnog učenja nije uvijek najefikasnija metoda izvedbe sustava zbog velikih zahtjeva za snagom procesiranja.

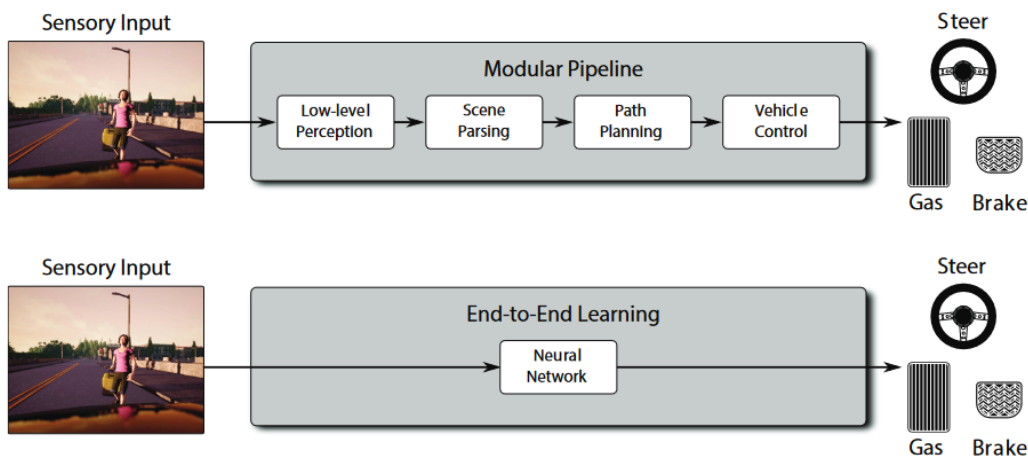
4.3. Autonomna vozila

Iako je prva uspješna demonstracija autonomnog vozila bila još u 1980.-ima, potpuna autonomna navigacija u stvarnim uvjetima još dan danas nije u potpunosti realizirana. Dva su razloga tome: kao prvo, autonomni sustavi koji djeluju u složenim i dinamičnim uvjetima zahtijevaju model koji donosi pravovremene i razumne odluke u nepredvidivim situacijama. Kao drugo, odluke zahtijevaju minimalno ljudsku točnost percepcije i rasuđivanja za što današnji modeli računalnog vida još nisu potpuno sposobni. Bez obzira na to, djelomična autonomija u vozilima je do danas postignuta, a potpuna autonomija je u stalnom razvoju.

Prema *Society of Automotive Engineers (SAE International)* postoji šest razina autonomije vozila [30]:

0. razina – nema autonomije, vozač u potpunosti kontrolira vozilo
1. razina – sustav je u mogućnosti pomoći vozaču izvršiti **jedan** zadatak u vožnji
2. razina – sustav istovremeno može izvršavati više zadataka u vožnji (npr. adaptivni tempomat i praćenje prometne trake)
3. razina – vozač u određenim situacijama može prepustiti vožnju sustavu, ali mora biti spreman preuzeti kontrolu u bilo kojem trenutku
4. razina – sustav u potpunosti može upravljati vozilom, a vozač može preuzeti kontrolu kada to poželi i
5. razina – sustav u potpunosti upravlja vozilo u svim uvjetima i vozač nije potreban.

Postojeći pristupi izvođenja sustava autonomne vožnje ugrubo se mogu izraziti kao modularni dijagram toka (engl. *Modular pipeline*) ili kao strojno *End-to-End* učenje (slika 12.).



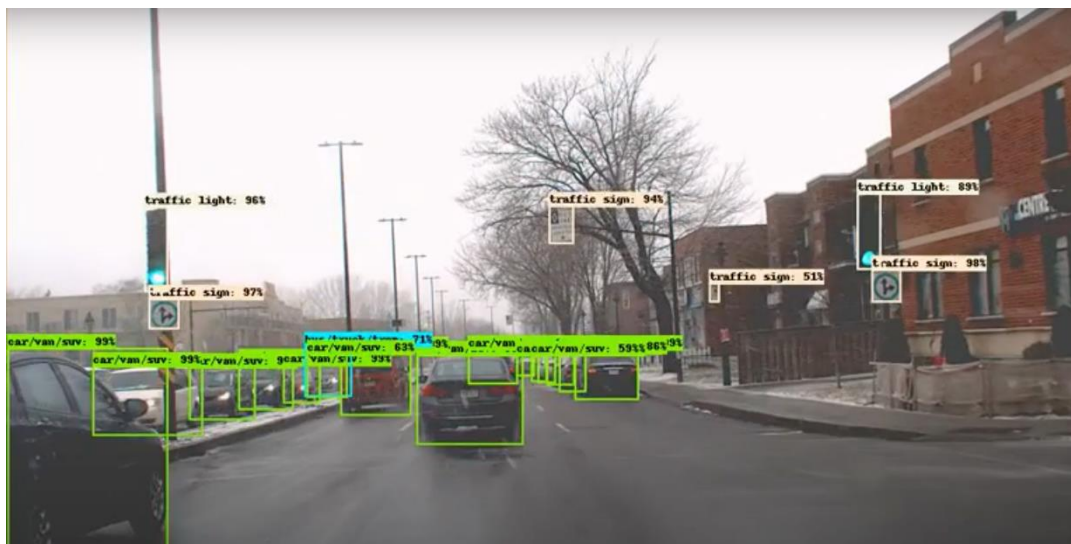
Slika 12. Pristupi izvođenja sustava autonomne vožnje [10]

Modularni dijagram toka je standardni pristup izvođenja sustava gdje je ideja razlučiti složeni sustav rasuđivanja na manje dijelove koji se mogu svaki zasebno razvijati, trenirati i testirati. Na slici 12. ti dijelovi se sastoje od percepcije, raščlanjivanja scene, planiranje rute i kontrole vozila. Međutim, to je samo jedan od načina moduliranja sustava. U takav sustav često se ubacuje i strojno učenje (npr. duboke neuronske mreže) za raščlanjivanje scene na pojedine komponente. Činjenica da je ljudsko posredništvo prisutno u pojedinom dijelu modularnog dijagrama te da se svaki dio zasebno trenira, dovodi do funkcije gubitka što je nedostatak ovakvog sustava. Na primjer, detekcija objekata je definirana u sustavu što znači da će sustav često detektirati objekte koji nisu relevantni za trenutnu situaciju čime sustav troši kapacitet na nerelevantne detekcije.

Alternativu modularnog dijagrama toka predstavljaju *end-to-end* modeli na temelju strojnog učenja gdje pokušavaju naučiti svoju funkciju po zapažanju. Primjer takvog modela su duboke neuronske mreže. Parametri mreže se mogu naučiti ili imitiranjem ponašanja 'učitelja' ili pomoću potpomognutog učenja istraživanjem različitih situacija i donošenja onih odluka koje bi potencijalno mogle biti 'najbolje'. Najveći nedostatak ovakvog modela je taj što je neuronska mreža sama po sebi 'crna kutija' te je teško točno razumjeti zašto je došlo do određenog zaključka [10]

Navigacija autonomnih vozila najčešće se oslanja na kombinaciju više senzora uključujući kamere, odometre na kotačima i mjerne instrumente (SONAR, RADAR, LiDAR). Kombinacijom podataka s različitih senzora povećava se opseg percepcije te se smanjuju utjecaji nedostataka pojedinih senzora.

S obzirom na to da vozilo dijeli cestu s mnogim drugi sudionicima u prometu, pouzdana detekcija objekata igra ključnu ulogu kod automatiziranja vožnje. Autonomno vozilo baš kao i vozač mora u svakom trenutku biti svjesno prisutnosti drugih sudionika u prometu oko sebe (slika 13.). To je posebno teško u urbanim područjima gdje se pojavljuje mnogo objekata koji se međusobno zaklanjaju. Također, refleksije na reflektivnim površinama i sjene mogu otežati detekciju relevantnih objekata.



Slika 13. Detekcija objekata tijekom vožnje [10]

Izvođenje detekcije objekata najčešće se izvršava korištenjem video kamera. Spektral vidljive svjetlosti koristi se po danu, a infracrveni spektar po noći¹¹. Aktivni senzori poput laserskih skenera mogu pomoći pri određivanju udaljenosti objekata te sliku pretvoriti u 3D pogled¹², no oslanjanje isključivo na aktivne senzore nije efikasno jer su osjetljivi na vremenske uvjete te daju rezultat puno manje rezolucije od kamera [10].

4.4. Brojanje putnika

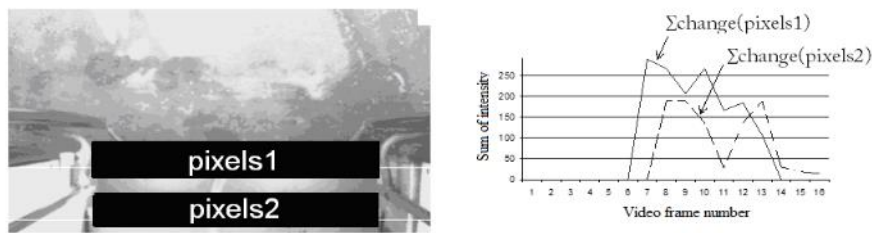
Brojanje putnika predstavlja nešto jednostavniji zadatak računalnog vida od prethodnih. Bez obzira na to, brojanje putnika donosi neke druge izazove koje je potrebno svladati. Svaki putnik se razlikuje izgledom, fizičkim dimenzijama i odjećom. Okolina svake stanice je različita i to ne samo pozadinom nego osvjetljenjem, pozicijom sunca i sjena. Također, potrebno je razaznati putnike koji se ukrcavaju od onih koji se iskrcavaju te imati na umu da jedna osoba može zauzeti između 20 % i 50 % kadra, a u određenim situacijama (pri istovremenom ulasku/izlasku dvije ili više osoba) mogu zauzeti i do 90 % kadra. Činjenica da se kod brojanja putnika ne treba detektirati objekte na način da bude vidljivo što više atributa, već samo da se vidi prolazak objekta, omogućava postavljanje kamere da snima prolaz iz

¹¹ Termalne kamere detektiraju toplinsko zračenje objekata što omogućava raspoznavanje toplih objekata poput pješaka u hladnijoj okolini.

¹² Laserski skeneri emitiraju svjetlost te računaju udaljenost objekta na temelju vremena koje je potrebno da se reflektirana svjetlost vrati natrag do senzora.

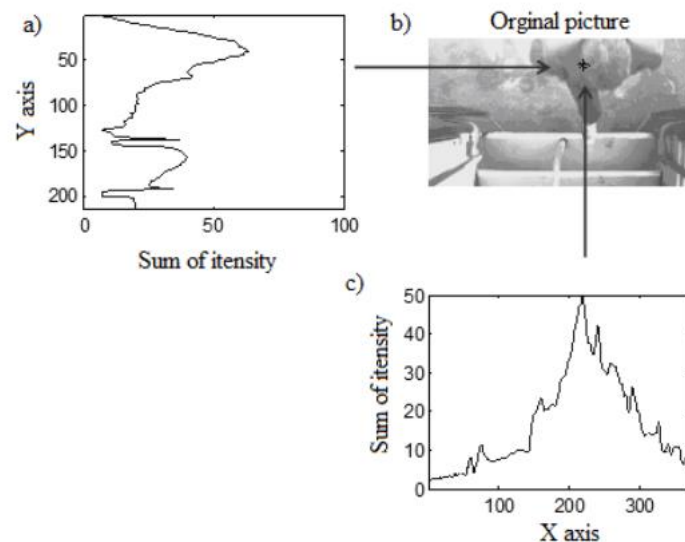
ptičje perspektive. Time se eliminiraju međusobna zaklanjanja objekata i olakšava izvedba algoritma za detekciju.

Isto kao i kod prethodnih slučajeva, brojanje putnika računalnim vidom može se izvesti na više načina. Jedan način je metodom simulacije barijere koja radi po logici AKO-ONDA (engl. *IF THEN*): AKO je područje *pixels1* prijeđeno prije područja *pixels2*, ONDA putnik ulazi, kao i obrnuto, ONDA putnik izlazi (slika 14.).



Slika 14. Metoda simulacije barijere [31]

Jedan od načina brojanja putnika može biti metodom na temelju intenziteta maksimalne detekcije: detekcija se ostvaruje računanjem maksimalnog intenziteta s obzirom na X i Y os (slika 15.). Intenzitet detekcije na X osi pomaže locirati osobu na X osi dok se pomoću intenziteta na Y osi može vidjeti kretanje osobe tj. ukrcaj ili iskrcaj.



Slika 15. Metoda maksimalnog intenziteta detekcije [31]

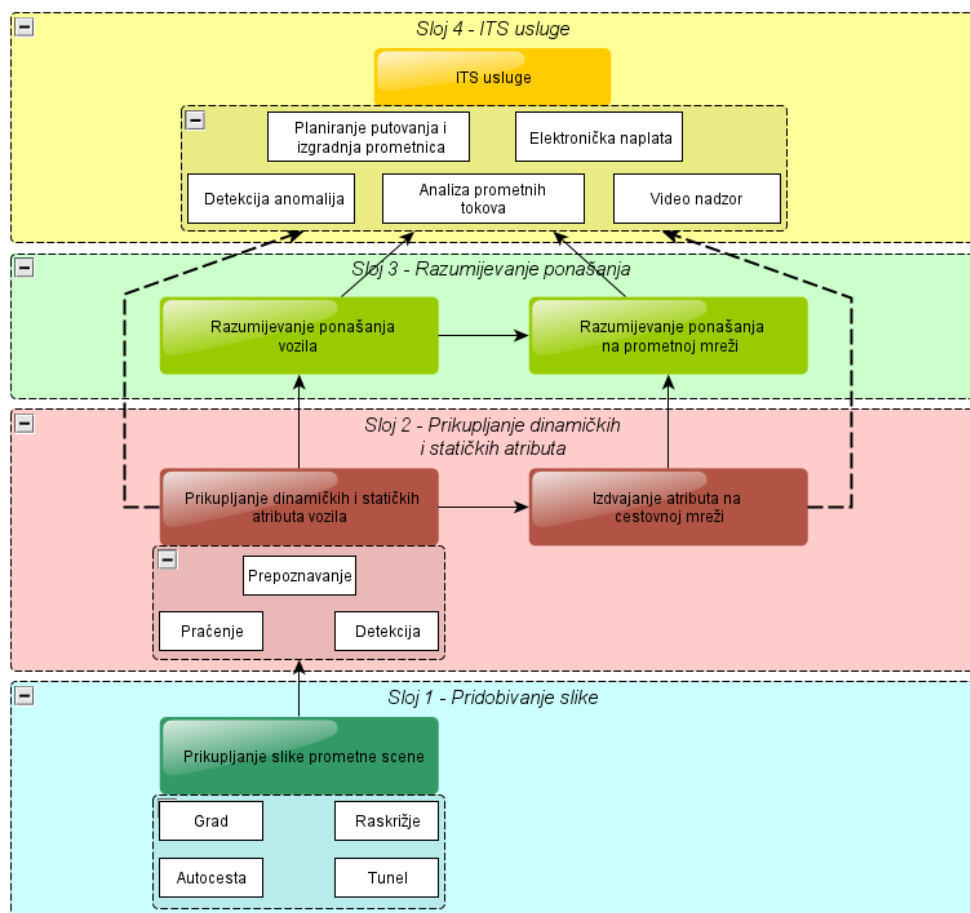
Prethodne metode nisu precizne kod brojanja istovremenog ukrcaja/iskrcaja više osoba. Podjelom područja detekcije na više dijelova kod metode simulacije barijera može se povećati preciznost mjerenja za vrijeme ulaska/izlaska dva putnika istovremeno. Ako se područja mjerenja podjele na 4 dijela (2 s lijeve strane i 2 s desne) jedan putnik će prolaziti kroz područja samo s jedne strane što omogućuje detekciju dva putnika istovremeno [31].

5. Načini obrade i distribucije prikupljenih podataka

Složenost različitih sustava potrebno je promatrati s više motrišta uz rastavljanje na pojedine komponente. To je razlog iz kojega se u prometnim, transportnim i komunikacijskim sustavima primjenjuje arhitektura. Arhitektura sustava omogućava efektivno dizajniranje, ali i nadograđivanje već postojećih sustava novima. Svaki novi podsustav koji je dio jedne velike cjeline, moguće je pojednostaviti i prikazati međusobnu povezanost svake komponente.

5.1. Arhitektura inteligentnog nadzornog sustava

Analizom postojećih nadzornih sustava može se postaviti općenita hijerarhijska arhitektura prikazana na slici 16. [32].

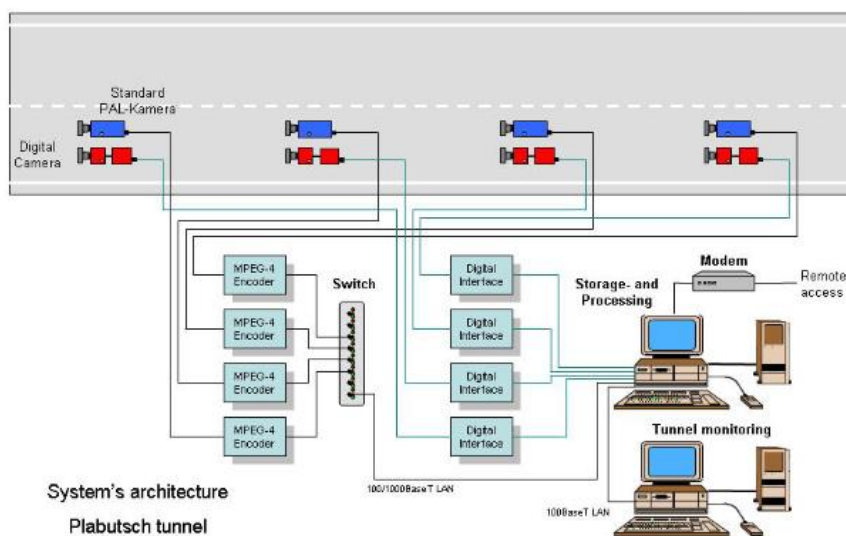


Slika 16. Općenita arhitektura inteligentnog nadzornog sustava [32]

Arhitektura inteligentnog nadzornog sustava podijeljena je u četiri sloja:

1. Sloj *Pridobivanje slike*: Funkcija ovog sloja je prikupljanje slika prometa korištenjem vizualnih senzora.
2. Sloj *Prikupljanje dinamičkih i statičkih atributa*: Iz dobivenih slika izvlače se atributi objekata. Dinamički atributi su oni koji se odnose na attribute kretanja, poput brzine, smjera kretanja, trajektorija itd. Statički atributi opisuju izgled objekta (boja, oblik, tip objekta i dr.).
3. Sloj *Razumijevanje ponašanja*: U ovom sloju se analiziraju statički i dinamički atributi objekta kako bi se razumjelo ponašanje i percipirao status objekta u prometnom sustavu.
4. Sloj *ITS usluge*: Na temelju rezultata prethodnih slojeva, ovaj sloj pruža ITS usluge za efikasnije vođenje i kontroliranje prometa (videonadzor, detekcija anomalija, brojanje prometa i dr.).

Izgradnja sustava po isplaniranoj arhitekturi pojednostavljuje analizu pojedinog sloja te olakšava razumijevanje pojedinog dijela sustava. Zbog kompleksnosti izvođenja inteligentnog nadzornog sustava potrebno ga je rastaviti na manje dijelove. Time se točno određuje tok procesa koje je potrebno napraviti kako bi sustav uspješno obavljao svoju funkciju. Na ovaj način se svaka komponenta sustava može zasebno razvijati te ako sustav u nekom dijelu zakaže, lako je pronaći dio koji je potrebno korigirati bez utjecaja na druge dijelove sustava.



Slika 17. Prosljeđivanje podataka s nadzornih kamera na kontrolni centar [11]

Činjenica da se prometni sustav stalno nadograđuje, bilo da je riječ o izgradnji nove infrastrukture ili ugrađivanju novih tehnoloških rješenja, govori da će se ponekad novi sustavi susretati sa starijima koji rade na drugačijoj tehnologiji. Na primjer, ugradnja novih digitalnih kamera u tunel u kojem su već ugrađene analogne kamere. Radi smanjenja troškova i nastavka uporabe analognih kamera koje i dalje ispunjavaju svoju funkciju, sustav je ponekad potrebno prilagoditi kako bi bio kompatibilan sa starijom i s novijom tehnologijom. Slika 17. prikazuje shemu spajanja novih digitalnih kamera na kontrolni sustav tunela. Stare analogne kamere spojene su na kodere koji pretvaraju analogni signal u digitalni, a digitalne kamere su spojene na digitalno sučelje i idu direktno u sustav na daljnje procesiranje i pohranu [11].

5.2. Arhitektura sustava za upravljanje prometom

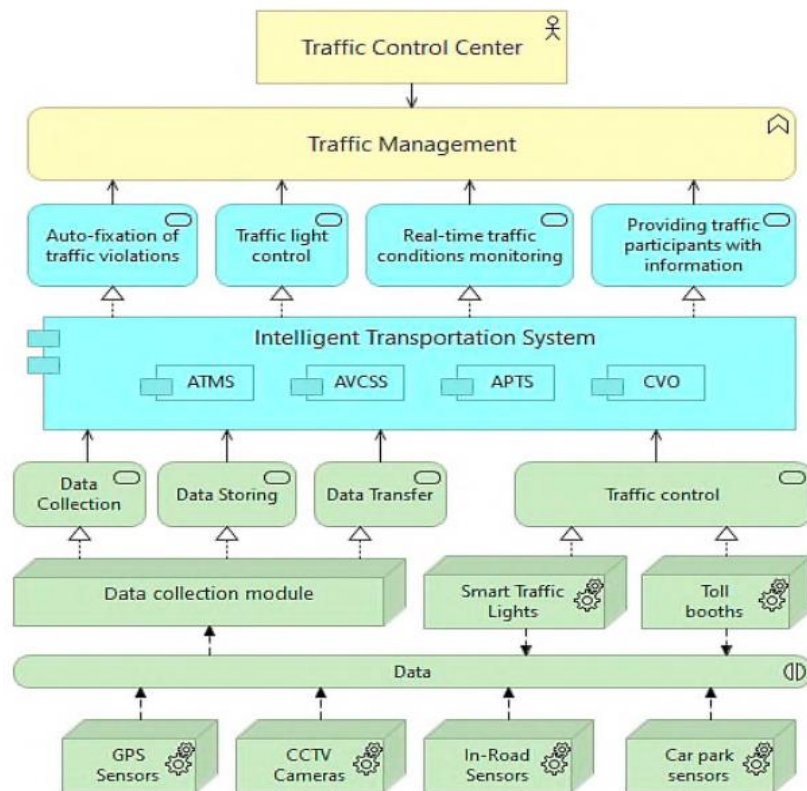
Pametni gradovi koriste mnogo različitih podsustava povezanih u jednu cjelinu. Svaki podsustav ima svoju funkciju koje, spajanjem u cjelinu, imaju za cilj adaptivno djelovati u promjenjivim uvjetima i situacijama. Neki od glavnih ciljeva Inteligentnih Transportnih Sustava (ITS) su sljedeći:

- smanjenje prometnih zagušenja uz optimizaciju prometnog toka;
- praćenje prometnih uvjeta u stvarnom vremenu u svrhu dodjeljivanja prioriteta;
- smanjenje utjecaja štetnih plinova;
- osiguravanje stabilnog prometnog toka JGP-a i
- stvaranje efikasnog sustava za odaziv na incidente.

Sustavi koje je potrebno povezati u jednu cjelinu se sastoje od:

- prometnog centra;
- inteligentnih transportnih sustava (ITS);
- različitih senzora na prometnoj infrastrukturi, uključujući GPS te
- CCTV kamere.

Iako u Zagrebu ne postoji glavni prometni centar, podaci o broju putnika mogu se slati u centar JGP-a. Primjer arhitekture sustava za upravljanje prometom prikazan je na slici 18. [33].



Slika 18. Arhitektura sustava za upravljanje prometom [33]

Sa slike 18. vidljivo je da najniži sloj čine pojedini senzori za prikupljanje podataka o prometnom stanju te se svi podaci kombiniraju u zajednički sloj gdje se dalje raspoređuju ovisno o njihovoj funkciji. Za ovakav sustav bitno je osigurati da se podaci svih podsustava integriraju u jednu cjelinu kako bi sustav mogao biti što efikasniji.

Kamere i senzori u stvarnom vremenu šalju podatke trenutnog prometnog stanja Inteligentnom Transportnom Sustavu koji informira glavni prometni centar. Prema ISO (engl. *International Standardization Organization*) ITS usluge dijele se na 11 funkcionalnih područja, no na primjeru sa slike 18. prikazane su njih četiri [33]:

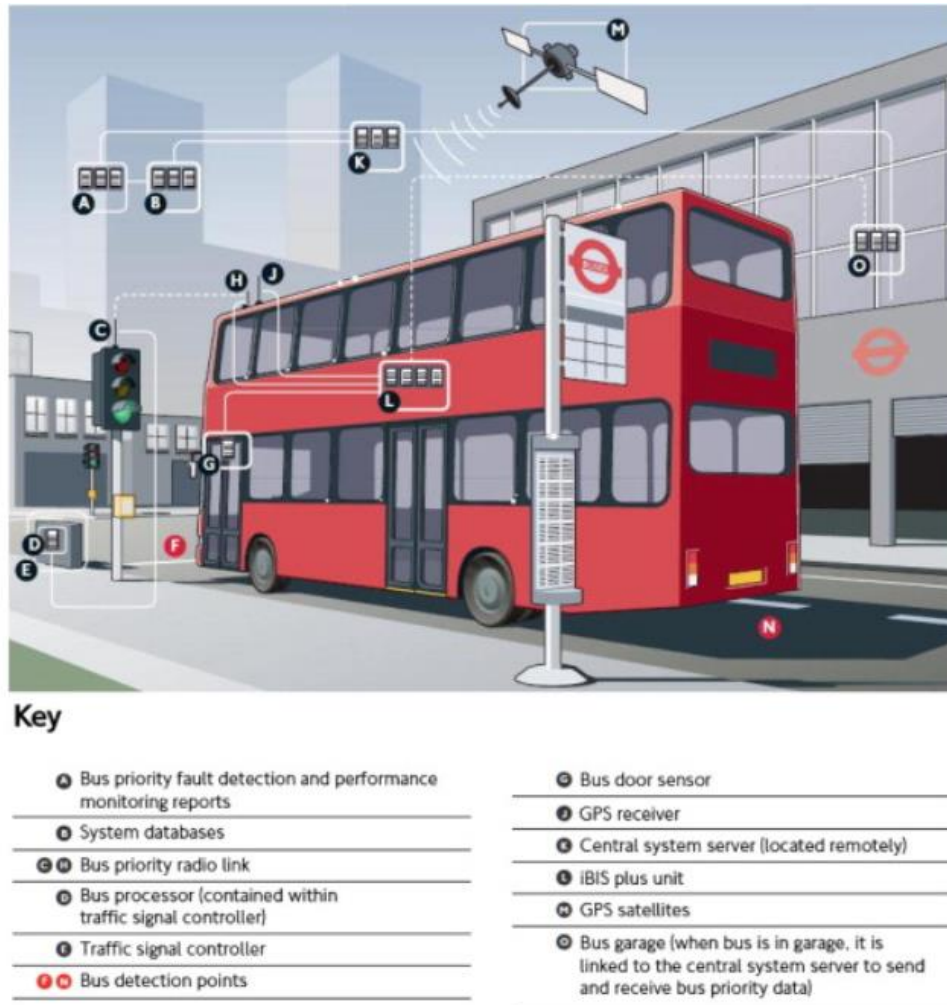
- Sustavi za napredno upravljanje prometom (engl. *Advanced Traffic Management System - ATMS*) – obrađuje podatke o trenutnom prometnom stanju pomoću kojih aktivno upravlja prometom i daje smjernice vozačima za sigurnije i kraće putovanje
- Napredni sustavi za kontrolu i sigurnost vozila (engl. *Advanced Vehicle Control and Safety System – AVCSS*) – koristi senzore u vozilima za upozoravanje i informiranje vozača o potencijalnim opasnostima
- Napredni sustav javnog gradskog prijevoza (engl. *Advanced Public Transportation System – APTS*) – informira korisnike o uslugama JGP-a (broj slobodnih mjesta, vrijeme dolaska, lokacija vozila i dr.). Također, može se koristiti za optimiziranje toka voznog parka na voznim trasama.
- Operabilnost komercijalnih vozila (engl. *Commercial Vehicle Operation – CVO*) – kombinira funkcije prethodnih aplikacija u svrhu upravljanja komercijalnim vozilima poput autobusa, vozila žurnih službi, kamiona, taksija i dr.

5.3. Sustav za automatsko lociranje vozila

U velikim gradovima razvijaju se sustavi automatskog lociranja vozila (engl. *Automatic Vehicle Location – AVL*) radi poboljšanja efikasnosti cestovnog JGP-a. Glavna platforma za takav sustav je GPS (engl. *Global Positioning System*), a danas su podržane i aplikacije za praćenje informacija o putnicima u stvarnom vremenu (engl. *Real-Time Passenger Information – RTPI*), upravljanje voznim parkom (engl. *Fleet Management and Operations – FMO*) i pridodavanje prioriteta (engl. *Public Transport Priorities – PTP*). Uz ubrzani razvoj AVL sustava u javnom prijevozu, postoje različiti tipovi arhitektura u različitim gradovima. Sličnost svih AVL sustava je ta da je potreban glavni centar koji može efikasno obrađivati podatke.

Jedan od najvećih AVL sustava u Europi je iBus sustav u Londonu. IBus prati sve londonske autobuse i odašilje njihovu lokaciju glavnom centru svakih 30 sekundi. Informacije o lokaciji autobusa koriste se za poboljšanje pouzdanosti usluge, za informiranje putnika (RTPI), za davanje prioriteta autobusima na raskrižjima i za daljnju pohranu i obradu

podataka za neke druge usluge. Slika 19. prikazuje pojednostavljeni prikaz komponenata iBus sustava.



Slika 19. Sustav iBus [34]

Tri glavne komponente za lociranje i pohranu lokacija autobusa su:

- Jedinica u vozilu (engl. *On Bord Unit* – OBU) ugrađena u svaki autobus (na slici 19. označeno slovom L);
- Podatkovni server u svakom autobusnom spremištu (slovo O) te

- Centralni server lociran na udaljenoj lokaciji (slovo K), na kojem se nalaze zapisi autobusnih ruta, vremena dolaska i odlaska, učestalosti vožnje i informacije o pojedinim aplikacijama poput lokacija detektora za davanje prioriteta autobusima na raskrižjima.

Svaki OBU u autobusima igra ključnu ulogu kod prikupljanja podataka. Autobusi preko GPS prijavnika bilježe lokaciju s time da koriste *map matching*¹³ algoritme za točnije računanje lokacije. Također, OBU prikuplja druge podatke o aktivnostima autobusa pri vožnji. OBU automatski prenosi podatke na podatkovni server pri povratku u spremište putem bežične veze (WLAN). Podaci s podatkovnog servera šalju se u centralni s potpisom MAC adrese OBU uređaja. Za vrijeme stajanja autobusa u spremištu, autobus je spojen na mrežu iBus sustava te se putem WLAN-a mogu ažurirati OBU uređaji o novim rutama, lokacijama detektora itd. Svi podaci se spremaju na centralni server te se mogu koristiti za analize i izvješća [34].

¹³ *Map matching* je postupak integriranja prostornih podataka sa digitalnim kartama s ciljem prikazivanja pozicije vozila. Postoji više različitih *map matching* algoritama a najčešće se koristi *Hidden Markov model* koji se bazira na računanju vjerojatnosti da se vozilo nalazi na određenoj prometnici i na vjerojatnosti da se pomaknulo na sljedeću prometnicu. Neki od drugih *map matching* algoritama su algoritam na temelju udaljenosti, algoritam na temelju uzoraka, uvjetno slučajno polje (engl. *Conditional random field*), filter čestica (engl. *Particle filter*) i dr. [35].

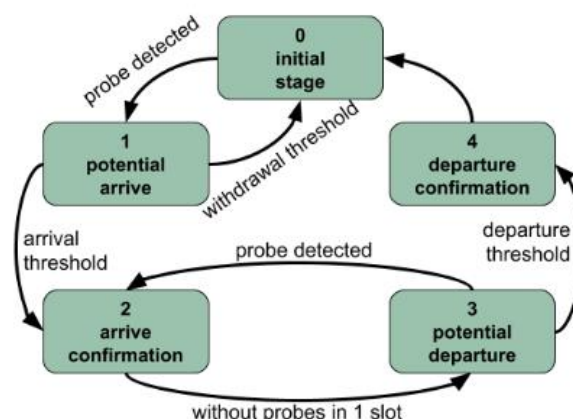
6. Usporedba načina brojanja putnika

Kao što je ranije spomenuto, ručno brojanje putnika može biti precizno ako se izvodi na pravilan način, ali ručna mjerenja velikim djelom ovise o rukovodiocu koji provodi mjerenja te su neefikasna za kontinuirano provođenje. S druge strane, automatsko brojanje putnika je puno pogodniji način mjerenja i privlači više interesa za dugoročnije analize.

Iako su mnogi načini automatskog brojanja putnika još u razvoju, dostupne tehnologije su raznolike i ne može se sa sigurnošću odrediti da je jedna bolja od druge. Tehnologije se međusobno razlikuju u cijeni, složenosti ugradnje i održavanja, preciznosti pod različitim uvjetima i dr. Svako rješenje trebalo bi proći detaljne analize s obzirom na okolnosti pod kojima bi se koristilo te bi se pružatelji usluge trebali odlučiti za ono rješenje koje najbolje odgovara njihovim zahtjevima.

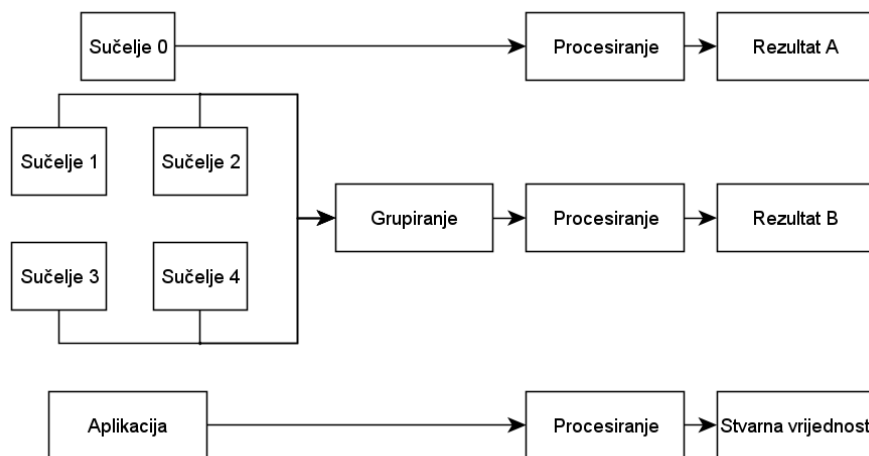
6.1. Rezultati brojanja putem Wi-Fi signala

Jedan od načina automatskog brojanja putnika je detekcijom uređaja preko Wi-Fi-ja. Proces skeniranja je odrađen kad god je Wi-Fi sučelje aktivno, bez obzira je li uređaj spojen na mrežu. Uređaji korisnika konstantno traže dostupne Wi-Fi mreže čak i kada su već spojeni na mrežu kako bi mogli pronaći pristupnu točku s jačim signalom. Prema autorima [4] dizajniran je uređaj *Sherlock* koji na osnovi Wi-Fi signala detektira zahtjeve za spajanje/otkrivanje pristupne točke te procjenjuje broj osoba na lokaciji. Pojednostavljena vizualizacija procesa vidljiva je na slici 20.



Slika 20. Proces detekcije prisutnosti putnika [4]

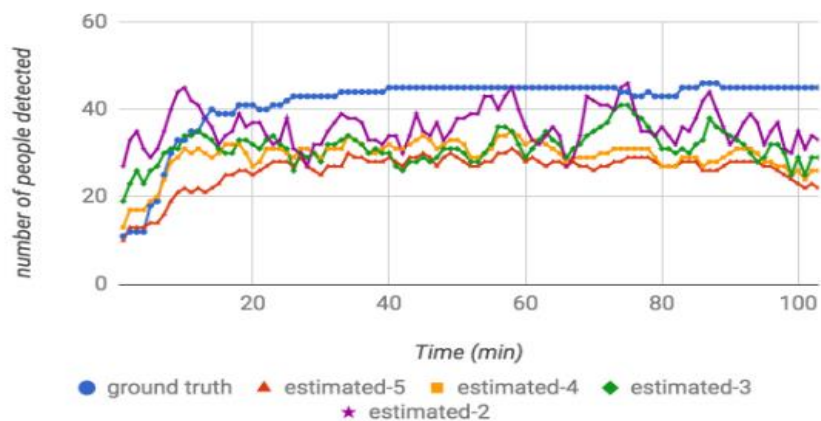
Uređaj Sherlock prati bežični promet na kanalu tri (3) sekunde nakon čega se prebacuje na drugi kanal¹⁴. U nastavku su prikazani rezultati mjerenja preko različitih sučelja. Sučelje 0 mjeri na kanalima od 1 do 13 koristeći jednu antenu te su rezultati mjerenja obrađeni i prikazani zasebno. Sučelja od 1 do 4 vrše mjerenja paralelno svaki sa svojom antenom. Sučelje 1 prati kanale 1, 2 i 3; sučelje 2 kanale 4, 5, 6; sučelje 3 prati kanale 7, 8, 9; sučelje 4 prati kanale 10, 11, 12. Slika 21. prikazuje tijek rada mjerenja te kako su prikazani rezultati istraživanja.



Slika 21. Tijek mjerenja za pojedino sučelje [4]

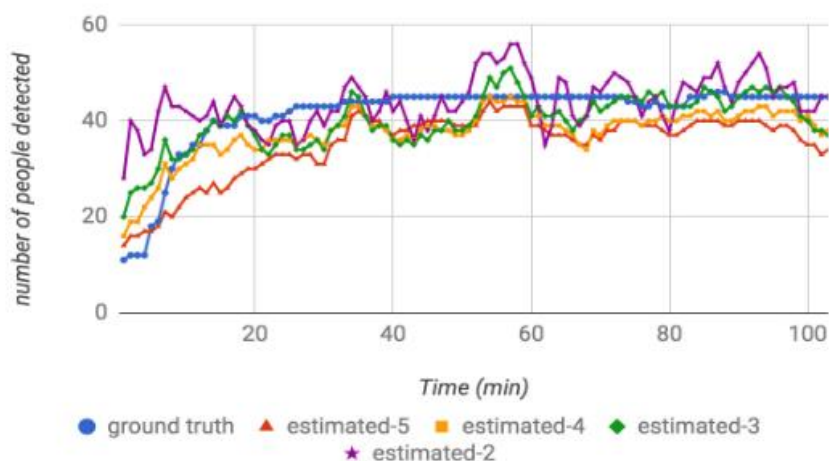
Prema istraživanjima [4] dobiveni su rezultati A (grafikon 2.) i rezultati B (grafikon 3.). Istraživanje je provedeno 2019. godine u dvorani na Sveučilištu u Brazilu u gradu Rio de Janeiro (*Federal University of Rio de Janeiro*) tijekom 1 sata i 47 minuta.

¹⁴ Wi-Fi mreže šalju podatke preko različitih kanala kako bi se izbjeglo miješanje signala različitih uređaja. Standardni Wi-Fi ruteri koji rade na frekvenciji od 2.4 GHz koriste 11 kanala, dok na 5GHz koriste 45 kanala.



Grafikon 3. Rezultati mjerenja s jednom antenom - rezultati A [4]

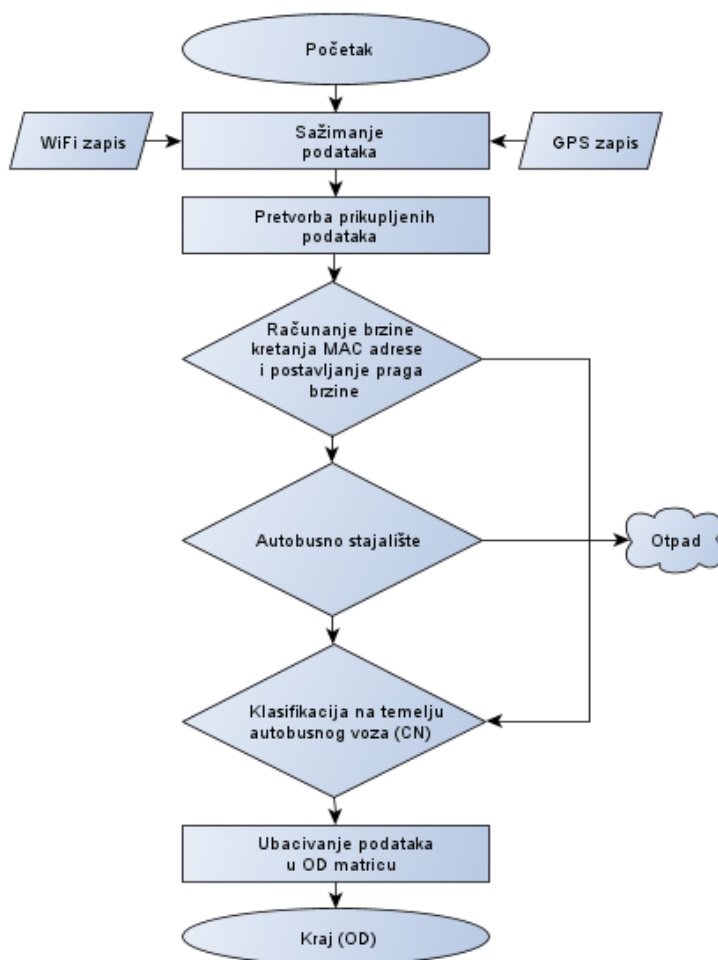
Na grafikonima 2. i 3. plavom bojom prikazane su stvarne vrijednosti, tj. stvaran broj osoba u dvorani. Drugim bojama prikazani su rezultati s prilagođenim pragovima dolaska i odlaska signala. Naime, detekcija prisutnosti je zamišljena tako da pri pojavi novog signala, potrebno je detektirati njegovu prisutnost više puta kako bi se izbjegle lažne detekcije. Isto vrijedi i za odlazak signala. Prema tome je crvenom krivuljom prikazana detekcija kad je prag bio 5, žutom krivuljom kad je prag bio 4, zelenom 3 i ljubičastom 2. Kao što je vidljivo na slikama, ljubičasta krivulja koja ima najmanji prag je najnestabilnija i najmanje precizna. Razlog tome je što vrši zaključke o dolasku i odlasku signala za hitar način zbog malog praga. S druge strane, crvena linija s najvećim pragom je najstabilnija. Za očekivati je da će broj mjerenja biti najčešće manji od stvarnog broja zato što neki uređaji nemaju uključen Wi-Fi te neki ljudi uopće nemaju uređaje koji se bežično spajaju na mrežu.



Grafikon 2. Rezultati mjerenja s četiri antene - rezultati B [4]

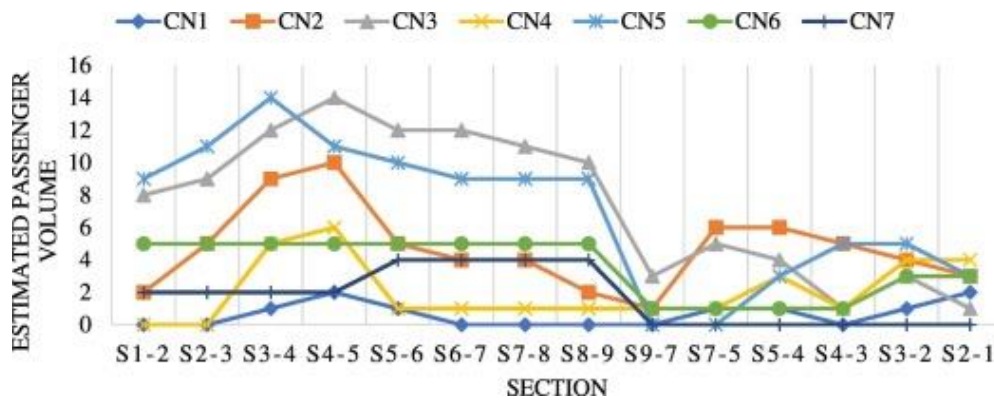
Razlika u rezultatima između A i B jest u tome što je mjerenje na grafikonu 3. obavljeno s četiri različite antene. Vidljivo je da mjerenja s više antena daju preciznije rezultate, ali se rezultati međusobno približavaju s povećanjem praga jer time sustav postaje konzervativniji. Stoga, crvene krivulje s obje slike daju slične rezultate.

Autori rada [5] proveli su testiranje sustava za brojanje putnika u autobusu u gradu u Japanu. Autobus ima maksimalni kapacitet od 25 osoba te prometuje na ruti od devet stanica u jednom smjeru u vremenu između 9:50 do 17:10 sati. Brojanje putnika s Wi-Fi skenerom uspoređeno je s ručnim brojanjem čiji rezultati predstavljaju stvaran broj putnika. Dijagram toka procesa obrade podataka s Wi-Fi skenerom je prikazan na slici 22.



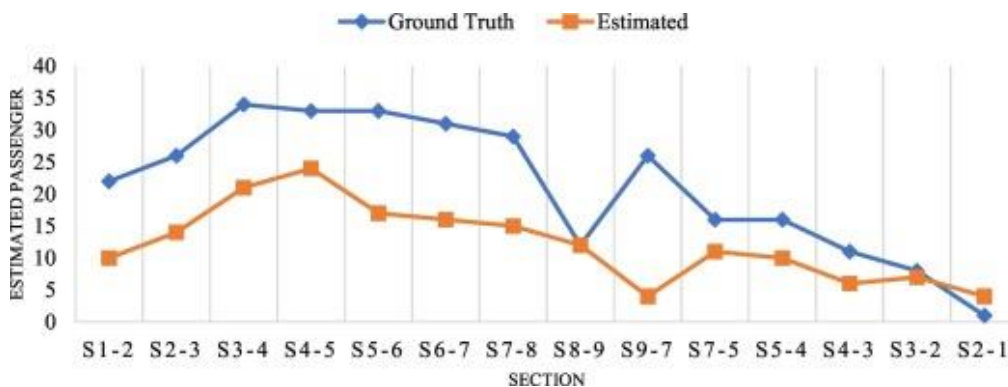
Slika 22. Dijagram toka brojanja putnika pomoću Wi-Fi skenera [5]

Rezultati volumena putnika prikazani su na grafikonu 4. Volumen putnika označava broj putnika u autobusu između dvije stanice. Broj putnika tijekom jedne cirkulacije autobusa po ruti označena je krivuljom jedne boje (engl. *Circulation Number* – CN) te predstavlja put od stanice 1 do stanice 9 i natrag.



Grafikon 4. Rezultati brojanja putnika u autobusu putem Wi-Fi skenera [5]

Za potrebe usporedbe rezultata mjerenja s stvarnim brojem putnika provedeno je i ručno brojanje putnika u CN2 i CN3. Grafikon 5. prikazuje usporedbu estimacije putnika pomoću Wi-Fi skenera i stvarnog broja putnika.



Grafikon 5. Usporedba rezultata brojanja Wi-Fi skenerom i stvarnog broja putnika [5]

Sa grafikona 5. je vidljivo da je procjena putnika na temelju Wi-Fi signala nešto manja od stvarnog broja putnika. To je očekivano zato što najčešće osobe starije dobi ne koriste Wi-Fi uređaje te neki putnici nemaju upaljen Wi-Fi. Također, vidljivo je da grafikon 5. procjene

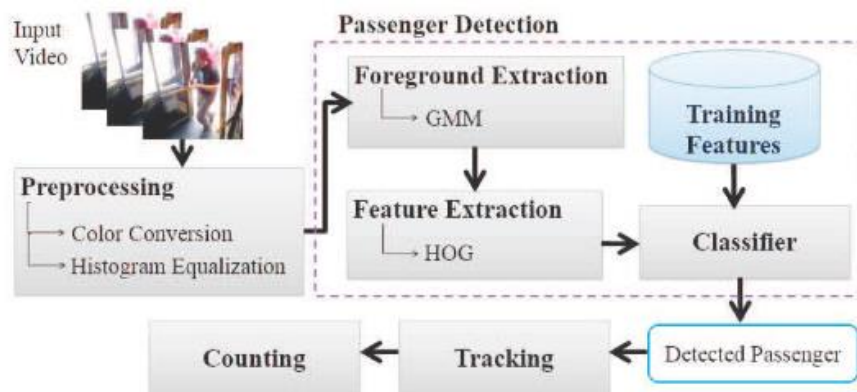
putnika prati trend stvarnog broja putnika, tj. krivulje imaju visoki stupanj korelacije – 0.78 (Pearsonov koeficijent korelacije¹⁵).

6.2. Rezultati brojanja putem računalnog vida

Autori rada [36] brojali su putnike u JGP-u pomoću računalnog vida koristeći model temeljen na četiri koraka:

1. Pred-obrađivanje snimke
2. Detekcija putnika
3. Praćenje putnika i
4. Brojanje putnika.

Navedeni koraci prikazani su na slici 23.



Slika 23. Shema modela brojanja putnika računalnim vidom [36]

Detekcija putnika obavljena je načinom suzbijanja pozadine te izvlačenjem značajki primjenom metode histograma orijentiranih gradijenata (HOG)¹⁶. Za učenje sustava korištene su različite kombinacije snimaka gdje putnici izlaze i ulaze u vozilo JGP-a. Korišteno je osam snimki (1, 2, 3, 4, 9, 10, 11 i 12) na kojima putnici ulaze u vozilo i sedam snimki (5, 6, 7, 8, 13, 1 i 15) na kojima izlaze iz vozila. Na tablici 2. prikazani su dobiveni rezultati testiranja

¹⁵ Koeficijent korelacije izražava mjeru povezanosti dvije varijable, tj. koliko je promjena vrijednosti jedne varijable povezana s promjenom vrijednosti druge. Pearsonov koeficijent korelacije mjeri vjerojatnost da vrijednosti jedne statističke varijable odgovara određena vrijednost druge statističke varijable pri izravnoj ili recipročnoj razmjernosti [37].

¹⁶ HOG radi na način da ulaznu sliku dijeli na više dijelova te izrađuje histograme koji pokazuju učestalost pojedinog smjera (orijentacije) gradijenta unutar određenog dijela slike.

sustava ovisno o snimkama koje su korištene za treniranje, a na slici 24. vizualni primjer detekcije putnika korištenjem HOG metode.

Tablica 2. Rezultati testiranja sustava brojanja putnika računalnim vidom [36]

Trening video	Preciznost	Osjetljivost
8, 2	75.62	84.2
8, 3	88.75	91.0
13, 2	78.12	86.2
13, 3	91.21	93.0
Prosjek	83.43	88.6



Slika 24. Detekcija putnika primjenom HOG metode [36]

Iz Tablice 2. vidljivo je da je najveća preciznost ondje gdje su korištene snimke iz oba scenarija (ulazak i izlazak – 13, 3). Iz tog razloga autori su proveli testiranje sustava na svim snimkama za sustav treniran na snimkama 3 i 13. Rezultati su prikazani ispod u tablici 3.

Tablica 3. Rezultati brojanja sustava treniranom na snimkama 3 i 13 [36]

Snimka	Stvarni broj putnika	Prebrojeni putnici	Relativna pogreška (η) (%)
1	50	54	8.0
2	50	53	6.0
4	50	55	10.0
5	27	29	7.4
6	27	28	3.7
7	27	28	3.7
8	27	31	14.8
9	50	59	18.0
10	51	59	15.6
11	50	60	20.0
12	50	56	12.0
14	27	33	22.2
15	27	35	29.6
Prosječan η			13.2

Iz tablice 3. vidljivo je da je detektirano i prebrojeno više putnika nego što ih je zapravo bilo. Razlog tome je taj što su se neki putnici zadržavali u području interesa duže vrijeme te su prebrojeni više puta. Također, zna se dogoditi da neki putnici ne budu detektirani zbog međusobnih zaklanjanja i kompleksnog osvjetljenja i sjena.

Autori ranije spomenutog rada [31] također su proveli istraživanja preciznosti brojanja putnika. Koristili su više različitih metoda detekcije sa kamerom postavljenu tako da snima ulaz/izlaz iz vozila iz ptičje perspektive. Na tablici 4. prikazani su dobiveni rezultati.

Tablica 4. Rezultati preciznosti brojanja putnika putem različitih metoda računalnog vida [31]

	Broj situacija	ABS			ABMID			ABSZ			ACOF		
		Detektirano	Preciznost	T	Detektirano	Preciznost	T	Detektirano	Preciznost	T	Detektirano	Preciznost	T
Izlazak jednog putnika	38	32	84%	0.06	34	89%	0.06	37	97%	0.07	18	47%	0.38
Ulazak jednog putnika	32	28	88%		29	91%		30	94%		14	44%	
Ulazak dva putnika (istovremeno)	20	-	-		-	-		19	95%		-	-	
Izlazak dva putnika (istovremeno)	22	-	-		-	-		20	91%		-	-	
Dva putnika dvosmjerno	30	-	-		-	-		27	90%		-	-	

Na tablici 4. prikazani su rezultati sljedećih metoda: metoda simulacije barijera (ABS), metoda na temelju intenziteta maksimalne detekcije (ABIMD), metoda simulacije barijera po zonama (ABSZ) i metoda na temelju korelacije forme objekta (ACOF). Metoda simulacije barijera po zonama pokazala se kao najpreciznija metoda brojanja putnika (preko 90 %) te je jedina koja može prepoznati dva putnika istovremeno.

6.3. Usporedba brojanja putnika putem Wi-Fi signala i računalnog vida

Uspoređujući načine automatskog brojanja putnika s ručnim brojanjem može se zaključiti da automatsko brojanje putnika ima najveći izazov kod razvoja softvera. Softver je jedna od glavnih komponenti koja može uvelike smanjiti sposobnost sustava za obavljanje funkcije. S druge strane, pravilno dizajniran softver, često održavanje i nadograđivanje može osigurati sustav koji vrlo precizno može obavljati funkciju. Automatski sustavi brojanja putnika zahtijevaju konzistentno održavanje od strane agencija koje se bave bazama podataka, ažuriranjem informacija i planiranjem ruta javnog prijevoza.

Pored softvera, hardver je također jedna od vrlo bitnih komponenti koju je potrebno posebno održavati. Nije rijetkost da dođe do kvara na hardveru i opremi gdje je potrebno obavljati popravke i mijenjati opremu. Također, velika količina hardvera na različitim lokacijama zahtijeva dobru koordinaciju svih komponenata što može predstavljati izazov.

Kao što je i ranije napomenuto, svaki od načina automatskog brojanja putnika ima svoje prednosti i nedostatke. Kod metoda brojanja putnika Wi-Fi signalom, najveći nedostaci su sljedeći:

- ne nose svi putnici uređaje s Wi-Fi sučeljem;
- neki uređaji nemaju uključen Wi-Fi cijelo vrijeme tokom putovanja;
- neki putnici mogu imati više od jednog uređaja i
- moguća detekcija uređaja izvan vozila JGP-a i dr.

Ovisno o metodi izvođenja detekcije putem Wi-Fi signala moguća je pojava i nekih drugih nedostataka. Primjerice, ako se uređaji identificiraju na temelju MAC adrese, novi IOS uređaji prividno mijenjaju MAC adresu kako bi izbjegli neželjeno prepoznavanje uređaja [4]. Također, rezultati ranije prikazanih istraživanja su pokazala manju preciznost u odnosu na detekciju putnika putem računalnog vida.

Prednosti detekcije putem Wi-Fi signala u odnosu na računalni vid su te što je jednostavnije dizajnirati softver, ugradnja Wi-Fi uređaja u vozila JGP-a može imati pozitivnu reakciju putnika, manja cijena i jednostavnost ugradnje te analize podataka. Isto tako prikupljeni podaci mogu prikazati informacije o stanju na stajalištima poput velikih gužvi.

Nedostaci sustava računalnog vida su:

- složenost izvedbe kvalitetnog softvera i sustava općenito;
- različiti načini izvedbe daju različitu preciznost pod različitim uvjetima;
- osjetljivost sustava na vanjske utjecaje (osvjetljenje, zaklanjanja, sjene i dr.);
- visoka cijena;
- potreba za ugradnjom više kamera u jedno vozilo i dr.;

S druge strane, prednosti primjene računalnog vida su te što preciznost detekcije može biti puno veća od Wi-Fi tehnologije kod pravilne izvedbe sustava, postoji puno veći potencijal za prikupljanje dodatnih podataka, velik potencijal za korištenje i drugih aplikacija ITS-a (detekcija anomalija, informiranje putnika, povećanje sigurnosti i dr.) i mogućnost provedbe puno detaljnijih naknadnih analiza.

7. Zaključak

Čest je slučaj da se veliki gradovi susreću s velikim prometnim zagušenjima u vršnim satima. Broj osobnih vozila u stalnom je porastu što situaciju čini sve težom. Veliki se napori ulažu u pronalasku alternativa kako bi se građani motivirali na korištenje drugih modova/načina prijevoza. S obzirom na to da na prometnicama prometuju i vozila JGP-a jedan od velikih zadataka je unaprjeđenje usluga JGP-a.

Prvi korak ka unaprjeđenju usluge jest prikupljanje podataka i analiziranje postojećeg stanja. Nakon što se dobije dobra slika o postojećem stanju, moguće je razaznati u kojim područjima JGP-a postoje problemi koje je potrebno riješiti. Zbog stohastičnosti prometnog sustava daljnjim kontinuiranim praćenjem potrebno je prilagođavati ponudu i pravilno alocirati resurse. Naglasak je na tome da se poveća kvaliteta usluge, smanji vrijeme putovanja, poveća udobnost i sigurnost čime bi se javni prijevoz učinio pristupačnijim od osobnog vozila. U europskim gradovima JGP se unaprjeđuje raznim ITS sustavima pa tako nastaju kompleksni sustavi poput iBus-a u Londonu.

U diplomskom radu najviše se baziralo na prikupljanju podataka putem računalnog vida. Računalni vid može obuhvatiti široko područje i imati velik broj primjena, a tek se očekuje njegov pravi razvoj. Također, ima velik broj primjena te se koristi u ADAS sustavima u vozilima, za detekciju anomalija i nadzor na kritičnoj infrastrukturi te za upravljanje prometom u gradovima.

Brojanje putnika u JGP-u se danas već izvodi na razne načine, ali je nemoguće odrediti način koji daje najbolje rezultate. Ovisno o zahtjevima pojedinih pružatelja usluga JGP-a moguće je odrediti tehniku brojanja putnika koja će imati najbolji omjer cijene i koristi ali je gotovo nemoguće sa 100 % preciznošću kontinuirano brojati putnike.

Što se tiče brojanja putnika putem postojeće Wi-Fi tehnologije koja je uspoređena s računalnim vidom, može se zaključiti da preciznost podataka možda i neće biti zadovoljavajuća. Ovisnost Wi-Fi tehnologije o uređajima u posjedu putnika je nedostatak. Starija populacija i putnici koji su manje informatički pismeni neće koristiti uređaje koje je moguće detektirati što narušava točnost podataka. S druge strane, tehnika mjerenja prisutnosti putem Wi-Fi signala dovoljno je razvijena da uspijeva kvalitetno obavljati svoju funkciju na mjestima gdje je prisutna mlađa populacija. Cijena i jednostavnost ovakvog rješenja također ide u korist.

Korištenje računalnog vida za brojanje putnika pokazala se kao jedna od preciznijih tehnika. Ovisno o uvjetima i karakteristikama javnog prijevoza i okoline, brojanje i detekcija može se izvesti različitim metodama kako bi se zadovoljili zahtjevi. Ono što predstavlja nedostatak računalnog vida je to što je vrlo komplicirano ugraditi ovakav sustav. Potrebno je izraditi ili kupiti algoritam, imati poseban centar za obradu i prikupljanje podataka i ugraditi velik broj kamera u vozila i/ili infrastrukturu. To uvelike povećava cijenu sustava i čini ga složenim za održavanje. Ono što je velika prednost računalnog vida je to što se sustav za brojanje putnika može koristiti i za mnoge druge aplikacije. Detekcija anomalija, videonadzor, prikupljanje analitičkih podataka samo su neke od njih. S obzirom na to da je razvoj računalnog vida u tijeku, isplativost sustava se može samo poboljšati.

Na kraju se da zaključiti da se za one pružatelje usluga koji očekuju potpunu preciznost brojanja putnika možda najviše isplati koristiti dva različita sustava čime bi se mogla smanjiti pogreška. Korištenje računalnog vida samo za brojanje putnika nije isplativa opcija, ali za gradove koji su u razvoju i kojima je cilj unaprijediti prometni sustav u cijelosti, ugradnja računalnog vida bi trebao biti prioritet.

Literatura

- [1] Siebert M., Ellenberger, D. Validation of automatic passenger counting: introducing the t-test-induced equivalence test. *Transportation* 2020;47: 3031-3045. Preuzeto s: <https://doi.org/10.1007/s11116-019-09991-9> [Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [2] Pinna I., Chiara B.D., Deflorio F.P., Torino P.D., Bessala F.M. Automatic passenger counting systems for public transport. *Intelligent Transport* 2010;6 Preuzeto s: <https://www.intelligenttransport.com/transport-articles/3116/automatic-passenger-counting-systems-for-public-transport/> [Pristupljeno: kolovoz 2021.]
- [3] Myrvoll T.A., Håkegård J.E., Matsui T., Septier F. Counting public transport passenger using WiFi signatures of mobile devices. *2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/ITSC.2017.8317687. Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8317687> [Pristupljeno: kolovoz 2021.]
- [4] Oliveira L., Schneider D., De Souza J., Shen W. Mobile Device Detection Through WiFi Probe Request Analysis. *IEEE Access*. 2019;7: 98579-98588. Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8747391> [Pristupljeno: studeni 2021.]
- [5] Hidayat A., Terabe S., Yaginuma H. Estimating bus passenger volume based on a Wi-Fi scanner survey. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. 2020;6. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198220300531> [Pristupljeno: studeni 2021.]
- [6] Szeliski R. *Computer Vision Algorithms and Applications*. London: Springer; 2011. Preuzeto s: https://books.google.hr/books?hl=hr&lr=&id=bXzAlkODwa8C&oi=fnd&pg=PR4&dq=computer+vision&ots=g--964hFAJ&sig=F_Szes1j_ST7HgZGcdgq-kLxd3U&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false [Pristupljeno: kolovoz 2021.]
- [7] Beyerer J., Puente Leon F., Frese C. *Machine Vision Automated Visual Inspection: Theory, Practice and Applications*. London: Springer; 2015. Preuzeto s: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-47794-6> [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

- [8] Santhosh K.K., Dogra D.P., Roy P.P. Anomaly Detection in Road Traffic Using Visual Surveillance: A Survey. *ACM Computing Surveys*. 2011;63(6): 1-26. Preuzeto s: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3417989> [Pristupljeno: rujan 2021.]
- [9] Suarez J.J.P., Naval Jr P.C. A Survey on Deep Learning Techniques for Video Anomaly Detection. *ResearchGate* 2020. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/344422646_A_Survey_on_Deep_Learning_Techniques_for_Video_Anomaly_Detection [Pristupljeno: rujan 2021.]
- [10] Janai J., Guney F., Behl A., Geiger A. Computer Vision for Autonomous Vehicles: Problems, Datasets and State of the Art. *Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision*. 2020;12(1-3): 1-308. Preuzeto s: <https://www.nowpublishers.com/article/Details/CGV-079> [Pristupljeno: listopad 2021.]
- [11] Schwabach H., Harrer M., Holzmann W., Bischof H., Dominguez F.G., Nolle M., Pflugfelder R., Strobl B., Tacke A., Walzl A. *Video based image analysis for tunnel safety – VITUS-1: A tunnel video surveillance and traffic control system*. 2005. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/228967828_Video_based_image_analysis_for_tunnel_safety_-_VITUS-1_A_tunnel_video_surveillance_and_traffic_control_system [Pristupljeno: studeni 2021.]
- [12] Loureiro P.F.Q., Rossetti R.J.F., Braga R.A.M. Video Processing Techniques for Traffic Information Acquisition Using Uncontrolled Video Streams. *12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*. 2009. Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5309595> [Pristupljeno: siječanj 2021.]
- [13] Beirao G., Sarsfield Cabral J.A. Understanding attitudes towards public transport and private car: A qualitative study. *Transport Policy*. 2017;14(6): 478-489. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967070X07000522> [Pristupljeno: lipanj 2021.]
- [14] Boyle D.K. *Passenger Counting Technologies And Procedures*. Washington, D.C: University of Michigan Library; 1998. Preuzeto s: <https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tsyn29.pdf> [Pristupljeno: srpanj 2021.]

- [15] Dong H., Ma S., Jia N., Tian J. Understanding public transport satisfaction in post COVID-19 pandemic. *Transport Policy*. 2021;101: 81-88. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X20309410> [Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [16] Statistički ljetopis grada Zagreba 2021. *Prijevoz i komunikacije: Prevezeni putnici u gradskom prijevozu 1980.-2020*. Preuzeto s: <https://www.zagreb.hr/statisticki-ljetopis-grada-zagreba/1044> [Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [17] Statista – The Statistics Portal for Market Data, Market Research and Market Studies. *Global carbon dioxide emissions in 2020, by sector*. Preuzeto s: <https://www.statista.com/statistics/276480/world-carbon-dioxide-emissions-by-sector/> [Pristupljeno: Lipanj 2022.]
- [18] Državni zavod za statistiku. *Prvi rezultati Popisa 2021*. Preuzeto s: <https://popis2021.hr/index.html> [Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [19] AVL, Development, testing & simulation of powertrain systems. *AVL ADAS and Autonomous Driving*. Preuzeto s: https://www.avl.com/?groupId=10138&avlregion=GLOBAL&lang=en_US [Pristupljeno: Lipanj 2022.]
- [20] Sermanet P., LeCun Y. Traffic sign recognition with multi-scale Convolutional Networks. *The 2011 International Joint Conference on Neural Networks*, 2011, pp. 2809-2813, doi: 10.1109/IJCNN.2011.6033589. Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6033589> [Pristupljeno: kolovoz 2021.]
- [21] Aarathi S., Chitrakala S. Scene understanding — A survey. *2017 International Conference on Computer, Communication and Signal Processing (ICCCSP)*, 2017. Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7944094/authors#authors> [Pristupljeno: siječanj 2022.]
- [22] Wali S.B., Abdullah M.A., Hannan M.A., Hussain A., Samad S.A., J.Ker P., Bin Mansor M. Vision-Based Traffic Sign Detection and Recognition Systems: Current Trends and Challenges. *MDPI*. 2019;19(9). Preuzeto s: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/9/2093/htm> [Pristupljeno: kolovoz 2021.]
- [23] Euditorij E-škole. *Polarizacija svjetlosti*. Preuzeto s: <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/fa4cd5a4-17e1-47c2-a2db-545721e1cce5/polarizacija-svjetlosti.html> [Pristupljeno: srpanj 2021.]

- [24] Alshammari A., Rawat D.B. Intelligent Multi-Camera Video Surveillance System for Smart City Applications. *IEEE CCWC 2019 Conference*, Nevada, Las Vegas 2019
Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/331844217_Intelligent_Multi-Camera_Video_Surveillance_System_for_Smart_City_Applications [Pristupljeno: kolovoz 2021.]
- [25] Laptrinhx. *Radial Color Histograms*. Preuzeto s: <https://laptrinhx.com/radial-color-histograms-897233178/> [Pristupljeno: Siječanj 2022.]
- [26] Cucchiara R., Grana C., Prati A., Vezzani R.A Computer Vision System for in-house Video Surveillance. *Vision, Image and Signal Processing, IEE Proceedings – Vision Image and Signal Processing*. 152(2):242-249 Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/3359432_A_Computer_Vision_System_for_in-house_Video_Surveillance [Pristupljeno: rujan 2021.]
- [27] Wang X. Intelligent multi-camera video surveillance: A review. *Pattern Recognition Letters* 2013;34(1): 3-19. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016786551200219X> [Pristupljeno: rujan 2021.]
- [28] Chao P., Xu Y., Hua W., Zhou X. A Survey on Map-Matching Algorithms. *ADC 2020: Databases Theory and Applications. Lecture Notes in Computer Science*. 2020. Preuzeto s: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-39469-1_10#citeas [Pristupljeno: Siječanj 2022.]
- [29] Komasilovs V., Zacepins A., Kviesis A., Estevez C. Traffic Monitoring using an Object Detection Framework with Limited Dataset. *5th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems*. 2019. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/333407076_Traffic_Monitoring_using_an_Object_Detection_Framework_with_Limited_Dataset [Pristupljeno: rujan 2021.]
- [30] SAE International. *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*. Preuzeto s: https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/ [Pristupljeno: listopad 2021.]

- [31] Lengvenis P., Simutis R., Vaitkus V., Maskeliunas R. Application of Computer Vision Systems For Passenger Counting In Public Transport. *Elektronika ir Elektrotechnika*. 2013;19(3). Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/272479282_Application_Of_Computer_Vision_Systems_For_Passenger_Counting_In_Public_Transport [Pristupljeno: listopad 2021.]
- [32] Tian B., Tran Morris B., Tang M., Liu Y., Yao Y., Gou C., Shen D., Tang S. Hierarchical and Networked Vehicle Surveillance in ITS: A Survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2017;18(1): 25-48. Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7464298> [Pristupljeno: listopad 2021.]
- [33] Korablev V., Gugutishvili D., Lepekhin A., Gerrits B. Developing a Traffic Management System Architecture Model. *Transportation Research Procedia*. 2021;54: 918-926. Preuzeto s: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146521003264?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=720e4a10abce90d9 [Pristupljeno: studeni 2021.]
- [34] Hounsell N.B., Shrestha B.P., Wong A. Data management and applications in a world-leading bus fleet. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2012;22: 76-87. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X11001707> [Pristupljeno: studeni 2021.]
- [35] Chao P., Xu Y., Hua W., Zhou X. A Survey on Map-Matching Algorithms. *ADC 2020: Databases Theory and Applications. Lecture Notes in Computer Science*. 2020. Preuzeto s: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-39469-1_10#citeas [Pristupljeno: Siječanj 2022.]
- [36] Khan H.S., Yousaf M.H., Murtaza F., Velastin S. Passenger Detection And Counting For Public Transport System. *NED University Journal of Research*. 2020;17(2): 35-46. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/339819211_PASSENGER_DETECTION_AND_COUNTING_FOR_PUBLIC_TRANSPORT_SYSTEM [Pristupljeno: prosinac 2021.]
- [37] Hrvatska enciklopedija – Leksikografski zavod Miroslav Krleža. *Koeficijent korelacije*. Preuzeto s: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=71291> [Pristupljeno: Svibanj 2022.]

Popis slika

Slika 1. Prometni znakovi u realnim uvjetima	13
Slika 2. Blok dijagram sustava za prepoznavanje prometnih znakova	14
Slika 3. Optičko prikupljanje informacija o objektu	16
Slika 4. Radijalni histogram boja	18
Slika 5. Primjer stvaranja projekcijskog histograma.....	20
Slika 6. Shema sustava za detekciju anomalija	24
Slika 7. Shema prevođenja značajki iz videosnimka u TCP protokol	25
Slika 8. a) i b) detekcija nepoznatih predmeta na cesti, c) i d) detekcija zaustavljenog vozila	26
Slika 9. Princip rada metode optičkog toka]	27
Slika 10. Princip rada metode suzbijanja pozadine	28
Slika 11. Tok podataka u sustavu prepoznavanja objekata	29
Slika 12. Pristupi izvođenja sustava autonomne vožnje	30
Slika 13. Detekcija objekata tokom vožnje	32
Slika 14. Metoda simulacije barijere	33
Slika 15. Metoda maksimalnog inteziteta detekcije	33
Slika 16. Općenita arhitektura inteligentnog nadzornog sustava	35
Slika 17. Prosljeđivanje podataka s nadzornih kamera na kontrolni centar	36
Slika 18. Arhitektura sustava za upravljanje prometom	38
Slika 19. iBus sustav	40
Slika 20. Proces detekcije prisutnosti putnika.....	42
Slika 21. Tijek mjerenja za pojedino sučelje.....	43
Slika 22. Dijagram toka brojanja putnika pomoću Wi-Fi skenera	45
Slika 23. Shema modela brojanja putnika računalnim vidom.....	47

Slika 24. Detekcija putnika primjenom HOG metode 48

Popis tablica

Tablica 1. Motorna vozila i gradski prijevoz	7
Tablica 2. Rezultati testiranja sustava brojanja putnika računalnim vidom.....	48
Tablica 3. Rezultati brojanja sustava treniranom na snimkama 3 i 13.....	48
Tablica 4. Rezultati preciznosti brojanja putnika putem različitih metoda računalnog vida ...	49

Popis grafikona

Grafikon 1. Odnos motornih vozila i prevezenih putnika	7
Grafikon 2. Rezultati mjerenja s jednom antenom - Rezultati A	44
Grafikon 3. Rezultati mjerenja s četiri antene - Rezultati B	44
Grafikon 4. Rezultati brojanja putnika u autobusu putem Wi-Fi skenera.....	46
Grafikon 5. Usporedba rezultata brojanja Wi-Fi skenerom i stvarnog broja putnika	46

Popis kratica i akronima

ABMID	(engl. <i>Method Based on Intensity Maximum Detection</i>) metoda na temelju intenziteta maksimalne detekcije
ABS	(engl. <i>Method of Barrier Simulation</i>) metoda simulacije barijera
ABSZ	(engl. <i>Method for Barrier Simulation for Zones</i>) metoda simulacije barijera po zonama
ACOF	(engl. <i>Method based on Correlation of the Object Form</i>) metoda na temelju korelacije forme objekta
ADAS	(engl. <i>Advanced Driver Assistance System</i>) napredan sustav za pomoć vozaču
ADC	(engl. <i>Automatic Collection Data</i>) automatsko prikupljanje podataka
AFC	(engl. <i>Automatic Fare Collection</i>) automatska naplata karata
APC	(engl. <i>Automatic Passenger Counting</i>) automatsko brojanje putnika
APTS	(engl. <i>Advanced Public Transportation System</i>) napredni sustav javnog gradskog prijevoza
ATMS	(engl. <i>Advanced Traffic Management System</i>) sustav za napredno upravljanje prometom
AVCSS	(engl. <i>Advanced Vehicle Control and Safety System</i>) napredni sustav za kontrolu i sigurnost vozila
AVL	(engl. <i>Automatic Vehicle Location</i>) automatsko lociranje vozila
CN	(engl. <i>Circulation Number</i>) broj cirkulacije
CVO	(engl. <i>Commercial Vehicle Operation</i>) upravljanje komercijalnim vozilima
FMO	(engl. <i>Fleet Management and Operations</i>) upravljanje voznim parkom
GPS	(engl. <i>Global Positioning System</i>) globalni pozicijski sustav
GSM	(engl. <i>Global System for Mobile communication</i>) globalni sustav za mobilnu komunikaciju
HOG	(engl. <i>Histogram of Oriented Gradient</i>) histogram orijentiranih gradijenata

ISO	(engl. <i>International Standardization Organization</i>) međunarodna organizacija za normizaciju
ITS	Inteligentni Transportni Sustavi
JGP	Javni Gradski Prijevoz
MAC	(engl. <i>Media Access Control</i>) adresa kontrole pristupa medijima
OBU	(engl. <i>On Board Unit</i>) glavna jedinica u vozilu
PTP	(engl. <i>Public Transport Priorities</i>) dodjeljivanje prioriteta vozilima javnog gradskog prijevoza
RTPI	(engl. <i>Real-Time Passenger Information</i>) informiranje putnika u stvarnom vremenu
SAE	(engl. <i>Society of Automotive Engineers</i>) društvo automobilskih inženjera

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 mojega 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 Primjena računalnog vida za brojanje putnika u javnom gradskom, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 18.7.2022.

Robert Szabo 
(ime i prezime, potpis)