

# Primjena Interneta stvari u funkciji brojanja putnika u javnom gradskom prijevozu

---

Hozjan, Tin

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:624054>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-20**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

**ZAVRŠNI RAD**

**PRIMJENA INTERNETA STVARI U FUNKCIJI BROJANJA  
PUTNIKA U JAVNOM GRADSKOM PRIJEVOZU**

**INTERNET OF THINGS APPLICATIONS IN PUBLIC  
TRANSPORT PASSENGER COUNTING**

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

Student: Tin Hozjan

JMBAG: 0036496560

Zagreb, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI  
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 6. rujna 2023.

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

### ZAVRŠNI ZADATAK br. 7132

Pristupnik: **Tin Hozjan (0036496560)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsku-komunikacijski promet**

Zadatak: **Primjena Interneta stvari u funkciji brojanja putnika u javnom gradskom prijevozu**

**Opis zadatka:**

U završnom radu je potrebno dati pregled razvoja koncepta Interneta stvari (IoT). Opisati značajke mreža u sklopu IoT-a. Prepoznati i analizirati primjenu koncepta IoT-a u javnom gradskom prijevozu putnika. Analizirati mogućnosti brojanja putnika u javnom gradskom prijevozu korištenjem IoT-a. Usvjetiti mogućnosti obrade podataka prikupljenih od strane IoT uređaja.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

  
izv. prof. dr. sc. Ivan Grigorević

## **Primjena Interneta stvari u funkciji brojanja putnika u javnom gradskom prijevozu**

### **SAŽETAK**

Brojanje putnika u javnom gradskom prijevozu putnika predstavlja kompleksan izazov zbog mnogih čimbenika koji mogu utjecati na točnost podataka. Internet stvari (IoT) omogućuje veliki broj opcija u vidu brojanja putnika. Predstavljanjem mreža, mogućnosti IoT-a i metoda obrada podataka može se dobiti uvid u potencijal primjene IoT-a u sustavu planiranja i organizacije javnog gradskog prijevoza. Analizom kako se podaci o broju putnika prikupljaju, obrađuju pa zatim i predstavljaju, dobije se uvid kako brojanje putnika funkcionira i koji čimbenici mogu utjecati na sam postupak. Uz brojanje putnika, IoT infrastruktura omogućuje korisne alate za putnike i vozače javnog gradskog prijevoza koji su također predstavljeni.

**KLJUČNE RIJEČI:** Internet stvari; javni gradski prijevoz; brojanje putnika; mreže; senzori; strojno učenje; duboko učenje

### **Internet of Things Applications in Public Transport Passenger Counting**

#### **SUMMARY**

Counting passengers in public urban passenger transport is a complex challenge due to many factors that can affect the accuracy of the data. Internet of Things (IoT) enables a large number of options in the form of passenger counting. By presenting networks, IoT possibilities and data processing methods, one can get an insight into the potential of IoT application in the planning system of public urban transport. By analyzing processes of passenger counting, data processing and data presentation, one can get an insight into how passenger counting works and what factors can influence the process itself. In addition to passenger counting, the IoT infrastructure enables useful tools for passengers and drivers of public urban transport that are also presented.

**KEYWORDS:** Internet of things; public urban transport; passenger counting; networks; sensors; machine learning; deep learning

## SADRŽAJ

1.	UVOD .....	1
2.	PREGLED RAZVOJA KONCEPTA IOT-A .....	2
3.	ZNAČAJKE MREŽA U SKLOPU IOT-A .....	5
3.1.	Bežična senzorska mreža (WSN) .....	5
3.2.	Wi-Fi .....	6
3.3.	Bluetooth .....	8
3.4.	ZigBee .....	9
3.5.	LPWAN .....	11
3.6.	5G .....	11
4.	PRIMJENA KONCEPTA IOT-A U JAVNOM GRADSKOM PRIJEVOZU PUTNIKA .....	14
4.1.	Upravljanje voznim parkom .....	14
4.2.	Aplikacije za putnike .....	16
4.3.	Komunikacija među vozilima ( <i>Vehicle-to-Vehicle</i> ) .....	20
5.	BROJANJE PUTNIKA U JAVNOM GRADSKOM PRIJEVOZU KORIŠTENJEM IOT-A .....	23
5.1.	Brojanje neovisno o karti .....	23
5.1.1.	Praćenje pojedinačnih putnika .....	23
5.1.2.	Praćenje ukupnog opterećenja vozila .....	26
5.2.	Brojanje povezano s pametnom kartom .....	27
5.3.	Predloženi način primjene sustava brojanja putnika .....	28
6.	OBRADA PODATAKA PRIKUPLJENIH OD STRANE IOT UREĐAJA .....	30
6.1.	Modeli strojnog učenja .....	30
6.1.1.	Regresija .....	30
6.1.2.	Klasifikacija .....	32
6.1.3.	Grupiranje (klasteriranje) .....	33
6.2.	Modeli dubokog učenja .....	36
6.2.1.	Konvolucijske neuronske mreže .....	37
6.2.2.	Rekurentna neuronska mreža .....	38
6.3.	Analiza podataka temeljena na oblaku .....	39
6.4.	Pregled postojećih istraživanja .....	40
7.	ZAKLJUČAK .....	42
	LITERATURA .....	44
	POPIS KRATICA I AKRONIMA .....	51
	POPIS SLIKA I TABLICA .....	53

## 1. UVOD

Analiza podataka u svrhu prometa je prošla kroz velike promjene u skladu s razvojem tehnologije i načina obrade podataka. S obzirom da još ne postoji savršen model prikupljanja i obrade podataka za potrebu planiranja javnog gradskog prometa, u završnom radu se predstavljaju koncepti kao neke od mogućnosti koje bi mogle biti dio prometnog planiranja. Primjena brojanja putnika u javnom gradskom prijevozu je izazovnija od izvangradskog prijevoza zbog veće gustoće putnika, većih promjena broja putnika u kraćim distancama, slabije mogućnosti provjere kupljenih karata itd.

Naziv završnog rada je primjena Internet stvari u funkciji brojanja putnika u javnom gradskom prijevozu te se sastoji od sedam poglavlja:

1. Uvod
2. Pregled razvoja koncepta IoT-a
3. Značajke mreža u sklopu IoT-a
4. Primjena koncepta IoT-a u javnom gradskom prijevozu putnika
5. Brojanje putnika u javnom gradskom prijevozu korištenjem IoT-a
6. Obrada podataka prikupljenih od strane IoT uređaja
7. Zaključak

Cilj završnog rada je predstaviti tehnologije koje su temelj IoT-a i metode koje služe za brojanje putnika u javnom gradskom prijevozu. Svrha završnog rada je pokazati mogućnosti IoT-a u funkciji brojanja putnika u javnom gradskom prijevozu.

U uvodnom dijelu završnog rada prikazana je svrha, cilj i koncept završnog rada opisan kroz glavna poglavlja.

Drugo poglavlje sadrži opis razvoja IoT-a kroz najvažnije događaje koji su oblikovali spomenutu tehnologiju.

U trećem poglavlju su predstavljene tehnologije koje se najčešće koriste kod IoT uređaja za potrebu brojanja putnika. To su: WSN, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, LPWAN i 5G.

U četvrtom poglavlju su predstavljene implementacije IoT-a koje se koriste u javnom gradskom prijevozu.

Peto poglavlje sadrži opise metoda brojanja putnika u javnom gradskom prijevozu, a u šestom poglavlju su opisani postupci obrade podataka.

U Zaključku su sintetizirani svi dobiveni rezultati odnosno dana su zaključna razmatranja i prijedlozi mogućnosti za brojanje putnika u javnom gradskom prijevozu.

## 2. PREGLED RAZVOJA KONCEPTA IOT-A

Internet stvari (engl. *Internet of Things* - IoT) je sustav međusobno povezanih terminalnih uređaja, mehaničkih i digitalnih strojeva, objekata, životinja ili ljudi koji imaju jedinstvene identifikatore (engl. *Unique Identifier* - UID) i mogućnost prijenosa podataka preko mreže bez potrebe za ljudskom interferencijom. [1][2]

Uređaj koji je postavio temelje ideje IoT-a bio je automat za prodaju *Coca-Cole* napravljen 1989. godine na sveučilištu *Carnegie Mellon*. Studenti programiranja su otkrili kako se spojiti na automat za prodaju putem ARPANET-a (prethodnik Interneta) i prenijeti informaciju nalazi li se određeno hladno piće na zalihi automata. [2]

Automat je imao šest redova staklenih boca. Kad bi netko kupio sok, crveni indikator za odgovarajući red bi treperio nekoliko sekundi prije nego što bi se ponovno ugasio. Kad je stupac bio prazan, svjetlo je gorjelo dok se pića nisu zamijenila. Za potrebe izvlačenja podataka iz stroja postavljena je ploča koja je registrirala status svjetlosnih indikatora, dok je za obradu podataka napisan program. Sok je bio kupljen ukoliko je svjetlo prešlo sa statusa isključeno na uključeno, ali se zatim ponovno ugasio nekoliko sekundi kasnije. Ako je svjetlo ostalo upaljeno dulje od pet sekundi, pretpostavljalo se da je red prazan. Kad se svjetlo ugasio, program je znao da su dvije rezervne hladne boce soka sada dostupne za kupnju, dok su ostale boce još tople. Program je pratio koliko su minuta boce bile u stroju nakon obnavljanja zaliha. Nakon tri sata, boce su se jednostavno registrirale kao hladne. Naposljetku, grupa studenata je dodala kod u program glavnog računala, koji je omogućio bilo kome na računalu spojenom na ARPANET da pristupi informacijama o stroju. S obzirom da je taj proces još uvijek zahtijevao ljudski doprinos, aparat za sokove nije sasvim zadovoljio punu definiciju IoT uređaja koja se danas koristi. [2]

1991. godine John Romkey i Simon Hackett su predstavili internetski toster, zajedno s automatiziranom dizalicom koja je mogla umetnuti i izvaditi kruh umjesto korisnika. Toster je bio spojen na Internet pomoću TCP<sup>1</sup> (engl. *Transmission Control Protocol*) umrežavanja i kontroliran pomoću baze podataka za upravljanje protokolom jednostavnog mrežnog upravljanja (engl. *Simple Network Management Protocol* - SNMP). Imao je prekidač puno niže struje na paralelnom priključku drugog računala za kontrolu većeg releja koji je kontrolirao napajanje toster, a zatamnjenost tosta se kontrolirala time koliko dugo je struja bila uključena. Tosteru je kasnije bila dodana mala robotska dizalica, također kontrolirana s interneta, koja je podigla komad kruha i spustila ga u toster, automatizirajući sustav od kraja do kraja. Takav toster, prikazan na slici 1, se smatra prvi pravim IoT uređajem. [3][5][6]

Dr. Quentin Stafford-Fraser i Paul Jardetzky izumili su prvu web kameru s ciljem da prati količinu kave u loncu, postavljena je na mrežu u *Cambridgeu* 1993. godine. Kad bi se uključila, kamera bi prikazivala sliku lonca za kavu u sivim tonovima od 129×129 piksela pri jednoj sličici u sekundi na radnoj površini korisnika kao što je vidljivo na slici 1. [7][8]

---

<sup>1</sup> IP protokol konekcijskog tipa koji jamči pouzdanost prijenosa.



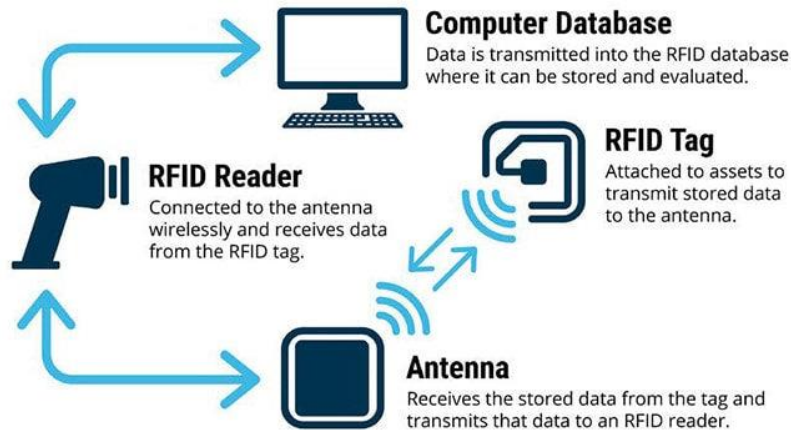
Slika 1. Snimka s kamere koja prati količinu kave, [0]

Inovator Steve Mann, 1994. godine, spojio je kameru na svoje naočale i mogao uživo prenositi prijenos na Internet. Ovi rani primjeri IoT uređaja također su bili pioniri u budućnosti društvenih medija, pametnih telefona i streaminga. [3]

Pojam Internet stvari potječe iz 1999. godine, a začetnik pojma je Kevin Ashton. Ashton je počeo istraživati ideju dok je radio za tvrtku *Procter & Gamble*. Prepoznao je izostanak povezanosti između sustava zaliha u trgovinama i stvarnih zaliha na policama. Budući da su zaposlenici i upravitelji trgovina skenirali bar kodove proizvoda kako bi ih prodali, pretpostavili su da postoji neka vrsta pozadinskog praćenja koje bi ih obavijestilo kada proizvoda nema na zalihama. Te korelacija još nije postojala, no bila je inspiracija Ashtonu za razvoj nove tehnologije. Kako bi riješio spomenuti problem, Ashton je odabrao RFID (engl. *Radio-Frequency Identification*), bežičnu tehnologiju koja je omogućila praćenje proizvoda pomoću bežičnih uređaja koji prenose podatke u središnji računalni sustav. Ashton je pokrenuo pilot program za testiranje mogućnosti tehnologije, što je dovelo do značajnih ušteda troškova i učinkovitosti u sustavu upravljanja zalihama. [2][3][4][9]

RFID je bežični sustav koji se sastoji od dvije komponente: oznake i čitača. Čitač je uređaj koji ima jednu ili više antena koje emitiraju radio valove i primaju signale s RFID oznake. Oznake koriste radio valove za komunikaciju vlastitog identiteta i drugih informacija čitateljima u blizini, a po tipu mogu biti pasivne ili aktivne. Pasivne RFID oznake napajaju se pomoću čitača i nemaju bateriju dok se aktivne RFID oznake napajaju uz pomoć baterija. Čitači mogu biti pokretni tako da se mogu nositi u ruci ili se u statičnoj izvedbi mogu postaviti na određeni objekt. Put podataka unutar RFID tehnologije prikazan je na slici 2. RFID oznaka koja se nalazi na proizvodu šalje podatke anteni zatim antena prima te podatke kako bi ih čitač mogao učitati na kraju te se ti podaci šalju u bazu podataka za potrebu pohrane ili procjene. [10][11]





Slika 2. Princip rada RFID tehnologije, [11]

Nakon provedenog rada u *Procter & Gambleu*, Ashton je nastavio svoj rad na RFID tehnologiji u Auto-ID centru MIT-a (engl. *Massachusetts Institute of Technology*). Prepoznao se potencijal RFID-a da revolucionira upravljanje zalihama, upravljanje opskrbnim lancem i logistiku. Sa svojim kolegama razvio je elektronički kod proizvoda (engl. *Electronic Product Code - EPC*), jedinstveni identifikacijski sustav koji tvrtkama omogućuje praćenje proizvoda od proizvodnje do mjesta prodaje. Ovo je bio značajan napredak u ovom području, koji je omogućio veću vidljivost i učinkovitost u upravljanju opskrbnim lancem.[0]

Izraz IoT počeo se koristiti u važnim publikacijama 2004. godine. U istom razdoblju, Ministarstvo obrane SAD-a i *Walmart* su počeli primjenjivati RFID tehnologiju. Međunarodna unija telekomunikacija Ujedinjenih naroda priznala je utjecaj IoT-a u svom izvješću iz 2005. te je predvidjela da će IoT pomoći u stvaranju potpuno nove dinamične mreže. U ožujku 2008. održana je prva IoT konferencija u Zürichu. Konferencija je okupila istraživače i praktičare iz akademske zajednice i industrije kako bi olakšali razmjenu znanja iz područja IoT-a. [0]

U svojoj bijeloj knjizi iz 2011., *Cisco Internet Business Solutions Group (CIBSG)* navodi da je internet stvari nastao između 2008. i 2009. kada je broj stvari povezanih s internetom premašio broj ljudi povezanih s njim. CIBSG je izračunao da je omjer stvari i ljudi porastao s otprilike 0,8 u 2003. na 1,84 u 2010. Zajedno s bijelom knjigom, Cisco je objavio mnoge obrazovne materijale na tu temu i pokrenuo marketinške inicijative za privlačenje klijenata koji žele usvojiti IoT. IBM i Ericsson pridružili su se inicijativi ubrzo nakon toga. Prema publikaciji *Business Insider*, IoT tržište bi u 2027. godini trebalo premašiti 2.4 bilijuna \$, a broj IoT uređaja bi mogao biti veći od 41 milijardu. [0][12]

### 3. ZNAČAJKE MREŽA U SKLOPU IOT-A

S obzirom da IoT obuhvaća široko područje primjene i veliki broj uređaja, postoji veliki broj opcija za odabir mreža kojim se sustav može povezati. Najčešće se primjenjuje kombinacija nekoliko bežičnih mreža ovisno o tome koje su specifikacije najprikladnije za određeni uređaj [13][14]. Neke od mreža koje se često koriste u IoT-u su:

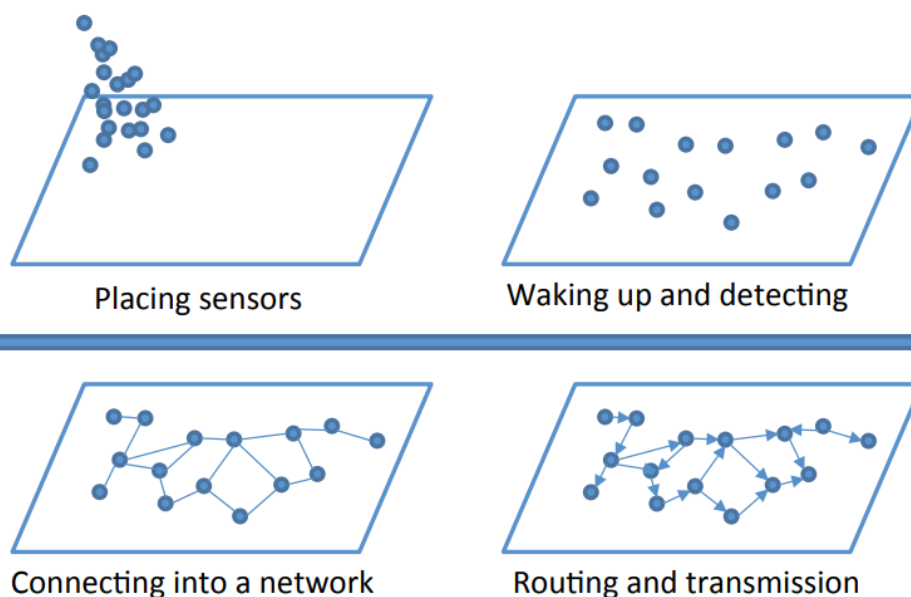
1. Bežična senzorska mreža (WSN),
2. Wi-Fi,
3. Bluetooth,
4. Zigbee,
5. LPWAN i
6. 5G.

#### 3.1. Bežična senzorska mreža (WSN)

Bežična senzorska mreža (engl. *Wireless Sensor Network* – WSN) se općenito može opisati kao mreža čvorova koja kooperativno promatra i kontrolira okruženje koje omogućuje interakciju između korisnika ili računala s okruženjem. Prvotno je bila korištena kao ratna tehnologija američke vojske za vrijeme Vijetnamskog rata. [15][16]

WSN-ovi se sastoje od senzorskih čvorova, čvorova aktuatora, pristupnika i klijenata. Veliki broj senzorskih čvorova je raspoređen nasumično unutar ili blizu područja praćenja koje se zove senzorsko polje. Čvorovi tvore oblik mreže kroz samoorganizaciju. Senzorski čvorovi prate prikupljene podatke za prijenos drugih senzorskih čvorova hopova. Tijekom procesa prijenosa, nadziranim podacima može rukovati više čvorova kako bi došli do pristupnog čvora nakon usmjeravanja s više hopova i konačno došli do upravljanja čvorom putem Interneta ili satelita. Korisnik konfigurira i upravlja WSN-om uz pomoć upravljačkog čvora, objavljuje rezultate praćenja i prikuplja praćene podatke. [15]

Održavanje topologije u WSN-u je izazovan zadatak zbog velikog broja nedostupnih i nenadziranih senzorskih čvorova. Zbog njihovog velikog broja nije moguće postaviti čvorove prema pažljivo osmišljenom planu postavljanja. Za početnu implementaciju neophodno je eliminirati potrebu za bilo kakvom prethodnom organizacijom i planiranjem. U današnje vrijeme se teži samoorganizaciji i vodi računa o toleranciji kvarova. Opći proces postavljanja WSN-a je vidljiv na slici 3. [15]



Slika 3. Prikaz procesa organiziranja i prijena WSN-ova, [15]

Koraci postavljanja WSN-a:

1. Postavljanje senzora,
2. Čvorovi senzorske mreže emitiraju svoj status okoline i primaju status od drugih čvorova da detektiraju jedni druge,
3. Mreža senzorskih čvorova se organizira u povezanu mrežu prema određenoj topologiji (npr. linearna, zvjezdasta, stablasta mreža, itd.),
4. Izračunavanje prikladnih putova na izgrađenu mrežu za prijenos senzorskih podataka. [15]

Snagu senzorskih mrežnih čvorova obično osiguravaju baterije stoga je prijenosna udaljenost između WSN čvorova mala. Prijenos na udaljenosti može biti od 800 do 1000 metara na otvorenom vanjskom okruženju. Naglo će se smanjiti u slučaju korištenja zaštićenog unutarnjeg okruženja na procijenjenih nekoliko metara. U slučaju proširivanja pokrivenosti mreže, senzorska mreža koristi *multi-hop* prijenosni način rada. Ove mreže su karakterizirane kao mreže bez infrastrukture, otporne na pogreške i samoorganizirajuće mreže koje pružaju mogućnosti za jeftine, jednostavne za primjenu, brze i fleksibilne instalacije u okruženju za različite primjene. Primjena u području transportnih sustava obuhvaća praćenje prometa, dinamičko upravljanje rutama i praćenje stanja na parkiralištima. [15][17]

### 3.2. Wi-Fi

Wi-Fi (engl. *Wireless Fidelity*) je tehnološki brend u vlasništvu *Wi-Fi Alliancea*, čiji je cilj poboljšanje interoperabilnosti proizvoda bežične lokalne mreže temeljenih na standardima IEEE 802.11. Tehnologija 802.11 datira iz 1985. godine, iako se pojam Wi-Fi nije komercijalno koristio sve do 2000. godine kada je i započelo testiranje WI-FI CERTIFIED na 802.11b proizvodima (isporučujući 11 Mbps podataka). Wi-Fi je brza internetska veza i mrežna veza

bez upotrebe kablova ili žica. Bežična mreža radi s tri bitna elementa, a to su radio signali, antena i usmjerivač. [18]

Za uspostavu Wi-Fi mreže je potreban mali uređaj poznat kao bežični odašiljač ili čvorište odnosno uređaj koji prima informacije s interneta putem kućne širokopolasne veze. Ovaj odašiljač (često se naziva bežična pristupna točka ili WAP) zatim pretvara ove informacije u radio valove i emitira ih, stvarajući tako malo, lokalno područje oko sebe unutar kojeg uređaji mogu primati te radio signale ako su opremljeni ispravnom vrstom bežičnog adaptera. Ovo područje se često naziva bežična lokalna mreža ili skraćeno WLAN. [19]

Radio signali nisu jaki, zbog čega Wi-Fi signal ne putuje jako daleko; putovat će dovoljno daleko da osigura pokrivenost u cijelom prosječnom domu i na ulici. Jedno bežično čvorište obično je dovoljno da omogući povezivanje s internetom u bilo kojoj prostoriji u domu, iako će signal biti jači što ste bliže čvorištu. Da bi uređaj poput telefona ili računala mogao primati Wi-Fi signale, mora imati odgovarajuću tehnologiju ugrađenu u njega ili imati ugrađen bežični adapter. Mnogi uređaji, poput pametnih telefona i tableta, dolaze spremni za prihvaćanje Wi-Fi signala izravno iz kutije, dok će drugi, poput nekih računala, zahtijevati kupnju zasebne bežične kartice ili adaptera, koji često dolazi u obliku malih uređaja koji se spajaju na USB priključak računala. Ovaj uređaj poznat je kao širokopolasni *dongle*. [19]

Wi-Fi uređaji odašilju frekvencije od 2,4 GHz ili 5 GHz. Te su frekvencije znatno veće od frekvencija koje se koriste za mobilne telefone i *woki-tokije*, a viša frekvencija omogućuje signalu da prenosi više podataka. [20]

Različite verzije standarda 802.11 su prikazane u tablici 1.

**Tablica 1.** Popis verzija Wi-Fi standarda 802.11

Standard	Godina izlaska	Frekvencija	Brzina prijenosa podataka
802.11	1997	2.4 GHz	2 Mbps
802.11b	1999	2.4 GHz	11 Mbps
802.11a	1999	5 GHz	54 Mbps
802.11g	2003	2.4 GHz	54 Mbps
802.11n	2009	2.4 ili 5 GHz	300 Mbps
802.11ac	2014	5 GHz	7 Gbps
802.11ax	2019	2.4 ili 5 GHz	10 Gbps

Izvor: [21]

Gledajući razvoj Wi-Fi specifikacije, 802.11n (Wi-Fi 4) je prikladniji za IoT aplikacije od 802.11ac (Wi-Fi 5). Jedan od razloga je taj što je 802.11n dvopolasni (2,4 GHz i 5 GHz) u odnosu na 802.11ac koji je jednopolasni na 5 GHz. Također, cijena i potrošnja energije sustava temeljenih na 802.11ac veći su zbog veće složenosti protokola. Dok 11ac pruža poboljšanu propusnost, brzine prijenosa podataka koje pruža 802.11n više su nego dovoljne za većinu IoT aplikacija koje rade na baterije. 802.11ax (Wi-Fi 6) najnovija je verzija specifikacije, koja obećava maksimalnu brzinu protoka od 10 Gbps, a predstavljena je zbog potrebe za udovoljavanjem brzog porasta broja uređaja na Wi-Fi mrežama potaknutog rastućom potražnjom za IoT uređajima. [22]

### 3.3. Bluetooth

*Bluetooth* je WPAN (engl. *Wireless Personal Area Network*) standard, koji radi u rasponu od 2.4 GHz koristeći metodu koja se naziva frekventno skakanje širenja spektra. Dizajniran je za rad na udaljenosti između 10 i 100 m, iako obično radi na 10 m ili manje. Njegov razvoj započeo je 1989. godine u Ericsson Mobile-u pod nazivom *short-link* radio tehnologija, kako bi se omogućila komunikacija s bežičnim slušalicama, a nazvan je *Bluetooth* 1997. godine dok ga je Intel preinačio za komunikaciju između mobilnih telefona i računala. *Bluetooth* je standardiziran kao IEEE 802.15.1. Koristi tehniku poznatu kao frekvencijski rasprostranjeni spektar<sup>2</sup> (engl. *Frequency-hopping Spread Spectrum* - FHSS), gdje se podaci dijele na dijelove i prenose putem nosača koji skače s jedne nasumične frekvencije na drugu. Podaci se prenose brzinom od 1 Mbps koristeći FSK<sup>3</sup> (engl. *Frequency-shift Keying*). [23][24]

Standard uključuje specifikaciju parametara kao što su frekvencija komunikacije, format podataka, kontrola veze, upravljanje itd. Iako je *Bluetooth* trebao biti rješenje male snage, potrošnja energije uređaja s omogućenim *Bluetooth*-om ostaje relativno visoka. Unaprijeđen oblik prijenosa podataka *Bluetooth*-om je također dostupan za prijenos većim brzinama do 3 Mbps. Standardom upravlja *Bluetooth Special Interest Group* (BT SIG). [25]

Jedna od osnovnih značajki *Bluetooth*-a je sposobnost formiranja male mreže zvane *piconets*. To čini povezivanjem dva *Bluetooth* uređaja zajedno. Usvojena je arhitektura *master-slave* za dodjelu asimetričnih uloga uređajima; periferni uređaji obavljaju samo minimalnu količinu funkcija kako bi omogućili ultra-nisku potrošnju energije, dok središnji uređaji obavljaju funkcije koordinacije. Jedan služi kao glavni kontroler, a može komunicirati s do sedam uređaja unutar *ad-hoc Bluetooth* mreže kod koje se uloge master/slave mogu mijenjati. Nakon što je PAN (engl. *Personal Area Network*) postavljen, različiti povezani uređaji mogu međusobno razmjenjivati informacije putem glavnog uređaja. [23][24]

S izdavanjem *Bluetooth* jezgrene specifikacije 4.0 2010. godine, uveden je novi način prijenosa nazvan *Bluetooth Low Energy* (BLE). BLE koristi drugačiji oblik FHSS-a i dizajniran je za rad koji troši manje energije. Dostupan je u nekoliko oblika za brzine prijenosa podataka od 1 ili 2 Mbps. [25]

BLE je bio značajan prvi korak u proširenju *Bluetooth* ekosustava prema IoT-u. BLE koristi ISM<sup>4</sup> (engl. *Industrial, Scientific and Medical*) pojas od 2,4 GHz. Spektar je podijeljen na 40 kanala, s razmakom kanala od 2 MHz, od kojih su 37 podatkovni kanali, a 3 se koriste kao kanali za oglašavanje. Preskakanje frekvencije primjenjuje se kako bi se ublažio utjecaj smetnji. Modulacija se temelji na Gaussovom frekvencijskom pomaku, a brzina prijenosa podataka do 1 Mbps može se postići bežično. [26]

BLE ima kratko postavljanje veze i vrijeme prijenosa podataka tako da aplikacije mogu prenositi autentificirane podatke u roku od nekoliko milisekundi. BLE omogućuje komunikaciju

---

<sup>2</sup> FHSS služi kao metoda koja smanjuje interferenciju i mogućnost prisluškivanja.

<sup>3</sup> FSK je metoda prijenosa signala uz korištenje diskretnih digitalnih signala.

<sup>4</sup> ISM je spektar frekvencija namijenjen za industrijske, znanstvene i zdravstvene svrhe.

usmjerenu na vezu ili komunikaciju bez veze. Podržava fragmentaciju i ponovno sastavljanje velikih paketa podataka u male radijske okvire, koji se zatim prenose preko radio sučelja. To omogućuje BLE-u da podržava podatkovne usluge s velikim paketima (npr. IP paketi). Godine 2014., BT SIG objavio je profil podrške za internetski protokol koji omogućuje IP povezivanje za BLE uređaje. Nadalje, IETF je standardizirao standard za *end-to-end* IPv6 povezivanje preko BLE-a uključujući kompresiju zaglavlja. [26]

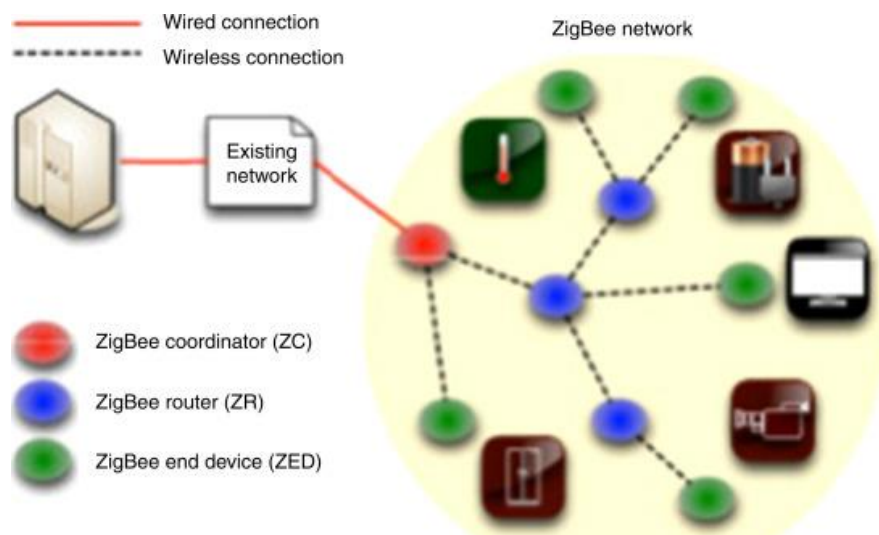
Novija verzija BLE-a nazvana *Bluetooth 5* koristi različite sheme modulacije i kodiranja za postizanje brzine prijenosa podataka do 2 Mbps na dužem rasponu do 50 m ili više. Sadrži četverostruko povećanje komunikacijskog raspona pri niskim brzinama podataka od 125 kbps i udvostručenje vršnih brzina prijenosa podataka na 2 Mbps. BT SIG je također najavio da je u tijeku razvoj proširenja BLE-a za *mesh* umrežavanje, što bi dodatno povećalo raspon BLE-a. [26]

### 3.4. ZigBee

*ZigBee* je bežična tehnologija kratkog dometa, niske brzine prijenosa podataka, visoke energetske učinkovitosti koja se temelji na standardu IEEE 802.15.4. *ZigBee* koristi 16 kanala u ISM pojasu od 2,4 GHz u cijelom svijetu, 13 kanala u pojasu od 915 MHz u Sjevernoj Americi i jedan kanal u pojasu od 868 MHz u Europi. Podržane brzine prijenosa podataka su 250 kbps, 100 kbps, 40 kbps i 20 kbps. Domet *ZigBee* radija je oko 30 m u zatvorenom prostoru. [27]

*ZigBee* je poznat po svojoj energetskej učinkovitosti, što je posljedica njegovog mehanizma kruženja. Ova tehnologija se uglavnom koristi za senzorsku i automatiziranu kontrolnu mrežu prema IEEE 802.15.4 standardima za WPAN. Tip komunikacijskih standarda definira pristup MAC sloju koji uključuje mnoge uređaje pri niskim brzinama podataka. *ZigBee* certificirani uređaji mogu raditi nekoliko godina bez potrebe zamjene baterije. Standard IEEE 802.15.4 definira pristup fizičkom i MAC sloju, dok su gornji slojevi, uključujući usmjeravanje i aplikacije, definirani u okviru *ZigBee* protokola. [27]

Struktura sustava *ZigBee* tehnologije sastoji se od tri glavne komponente: *ZigBee* koordinatora, usmjerivača i krajnjeg uređaja. Svaka *ZigBee* mreža mora se sastojati od jednog koordinatora koji djeluje kao most mreže. Koordinator djeluje kao središte za primanje i pohranjivanje važnih informacija tijekom procesa prijenosa podataka. *ZigBee* usmjerivač djeluje kao posrednik između središta informacija i krajnjih uređaja koji dopušta prometu ili naredbama da se kreću kroz njih do krajnjeg uređaja kao što je prikazano na slici 4. [28]



Slika 4. Način rada sustava ZigBee, [28]

Krajnji uređaji imaju ograničen pristup komunikaciji sa svojim roditeljskim čvorovima tako da se spremaju korisna snaga, energija ili sama baterija. Uzorak u kojem su ove tri komponente međusobno povezane ovisi o topologiji mreže. [27]

ZigBee podržava dva načina adresiranja: 16-bitno i 64-bitno adresiranje. ZigBee mreža može podržati do 64.000 čvorova (uređaja). Ovi uređaji mogu biti dvije vrste: uređaj s punom funkcijom (engl. *Full Function Device* - FFD) i uređaj smanjene funkcije (engl. *Reduced Function Device* - RFD). FFD-ovi mogu biti međusobno povezani u mrežastu topologiju što znači da mogu komunicirati sa svojim kolegama dok su RFD-ovi jednostavniji od FFD-a i mogu biti rubni čvorovi u topologiji zvijezde. [27]

U konfiguraciji topologije zvijezde ZigBee koristi koordinatora PAN-a, koji može raditi u načinu rada s uključenim *beacon*-om ili načinu rada bez *beacon*-a. U načinu rada s uključenim *beacon*-om, PAN koordinador definira radni ciklus s trajanjem superokvira (engl. *Superframe Duration* - SD) unutar strukture superokvira. Superokvir sinkronizira čvorove u mreži. Čvorovi komuniciraju samo u aktivnom razdoblju. U razdoblju CAP (engl. *Contention Access Period*) unutar superokvira, čvorovi se natječu kako bi postigli pristup za prijenos svojih podataka korištenjem CSMA/CA (engl. *Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance*). [28]

Razdoblje bez sukoba (engl. *Contention Free Period* - CFP) osigurava zajamčene vremenske prozore (engl. *Guaranteed Time Slots* - GTS) za čvorove koji su prethodno rezervirali te utore za komunikaciju. Jedan ciklus aktivnih i neaktivnih razdoblja može se pojaviti unutar *beacon* intervala, koji počinje na početku okvira *beacon*-a i završava na početku sljedećeg okvira *beacon*-a. [27]

Unatoč obećavajućem prihvaćanju ZigBee-a od industrije pametnih mreža, on ima nekoliko nedostataka, a niska brzina prijenosa podataka je glavni nedostatak. Kako aplikacije pametne mreže postaju složenije i njihov zahtjev za propusnošću raste, ZigBee-ova brzina prijenosa podataka može biti manja za te aplikacije. [27]

### 3.5. LPWAN

LPWAN (engl. *Low Powered Wide Area Network*) je širok pojam koji obuhvaća različite implementacije i protokole, kako vlasničke tako i otvorene, koji dijele zajedničke karakteristike kao što ime sugerira: mala snaga, radi na malim, jeftinim baterijama 7 - 10 godina, ima radni raspon koji je obično više od 2 km u gradskim uvjetima. Poznate LPWAN tehnologije su: *Sigfox*, *NB-IoT*, *LoRaWAN* i *Nwave*. [29]

LPWAN tehnologije općenito rade s oko 140-160 decibela (dB) ukupnog puta, što može dovesti do povećanog dometa od mnogo kilometara u povoljnim okolnostima. To se prvenstveno postiže visokom osjetljivošću prijemnika. Osjetljivost prijemnika veća od -130 dBm uobičajena je u LPWAN tehnologijama, u usporedbi s -90 do -110 dBm koja se pojavljuje u mnogim tradicionalnim bežičnim tehnologijama. [30]

Tehnologije s -130 dBm mogu otkriti signale 10 000 puta slabije od tehnologija s -90 dBm. Što je sporija brzina modulacije, to veća može biti osjetljivost prijemnika. To se svodi na *Shannon-Hartleyev* teorem koji tvrdi da je energija po simbolu ili energija po bitu glavna poluga za promjenu mogućnosti da se poruka čuje. Usporavanjem brzine modulacije za pola, stavlja se dvostruko više energije u svaki simbol, na taj način povećava se proračun veze ili osjetljivost prijemnika za dvostruko. [30]

Fizičko ograničenje za postizanje male snage i širokog raspona je mala veličina podataka. Većina LPWAN tehnologija može slati manje od 1000 bajtova podataka dnevno ili manje od 5000 bitova u sekundi. Ove karakteristike čine LPWAN idealnim izborom za sljedeće klase IoT aplikacija: gusto naseljene lokacije, pametnu mrežu i praćenje imovine, senzore i mjerače koje treba instalirati i nadzirati tijekom dugog vremenskog razdoblja. LPWAN tehnologija dobro funkcionira u situacijama u kojima uređaji trebaju slati male podatke preko širokog područja, a istovremeno održavati trajanje baterije tijekom mnogo godina. [29]

### 3.6. 5G

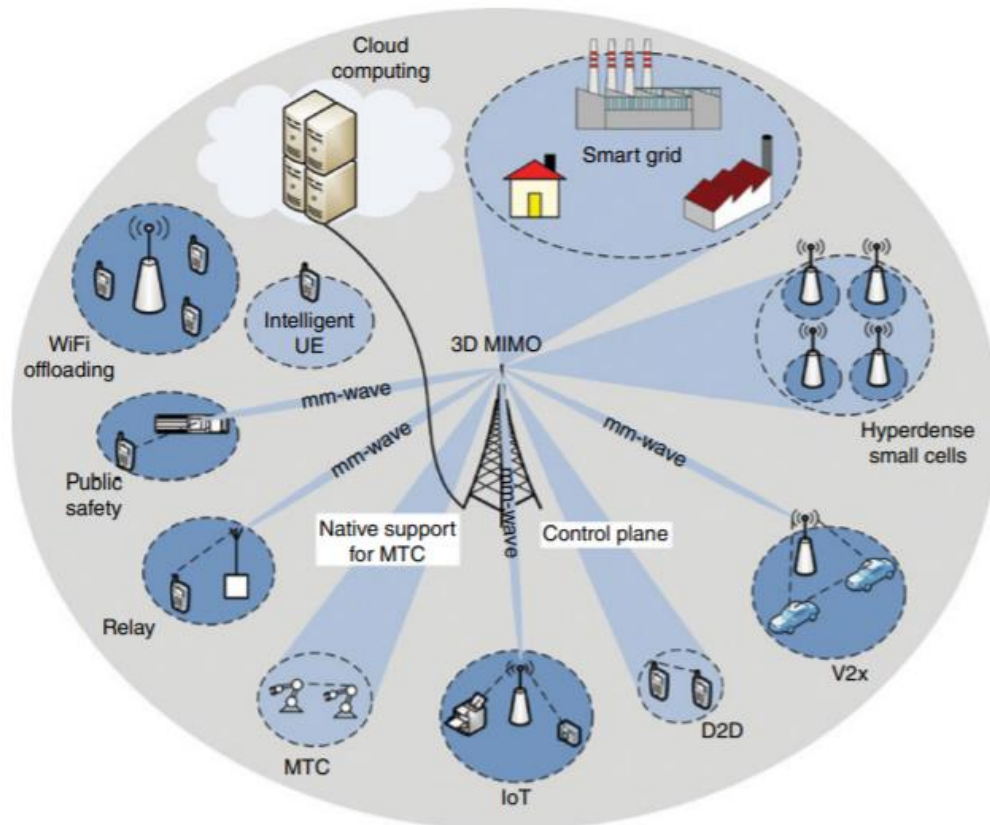
5G mreže su koncipirane kako bi zadovoljile zahtjeve visoko mobilnog i potpuno povezanog društva. Koegzistencija aplikacija usmjerenih na čovjeka i aplikacija tipa strojeva definirat će vrlo raznolike funkcionalne i izvedbene zahtjeve koje će 5G mreže morati podržavati. Unutar 5G sustava, *E2E<sup>5</sup>* (engl. *End-to-End network slicing*), arhitektura temeljena na uslugama, softverski definirano umrežavanje (engl. *Software Defined Networking* -SDN) i virtualizacija mrežnih funkcija (engl. *Network Function Virtualization* -NFV) smatraju se temeljnim stupovima za podršku heterogenog sustava. 5G pruža operatorima mobilnih mreža jedinstvene mogućnosti da ponude nove usluge potrošačima, poduzećima i zakupcima trećih strana ispunjavajući njihove zahtjeve. Kao što je prikazano na slici 5., 5G je konvergirani sustav koji podržava širok raspon aplikacija. To uključuje mobilne pozive, mobilni internet s više

---

<sup>5</sup> E2E je izravna komunikacija između krajnjih mrežnih čvorova.

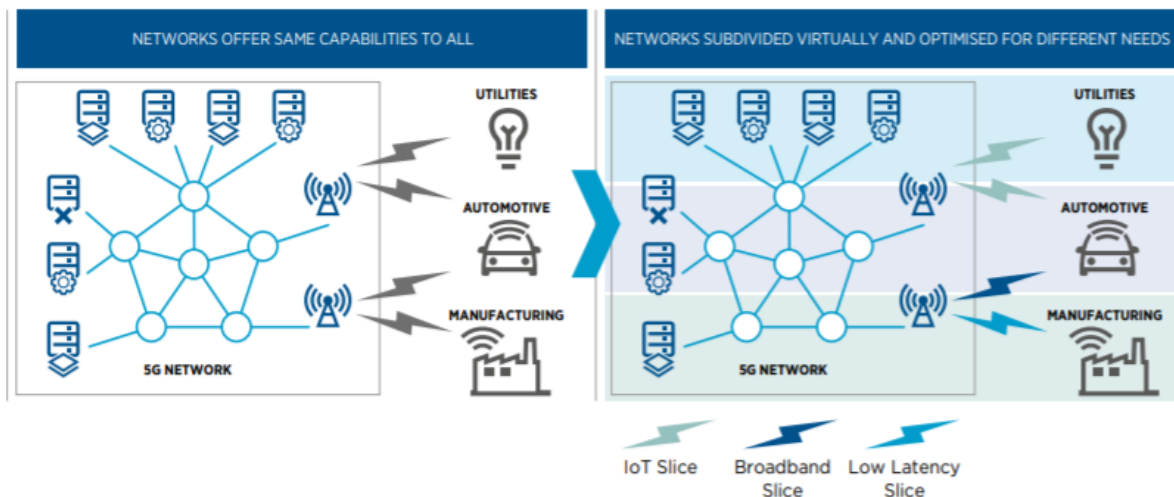


gigabita u sekundi, komunikaciju između vozila (engl. *Vehicle-to-vehicle* -V2V) ili komunikaciju vozila i infrastrukture (engl. *Vehicle-to-infrastructure* - V2I), kao i izvornu podršku za strojnu komunikaciju (engl. *Machine Type Communication* - MTC) i aplikacije za javnu sigurnost. [31][32]



Slika 5. Prikaz 5G ekosustava, [31]

*Network slicing* je mehanizam koji operatorima omogućuje stvoriti virtualne mreže posvećene određenoj usluzi, slučaju korištenja ili kupcu preko zajedničke fizičke mrežne infrastrukture. Ovaj mehanizam omogućuje operatorima obradu različitih zahtjeva klijenata, posebno poduzeća, s jednom fizičkom mrežom. *Network slice* je skup elemenata mreže specijaliziranih za pružanje određene vrste usluga. Primjerice, može postojati jedan mrežni dio za IoT, drugi za podršku klasičnih terminalnih uređaja i još jedan za V2X (engl. *Vehicle-to-everything*). Općenito, mogu postojati različiti zahtjevi u pogledu funkcionalnosti (npr. prioritet, kontrola politike), razlike u zahtjevima izvedbe (npr. latencija, mobilnost i brzina podataka) ili mogu poslužiti samo određene vrste korisnika. Različiti *slice*-ovi se mogu koristiti istovremeno. *End-to-end network slicing* je glavna karakteristika 5G sustava. Konceptualno, može biti prikazan kao dijeljenje fizičke mreže na mnoge mreže za opsluživanje specifičnih slučajeva korištenja što je vidljivo na slici 6. [33][34]



Slika 6. Princip network slicing-a, [33]

Virtualizacija mrežnih funkcija je mogućnost instanciranja mrežnih funkcija u stvarnom vremenu na bilo kojoj željenoj lokaciji unutar platforme u oblaku operatora. NFV odvaja softver od hardvera zamjenom različitih mrežnih funkcija kao što su vatrozid, balanseri opterećenja i usmjerivači virtualnim instancama koje rade kao softver. To eliminira potrebu za ulaganjem u mnoge skupe hardverske elemente, a također može ubrzati vrijeme instalacije, čime se klijentima brže pružaju usluge koje generiraju prihod. NFV omogućuje 5G infrastrukturu virtualizacijom uređaja unutar 5G mreže. [34][35]

## 4. PRIMJENA KONCEPTA IOT-A U JAVNOM GRADSKOM PRIJEVOZU PUTNIKA

IoT s primjenom u prometu i transportu uključuje široku mrežu ugrađenih senzora, aktuatora, pametnih objekata i drugih inteligentnih uređaja. Spomenuta mreža prikuplja podatke iz okoline i prenosi ih do specijaliziranog softvera za pretvaranje tih podataka u korisne informacije. Tehnologija i pametna rješenja doprinose revoluciji poslovanja sektora prometa i logistike. S obzirom da prometni sustav u urbanim područjima iz dana u dan postaje sve složeniji zbog povećavanja broja vozila na cestovnim prometnicama, naglašava se potreba gradova da integriraju IoT u prijevoz kako bi imao pristup kapacitivnijim i sigurnijim načinima prijevoza. [36]

### 4.1. Upravljanje voznim parkom

IoT može imati ulogu u održavanju voznog parka i životnog ciklusa vozila. Sustavi upravljanja voznim parkom pružaju sve što je potrebno za uspostavljanje rasporeda preventivnog održavanja kako bi se optimizirali troškovi održavanja i produžio vijek trajanja vozila. Vlasnici voznih parkova mogu pratiti zastoje vozila uzrokovane kvarovima, vučom i hitnim popravcima te identificirati potencijalna problematična područja i ponavljajuće obrasce kako bi pomogli oblikovati najbolji raspored održavanja. [37]

Sustavi za praćenje vozila ili transporta postali su potreba mnogih tvrtki za učinkovito upravljanje njihovim voznim parkom i procesima opskrbenog lanca. Uz pomoć GPS uređaja za praćenje, prijevozničke tvrtke imaju neometan pristup lokaciji u stvarnom vremenu, činjenicama i podacima o vozilu. Osim praćenja lokacije, IoT uređaji također mogu pratiti ponašanje vozača i mogu informirati o stilu vožnje i vremenu mirovanja. [37]

IoT rješenja nezaobilazna su za praćenje rada motora vozila, kao i praćenje učinkovitosti goriva. Povezani uređaji prenose podatke snimljene digitalnim tahografom i pomažu saznati, primjerice, ukupnu udaljenost koju je određeno vozilo prešlo i kojom brzinom. Integracija IoT senzora u postojeće telematsko<sup>6</sup> rješenje omogućuje upraviteljima voznih parkova primanje informacija o potrošnji goriva u stvarnom vremenu. To pomaže u praćenju brzine u praznom hodu, što ne samo da troši gorivo, već i povećava emisije štetnih plinova. [37]

Automatizacija pomaže u izgradnji inteligentnih transportnih sustava i održava sigurnost imovine, uključujući vozače i vozila, na optimalan način. Budući da je oko 90% nesreća uzrokovano ljudskom greškom, automatizacija se smatra idealnim rješenjem za smanjenje rizika. Integracijom s mogućnostima automatizacije, pametna rješenja za upravljanje voznim parkom mogu pomoći u slanju automatskih obavijesti svim povezanim uređajima. Na taj način može se obavijestiti vozače u stvarnom vremenu u slučaju da je

---

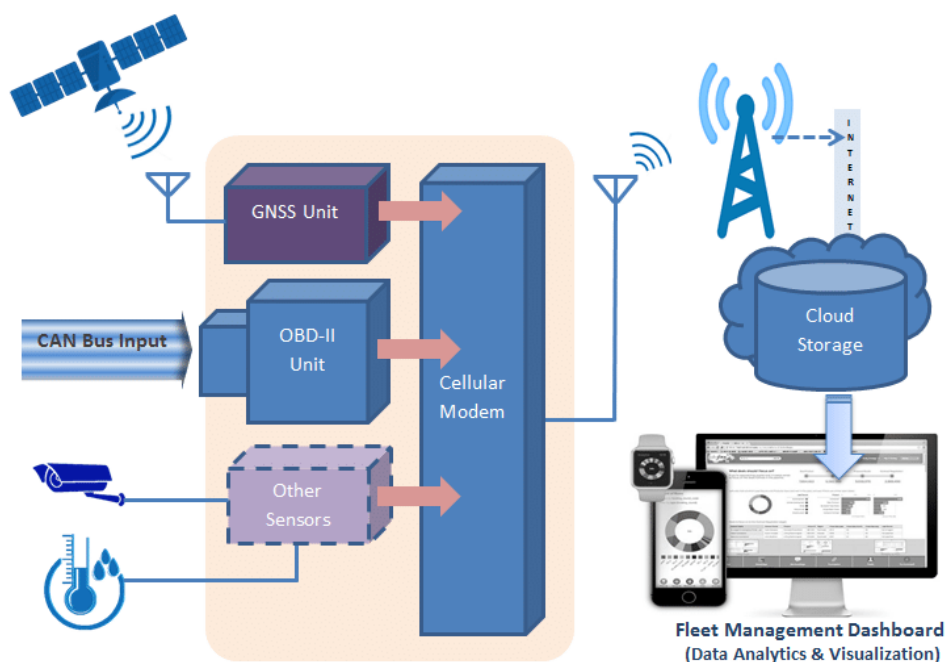
<sup>6</sup> Telematika je pojam koji označava dijeljenje podataka o lokaciji i stanju vozila prema mreži.

potrebna promjena rute zbog prometne gužve, vremenskih nepogoda ili bilo kojeg drugog razloga. [37]

Tipična modularna jedinica za upravljanje voznim parkom, prikazana na slici 7, sastoji se od OBD-II (engl. *On-Board Diagnostics – Standard revision – II*) modula koji se povezuje sa sabirnicom CAN (engl. *Controller Area Network*). Mikrokontroleri, senzori i razni uređaji iz vozila koriste CAN (komunikacijski kanal) za međusobnu komunikaciju. OBD-II modul bilježi dijagnostičke informacije iz primjera CAN-a, podataka upravljačke jedinice motora i prijenosa. Jedinica prijemnika GNSS (engl. *Global Navigation Satellite System*) poput GPS-a, GLONASS-a pomaže u hvatanju geografskih koordinata. Sinkrono snimanje GNSS podataka i dijagnostičkih podataka može pomoći u trenutnom prepoznavanju točne lokacije kvara vozila ili drugih događaja. [38]

Usporedba s referentnim podacima iz odjela prometa može se koristiti za analizu ponašanja vozača i njihovog pridržavanja prometnih propisa. Svaka tvrtka ima svoje jedinstvene zahtjeve i ciljeve koji stoje iza sustava za upravljanje voznim parkom. Organizacije trebaju nadograditi modul upravljanja voznog parka na temelju svojih zahtjeva upotrebe. [38]

*Cellular* modul neophodan je za praćenje bitnih parametara vozila u stvarnom vremenu, detekciju krađe, sigurnost vozača i prijavu kvara. Navedeni podaci su poslani u oblak kako bi operatori voznog parka mogli analizirati parametre u stvarnom vremenu, izvršiti prediktivnu analizu i identificirati zahtjeve za ublažavanje za nesmetan rad flote. Učinkovito korištenje analitike podataka i alata za vizualizaciju te nadzorne ploče su mozak inteligentnog sustava upravljanja voznim parkom. Parametri vizualizacije variraju s obzirom na poslovne potrebe, ali i nekoliko osnovnih zaključaka kao što su ponašanje vozača, učinkovitost potrošnje goriva, stanje voznog parka, zahtjevi za održavanjem i kvarovi su prisutni na nadzornim pločama. [38]



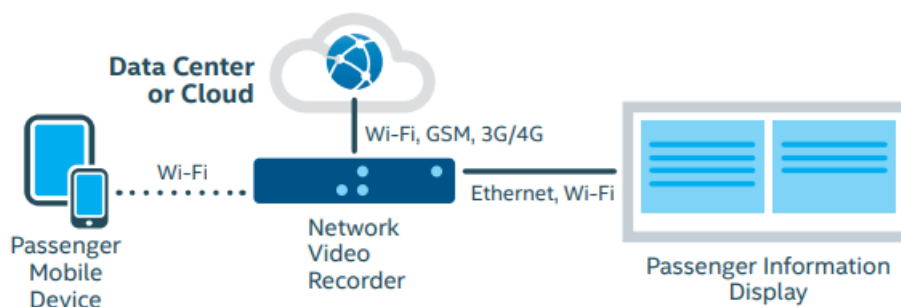
Slika 7. Arhitektura sustava upravljanja voznim parkom, [38]

U sustavima za upravljanje voznim parkom, IoT je smanjio operativne troškove i troškove goriva zajedno s troškovima održavanja. Što se tiče praćenja prijevoza, može se reći da je praćenje u stvarnom vremenu znatno olakšalo implementaciju pametnih odluka, omogućujući vozačima da odmah prepoznaju probleme u vozilu i poduzmu mjere opreza gdje je to potrebno. [37]

## 4.2. Aplikacije za putnike

IoT tehnologije mogu pomoći u poboljšanju korisničkog iskustva u javnom gradskom prijevozu pružanjem usluga koje su dio očekivanja putnika u modernom svijetu. Primjerice, putnički informacijski sustavi koji pružaju najnovije informacije, ažuriranja stajališta na ruti, rasporeda i promjene u javnom prijevozu. [39]

Internet u javnom prijevozu omogućuje putnicima da koriste svoje terminalne uređaje. Modeli korištenja su omogućeni lokalnim mrežnim videorekorderom koji povezuje putnike s internetom i pružateljima mrežnih usluga, kao što je prikazano na slici 8. Pružatelji prijevoznih usluga mogu generirati prihod putem slanja sadržaja putnicima ili prikazivanje oglasa za naknadu. [40]

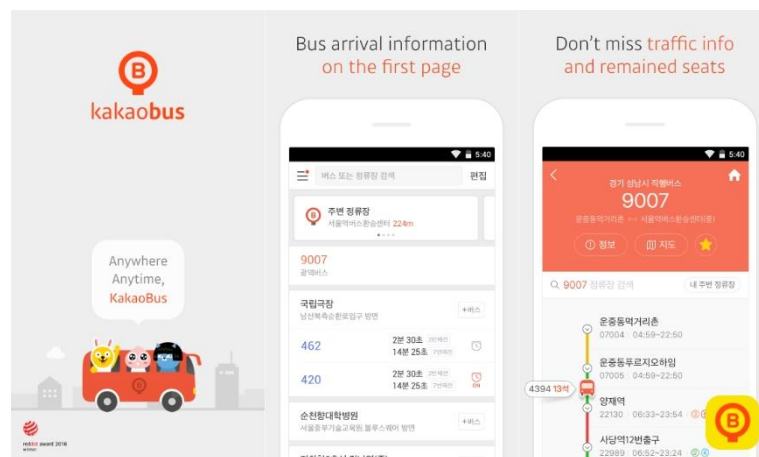


Slika 8. Lokalni mrežni videorekorder, [40]

Uz IoT, prijevozničke tvrtke mogu ugraditi senzore i GPS uređaje za lociranje svojih vozničkih parkova u stvarnom vremenu. Pritom se takve informacije emitiraju u aplikaciji ili na mrežnoj stranici na kojoj ih korisnici mogu vidjeti uživo. Praćenje vozila u stvarnom vremenu putem aplikacija za pozivanje taxi prijevoza može se primijeniti na autobusne i željezničke flote i omogućiti putnicima da vide kretanje autobusa ili vlaka u stvarnom vremenu. [39]

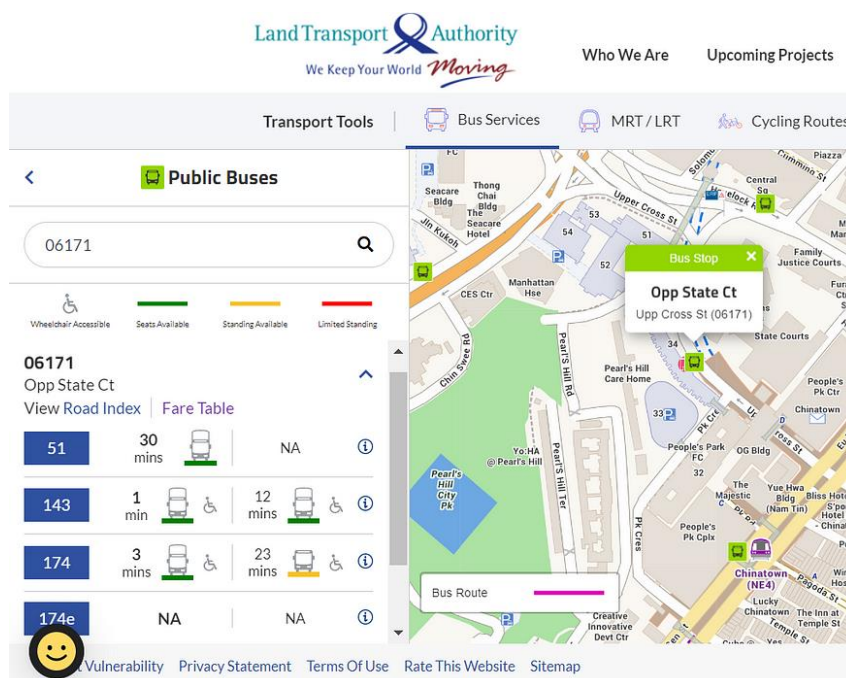
*KakaoBus* je aplikacija dostupna u 57 južnokorejskih gradova koja sadrži informacije o autobusima i autobusnim stanicama u stvarnom vremenu, prikazana je na slici 9. Putnici mogu provjeriti vrijeme polaska autobusa, postaviti alarme za redoviti raspored autobusa, uključujući podsjetnike za izlaz iz autobusa na zadanoj stanici. Aplikacija također omogućuje personalizaciju informacija na temelju trenutne lokacije putnika, najbližih autobusnih stanica,

najbržeg puta do kuće. U gradu Seulu se može unaprijed provjeriti ima li slobodnih mjesta u autobusu. [41]



Slika 9. Kakaobus aplikacija, [42]

Web stranica Singapurske uprave kopnenog prometa, kao što je vidljivo na slici 10, nudi pojedinosti o opterećenosti svakog autobusa te ima li slobodnih mjesta za sjedenje i stajanje. [39]

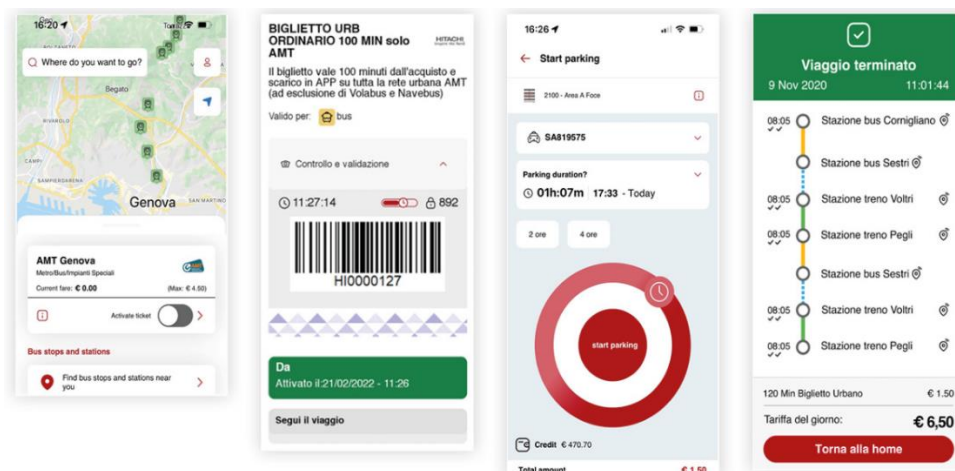


Slika 10. Web stranica Singapurske uprave kopnenog prometa, [39]

Hitachijeva mobilna aplikacija 360Pass, prikazana na slici 11, omogućuje putnicima brojne načine planiranja i plaćanja prijevozne rute u talijanskom gradu Trentinu. Putnici mogu besplatno preuzeti aplikaciju iz bilo koje trgovine mobilnim aplikacijama te imaju mogućnost

planiranja i putovanja svim načinima javnog prijevoza u Trentinu bez potrebe za kupnjom tradicionalne karte. [43][44]

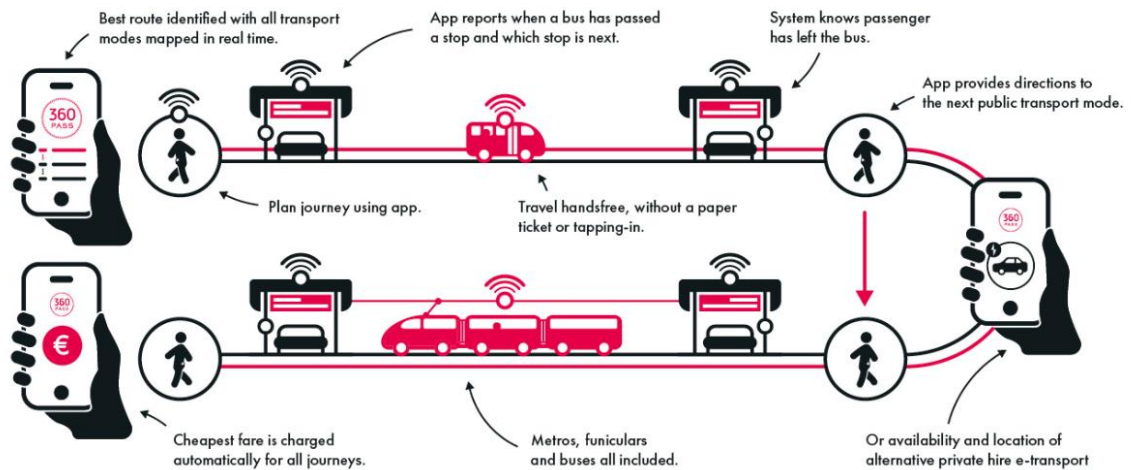
Aplikacija podržava šira multimodalna putovanja, a korisnici mogu podmiriti i troškove parkiranja vozila diljem grada. Aplikacija 360Pass omogućuje korisnicima Trentina da kupe i potvrde svoju kartu za bilo koji vid javnog prijevoza putem aplikacije. Karte se mogu potvrditi ili skeniranjem QR koda na autobusnim linijama ili automatski putem *Bluetootha* kroz postavke aplikacije, koja je u interakciji sa senzorima instaliranim na 38 postaja na željezničkoj liniji Trento-Malè-Mezzana i u vlakovima. Senzori detektiraju polazište i odredište svakog putovanja i automatski potvrđuju karte, omogućujući putnicima da putuju bez potrebe za pokazivanjem karte. Putnici mogu pratiti razine gužve u prometu, omogućujući opciju odabira manje prometnih putovanja. [43][44]



Slika 11. Aplikacija 360 Pass, [43]

Nakon što putnik započne putovanje, aplikacija se povezuje sa svakim senzorom koji prođe na ruti, bilježeći cijelo multimodalno putovanje<sup>7</sup> kao što je prikazano na slici 12. Aplikacija zatim koristi snimljene podatke za izračunavanje najpovoljnije cijene karte za putnika na kraju dana i šalje račun za konačnu cijenu karte u 3 ujutro sljedećeg dana. [43]

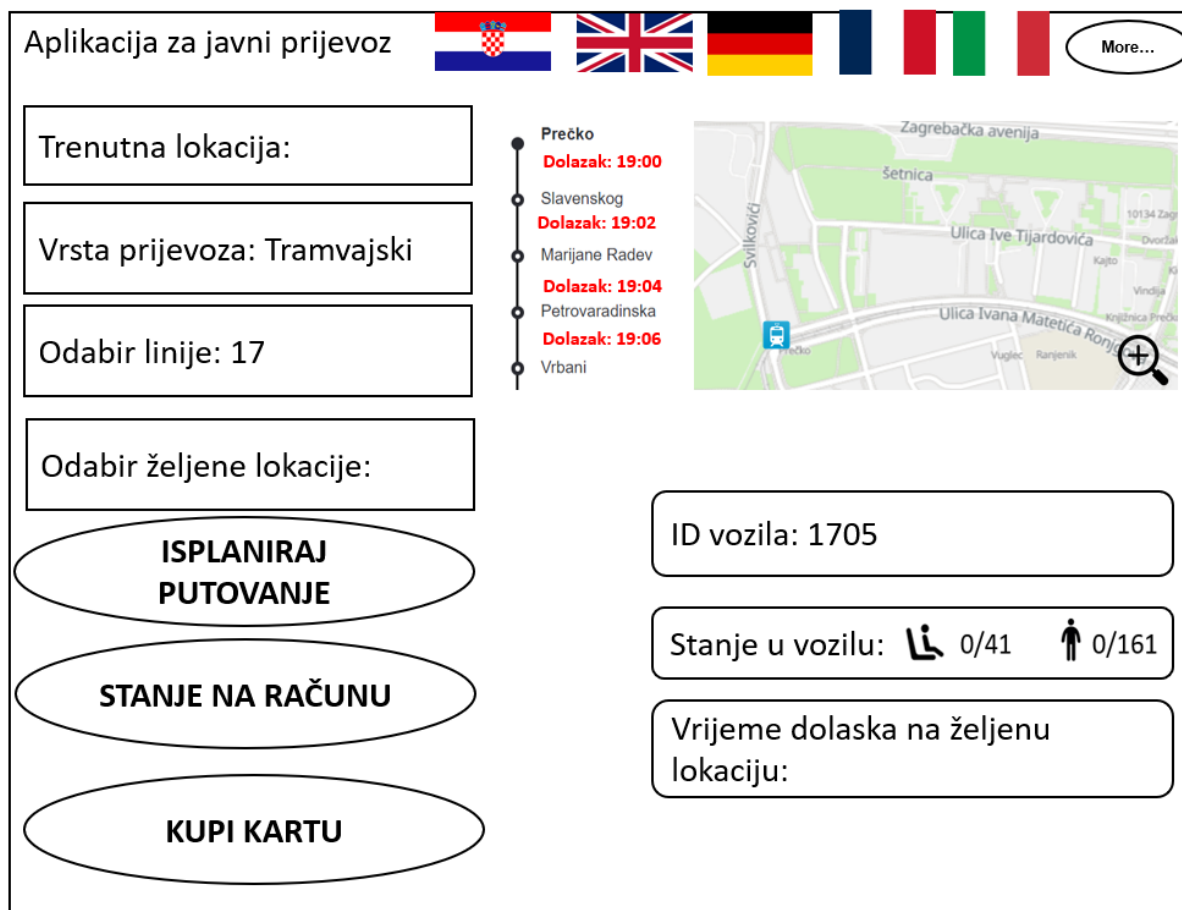
<sup>7</sup> Multimodalno putovanje je putovanje s različitim vrstama prijevoza.



Slika 12.. Prikaz rada 360Pass aplikacije, [43]

To su neki od primjera koji pokazuju kako IoT omogućuje putnicima lakše putovanje u javnom prijevozu. Prilikom izrade aplikacija za putnike potrebno bi bilo voditi računa o preglednosti, pristupačnosti i jednostavnosti, kao što je prikazano na slici 13. Za područje Europske unije bilo bi pogodno da svaka država članica razvije vlastitu aplikaciju za javni prijevoz koja je međusobno kompatibilna s ostalim aplikacijama kako bi se ostavio prostor za povezivanje svih pojedinačnih aplikacija u jednu kada i ako to bude bilo moguće ostvariti. Prilikom razvoja pojedinačne aplikacije na razini grada ili države potrebno bi bilo krenuti od implementacije jednostavnijih funkcionalnosti poput prikazivanja točnog dolaska prijevoza na postaju, prikaza informacija o trenutnom stanju u javnom prijevozu te naplate karata. Nakon opremanja vozila javnog prijevoza s potrebnim sensorima, aplikacije bi trebalo unaprijediti da prikazuju informacije o popunjenosti određenog vozila. Sljedeći korak bi bio povezivanje različitih vrsta prijevoza, primjerice željezničkog i autobusnog. Kroz dulje razdoblje korištenja aplikacija zbog testiranja i unapređenja usluge otvorila bi se mogućnost za spajanjem aplikacija.





Slika 13. Predloženo sučelje aplikacije za putnike

Aplikacije ovakvog tipa mogle bi implementirati i putokaze za važne događaje i znamenitosti u gradu. Važno je istaknuti da bilo koji sustav digitalne naplate prijevoza ne smije zamijeniti papirnatu kartu koje bi predstavljale kvalitetnu alternativu za naplatu putovanja.

#### 4.3. Komunikacija među vozilima (*Vehicle-to-Vehicle*)

Komunikacija vozilo-vozilo (V2V) omogućuje vozilima međusobnu bežičnu razmjenu informacija o brzini, lokaciji i smjeru. Tehnologija koja stoji iza V2V komunikacije omogućuje vozilima emitiranje i primanje višesmjernih poruka (do deset puta u sekundi), stvarajući uvid o drugim vozilima u blizini. [45]

Vozila opremljena odgovarajućim softverom ili sigurnosnim aplikacijama mogu koristiti poruke okolnih vozila za određivanje potencijalnih prijetnji sudarom. Tehnologija tada može koristiti vizualna, taktilna i zvučna upozorenja kako bi upozorila vozače. Ova upozorenja omogućuju vozačima da poduzmu radnje kako bi izbjegli sudare. V2V komunikacijske poruke takvog tipa imaju doomet veći od 300 metara i mogu otkriti opasnosti skrivene prometom, terenom ili vremenom. [45]

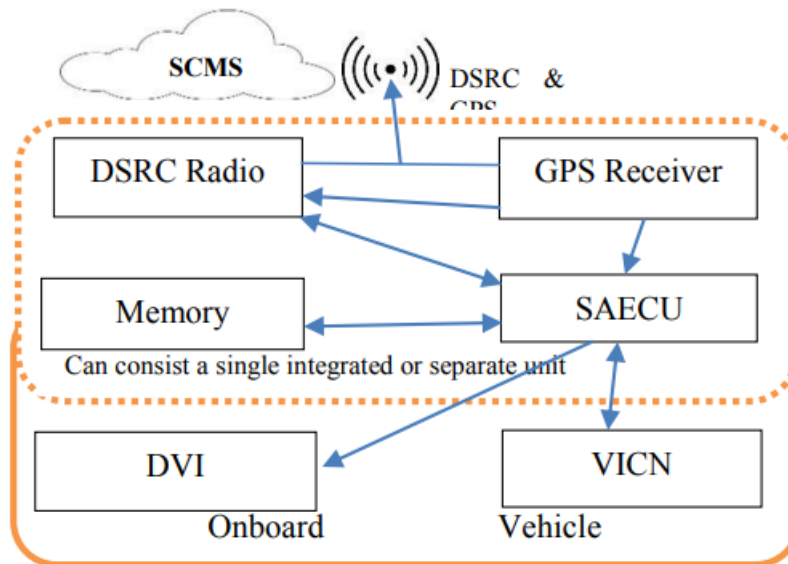
Koordinirana skupina programa, funkcija, zadataka dizajniranih za sučelje s vozačem su:

- Elektronička svjetla kočnice u nuždi (engl. *Emergency Electronics Brake Light* -EEBL) koja obavještava vozača o teškom vozilu na cesti ispred,
- Upozorenje na mrtvi kut (engl. *Blind Spot Warning* - BSW) predstavlja napredni sustav koji pomaže vozaču dajući mu do znanja da postoji vozilo koje možda nije vidljivo i njegov položaj u mrtvom kutu vozača. Ako vozač pokuša promijeniti prometni/vozni trak i dalje je u mrtvom kutu, upozorenje će pokrenuti upozorenje koje obavještava da promjena traka nije sigurna,
- Upozorenje o promjeni voznog traka (engl. *Lane Change Warning* - LCW) je napredni sigurnosni sustav pomoći vozaču namijenjen upozoravanju ako vozač namjerava promijeniti prometni/vozni trak koji će uskoro zauzeti vozilo koje se brzo kreće i putuje u istom smjeru,
- Upozorenje na prednji sudar (engl. *Forward Collision Warning* - FCW) je namijenjen upozoravanju vozača na mogući sudar ili sporo vozilo ispred,
- Upozorenje o zabrani pretjecanja (engl. *Do Not Pass Warning*- DNPW) ima za cilj dati do znanja vozaču da nije sigurno proći pored vozila koje se sporije kreće zbog nadolazećeg prometa u zoni prelaska,
- *Intersection Movement Assist* (IMA) je sigurnosni napredni sustav pomoći vozaču namijenjen zaštiti vozača kada nije sigurno ući u raskrižje zbog velike vjerojatnosti sudara susjednog vozila koje se približava istom raskrižju s lijeve ili desne strane,
- Pomoćnik za lijevo skretanje (engl. *Left Turn Assistant* - LTA): Namijenjen je da upozori vozača kada skreće ulijevo. On upozorava vozača pri skretanju ulijevo koje možda nije sigurno zbog brzog kretanja vozila koje dolazi s lijeva. [46]

V2V komunikacija zahtijeva dvije glavne komponente, koje uključuju jednu smještenu na vozilu, a drugu na jedinici uz cestu (engl. *Road Side Unit*- RSU). Neke od hardverskih komponenti u vozilu mogu se integrirati u jednu jedinicu ili diskretni skup komponenti, kao što je prikazano na slici 14:

- Namjenski radio kratkog dometa (engl. *Dedicated Short Range Radio* - DSRC) koji je odgovoran za primanje i prijenos podataka preko antena,
- GPS prijemnik koji daje položaj vozila, vrijeme do DSRC radija i vremenske signale za aplikacije,
- Memorija koja je odgovorna za pohranjivanje sigurnosnih certifikata s drugim informacijama i podacima o aplikaciji,
- Elektronička upravljačka jedinica sigurnosne aplikacije (engl. *Safety Application Electronic Control Unit* - SAECU) pokreće sigurnosne aplikacije sustava,
- Interna komunikacijska mreža vozila (engl. *Vehicle's Internal Communication Network* - VICN) je mreža koja međusobno povezuje priključke,
- Sučelje vozač-vozilo (engl. *Driver-Vehicle Interface* - DVI) prikazuje ili generira upozorenje vozaču,

- Upravitelj sustava upravljanja sigurnosnim vjerodajnicama (engl. *Security Credential Management System Manager - SCMS*) olakšava i provjerava V2V sigurnosne certifikate kako bi se osiguralo da postoji povjerenje između vozila,
- DSRC i GPS antena: sučelje između radio valova koji se šire i odgovorno je za primanje i odašiljanje i DSRC i GPS signala. [46]



Slika 14. Komponente V2V tehnologije, [46]

V2V komunikacija proširuje i poboljšava trenutno dostupne sustave za izbjegavanje sudara koji koriste radare i kamere za otkrivanje prijetnji od sudara. Čak bi i biciklisti i pješaci jednog dana mogli iskoristiti V2V komunikacijsku tehnologiju kako bi poboljšali svoju vidljivost vozačima. V2V komunikacijska tehnologija može povećati učinkovitost sigurnosnih sustava vozila i pomoći u spašavanju života. Tehnologije povezanih vozila vozačima pružaju alate koji su im potrebni za predviđanje mogućih sudara i značajno smanjenje broja izgubljenih života svake godine. [46]

## **5. BROJANJE PUTNIKA U JAVNOM GRADSKOM PRIJEVOZU KORIŠTENJEM IOT-A**

Automatsko brojanje putnika (engl. *Automatic Passenger Counting* – APC) doprinosi sustavima upravljanja korisnim podacima za potrebe planiranja i organizacije javnog prijevoza. Pomoću tih podataka može se dobiti uvid o trendu korištenja prijevoza pomoću kojega se mogu donositi odluke o preraspodjeli ruta, povećanju ili smanjenju učestalosti određenih ruta, promjeni vrste vozila i sl. Za potrebe brojanja putnika u autobusima, tramvajima, metroima i vlakovima postoje dva glavna postupka:

1. Brojanje neovisno o karti (za autobuse, tramvaje, vlakove):
  - a. praćenje pojedinačnih putnika, obično pomoću tehnologija u vozilu,
  - b. praćenje ukupnog opterećenja vozila, s tehnologijama postavljenim na ovjesima ili na tlu.
2. Brojanje povezano s pametnom kartom. [47][48]

### **5.1. Brojanje neovisno o karti**

Brojanje se može temeljiti na detekciji ili pokušaju detekcije pojedinačnih putnika te neizravno. Potrebno je voditi računa o cijeni sustava, a to nije povezano samo s vrstom tehnologije već i relevantnom hardversko-softverskom kombinacijom. Brojanje neovisno o karti mora se provoditi pomoću odgovarajućih senzora, koji mogu detektirati prolazak ljudi kroz vrata autobusa, tramvaja i vlakova. [48]

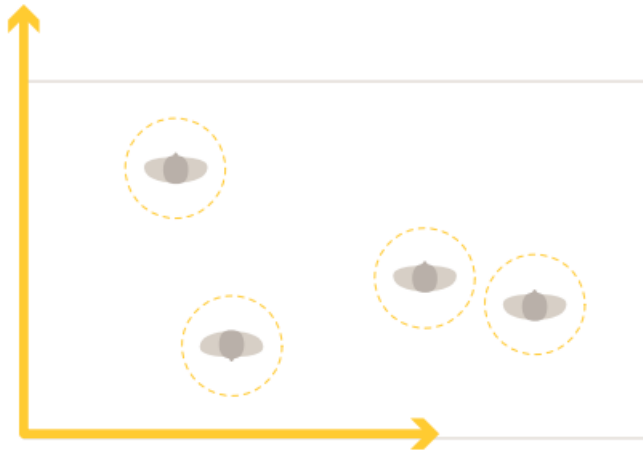
#### **5.1.1. Praćenje pojedinačnih putnika**

Jedan od pristupa kod brojanja ljudi/putnika je korištenje kamera. Naglasak je na izdvajanju obrazaca kretanja putnika koji su u vozilu. Za klasifikaciju otkrivenih pokreta koriste se histrogrami kretanja koji se temelje na slikama s razlikom u kadru. Na kraju, broj se utvrđuje primjenom probabilističke korelacije. [48]

Kamera koja se koristi za brojanje ljudi obično se postavlja iznad područja na kojem se broje putnici. Ovlašteni korisnici tada mogu vidjeti statistiku u stvarnom vremenu i povijesnu statistiku. Sustav je kompatibilan s postojećom IP mrežom. Aplikacije za brojanje ljudi obično su dizajnirane za brojanje objekata s karakteristikama odraslih osoba. Oni bilježe pokretne objekte postavljene minimalne visine unutar zone brojanja u području vidnog polja kamere. [49]

Točno ograničenje visine objekta ovisi o modelu kamere, objektivu i odabranoj osjetljivosti brojača, ali softver ima problema s prepoznavanjem djece i predmeta kao što su kolica i prtljaga. Algoritmi često imaju mogućnost prilagođavanja brojanja zona ovisno o lokaciji u kojoj se broje ljudi. U idealnom slučaju, kamere se uparuju kako bi se omogućilo brojanje na širem području. [49]

Brojanje ljudi može se temeljiti na monoskopskoj kameri (koja ima jednu leću ili senzor), a takav način brojanja je dvodimenzionalan (2D). 2D brojanje, prikazano na slici 15., prepoznaje objekte koji se kreću u jednoj ravnini u vidnom polju kamere i može ih identificirati kao ljude zbog njihove ukupne veličine i načina kretanja. [49]



Slika 15. 2D snimanje putnika, [49]

Brojanje ljudi također se može temeljiti na stereoskopskoj kameri (ima dvije leće ili senzore), koje predstavlja trodimenzionalno rješenje. Stereo snimanje, kao što je vidljivo na slici 16., omogućuje stvaranje trodimenzionalne karte dubine koja pomaže poboljšati točnost prevladavanjem izazovnih situacija u kojima postoje sjene, jaka sunčeva svjetlost, odsjaji ili veliki protok ljudi na određenoj lokaciji. Karta dubine također omogućuje 3D brojač ljudi pomoću kojega se izbjegava brojanje predmeta ispod postavljene minimalne visine, poput kolica i torbi. [49]

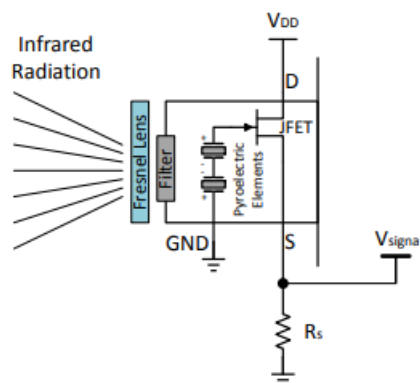


Slika 16. 3D snimanje putnika, [49]

S većim kapacitetom procesora u modernim kamerama, vodeći algoritmi za 2D brojanje ljudi nude točnost u skladu s 3D brojanjem ljudi. Zbog stereo vizije, 3D rješenje može biti pogodnije za situacije s gužvom i situacije s izazovnim svjetlosnim uvjetima. Primjerice, u okruženju s intenzivnim sunčevim svjetlom, 3D rješenje može filtrirati sjene, dok 2D rješenje može proizvesti lažna brojanja tumačeći sjene kao ljude. [49]

Aktivni infracrveni senzori (engl. *Infrared* – IR) emitiraju i otkrivaju infracrveno zračenje. Aktivni IR senzori imaju dva dijela: diodu koja emitira LED svjetlost i prijemnik. Kada se objekt približi senzoru, infracrveno svjetlo iz LED-a reflektira se od objekta i detektira ga prijemnik. Nizovi detektora formiraju se kombiniranjem matrice IR senzora uz pomoć IR nizova. Signali senzora daju se u obliku matrice. Svaki senzor je predstavljen elementom matrice. Algoritmi za prepoznavanje uzoraka otkrivaju ljude koji se kreću preko senzora s navodnom točnošću od 95 posto. Opseg osjetila je podesiv pomoću ugrađenog promjenjivog otpornika. Troškovno učinkovito rješenje dobiva se korištenjem IR nizova i ne zahtijeva nikakav izvor svjetlosti za svoj rad. [48][50]

PIR (engl. *Passive Infrared Sensor*) senzori su smješteni na određenoj udaljenosti u brojačima ljudi koji se temelje na PIR sensorima kretanja. Bežična RF veza povezuje PIR senzore s koordinatorom. Senzori bilježe kretanje i prenose informacije koordinatoru. Broj se izračunava usporedbom broja, faze i vremenske razlike vrhova signala. Piroelektrični infracrveni senzor koristi se u mnogim sustavima za otkrivanje prisutnosti putnika. Senzor pretvara fluktuacije u dolaznom IR zračenju u analogni napon. PIR senzori se sastoje od optičkog filtera, piroelektričnih elemenata i međuspremnik. Slika 17 prikazuje shemu kruga senzora. Optički filter dopušta samo IR zračenju da uđe u senzor. Elementi su povezani u seriji u suprotnom polaritetu za generiranje diferencijalnog senzora. [51]



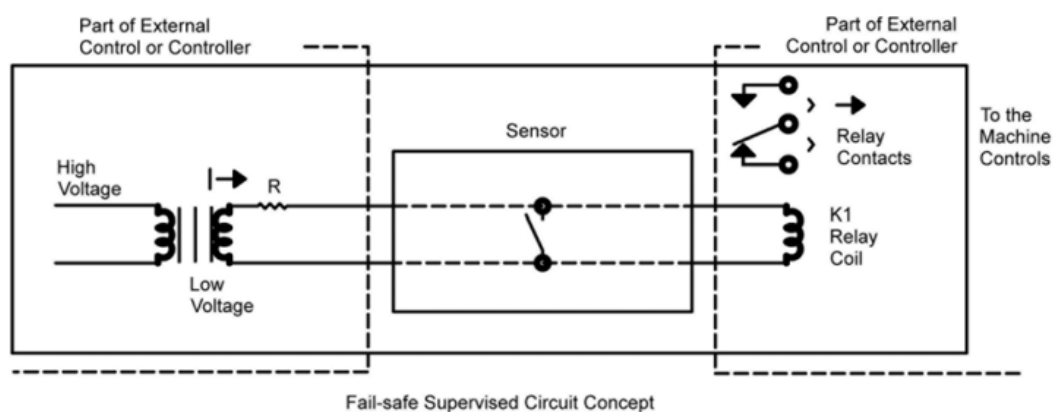
Slika 17. Shema PIR senzora, [51]

Kada je senzor u stanju mirovanja, oba utora detektiraju istu količinu IR zračenja, količinu ambijentalnog zračenja iz prostorije, zidova ili vanjskog zraka. Kada toplo tijelo poput čovjeka ili životinje prolazi pokraj njega, ono prvo presreće jednu polovicu PIR senzora, što uzrokuje pozitivnu diferencijalnu promjenu između dvije polovice. Kada toplo tijelo napusti područje osjeta, događa se obrnuto, pri čemu senzor generira negativnu diferencijalnu promjenu. Ako se pojavi IC smetnja zajedničkog načina rada, kao što je promjena temperature okoline, oba elementa generiraju napone koji se međusobno suprotstavljaju i poništavaju. [52]

PIR senzori su jeftinija i lakša alternativa nizovima IR senzora, ali su troškovi i vrijeme uključeni u postavljanje nekoliko senzorskih čvorova na svakoj ulaznoj i izlaznoj točki nedostatak. [48]

Podloge za gaženje su postavljene na stepenicama autobusa, tramvaja ili vlaka čija je uloga registriranje putnika koji stanu na podlogu. Vrlo su osjetljivi sa značajkom aktiviranja pritiska na bilo koju točku. Pravilno postavljeni i spojeni kontinuirano nadziru štićeno područje. Međutim, kako bi ispravno funkcionirali kao sigurnosni uređaji, prostirke moraju biti instalirane sa sigurnosnim krugom za nadzor kao što je prikazano ispod ili s ekvivalentnom sigurnosnom metodologijom. [48]

Podloge za gaženje sadrže kontrolere koji se baziraju na konceptu sigurnosti. Načelo sigurnosti *Fail-safe*, je naziv koncepta koji nadzire status senzora u svakom trenutku, a predočeno je na slici 18. U slučaju kvara, koncept sigurnosti će simulirati zaštićeni položaj prilikom kojeg je senzor aktiviran, a normalan položaj je u slučaju kada senzor nije aktiviran. [53]



Slika 18. Sigurnosni koncept podloge za gaženje, [53]

Metalna konstrukcija može biti prekrivena slojem gume i pričvršćena na stepenice pomoću namjenski dodijeljenih struktura za pričvršćivanje ili jednostavno zalijepljena pomoću ljepila visoke nepropusnosti pri čemu se drugo rješenje rjeđe primjenjuje jer se može prilično brzo pokvariti. [48]

U slučajevima velike gužve upotreba alternativnih tehnologija, kao što su pasivni IR senzori, može biti poželjnija. Sljedeća mogućnost je da pristup i izlaz iz vozila budu upravljani drugim instrumentima poput okretne barijere kako bi se dobio pojedinačni pristup vozilu, što omogućuje kontrolnom sustavu da broji putnike jednog po jednog. [48]

Uz pomoć IoT-a, svi senzori koji se koriste mogu se povezati u jedan sustav koji ima mogućnost obrade podataka koji senzori zaprimaju. Problematika se dalje usmjerava prema tome kako ti podaci međusobno koreliraju, odnosno kako se eliminira registracija istog putnika, za što su zaduženi razni algoritmi.

### 5.1.2. Praćenje ukupnog opterećenja vozila

WIM (engl. *Weigh In Motion*) se definira kao postupak mjerenja dinamičkih sila gume pokretnog cestovnog vozila i procjena ukupne težine vozila te težine koju nosi svaki kotač, osovina i skupina osovina odgovarajućeg statičkog vozila. [54]

Sustavi WIM omogućuju procjenu broja putnika u javnom prijevozu kroz opterećenje vozila na tlu zabilježeno prije i nakon zaustavljanja. WIM sustavi identificiraju dinamičko opterećenje uslijed prolaska vozila na sensorima i dobivaju statičko opterećenje u stvarnom vremenu obradom podataka kroz programe. Znajući težinu vozila na početku putovanja, uključujući vozača i gorivo, prosječnu potrošnju i uzimajući u obzir prosječnu težinu po osobi, može se pratiti broj putnika u vozilu javnog prijevoza. Unutar automatskog brojanja, očito je da se WIM rješenja također mogu integrirati u APC sustave za provjeru pouzdanosti dobivenih podataka, bilo u stvarnom vremenu ili po rasporedu u nekim razdobljima u godini. [48]

IoT se u ovom načinu brojanja može pojaviti kao kombinacija telematike i podataka prikupljenih iz senzora postavljenih na cesti. Izazov ovakvog brojanja je vremensko usklađivanje telematskih podataka sa senzorskim te određivanje prosječne težine putnika.

## 5.2. Brojanje povezano s pametnom kartom

Pametna kartica je uređaj koji uključuje ugrađeni integrirani krug koji može biti ili sigurni mikrokontroler ili ekvivalentna inteligencija s internom memorijom ili samo memorijskim čipom. Kartica se povezuje s čitačem izravnim fizičkim kontaktom ili daljinskim beskontaktnim radiofrekvencijskim sučeljem (RFID tehnologija). S ugrađenim mikrokontrolerom, pametne kartice imaju jedinstvenu sposobnost pohranjivanja velikih količina podataka, izvršavanja vlastitih funkcija na kartici (npr. šifriranje i međusobna provjera autentičnosti) i inteligentne interakcije s čitačem pametnih kartica. [55]

Tehnologija pametnih kartica usklađena je s međunarodnim standardima ISO/IEC 7816 i ISO/IEC 14443, te je dostupna u različitim oblicima poput plastične kartice, privjeska za ključeve, satova, modula za identifikaciju pretplatnika koji se koriste u GSM mobilnim telefonima i USB tokena. Podaci pametne kartice, odnosno podaci o ulasku i izlasku svakog putnika snimljeni na izlazima kolodvora se smatraju podacima brojača. [55]

Beskontaktna pametna kartica sadrži ugrađeni mikrokontroler za zaštitu pametne kartice ili internu memoriju i malu antenu te komunicira s čitačem putem beskontaktnog radiofrekvencijskog (engl. *Radio Frequency* - RF) sučelja. Sustavi beskontaktnih pametnih kartica usko su povezani sa sustavima kontaktnih pametnih kartica. Poput sustava kontaktnih pametnih kartica, informacije se pohranjuju na čipu ugrađenom u beskontaktnu pametnu karticu. Međutim, za razliku od kontaktne pametne kartice, napajanje kartice kao i podaci koji se razmjenjuju između kartice i čitača ostvaruju se bez upotrebe kontakata, korištenjem magnetskih ili elektromagnetskih polja za napajanje kartice kao i za razmjenu podataka s čitačem. [55]

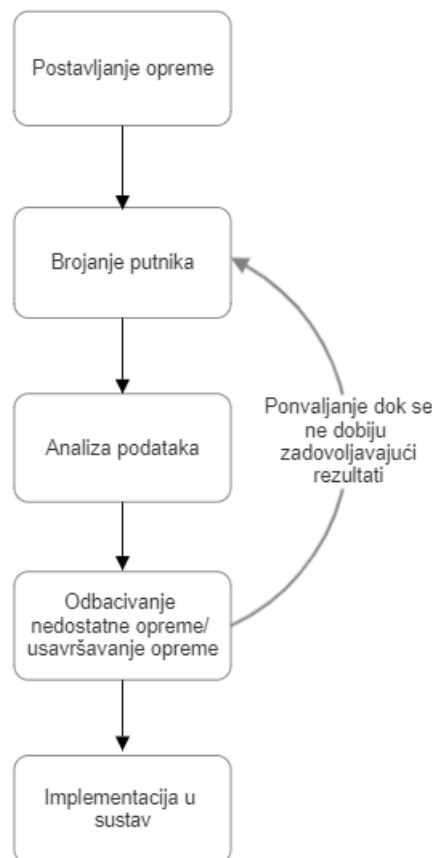
Trenutačne pametne kartice javnog prijevoza općenito koriste CBT (engl. *Card-Based Ticketing*) sustav kod kojeg se obavlja računaska obrada kartice na strani servisnog uređaja stanice. Ovakav sustav zahtijeva vrlo visoke specifikacije uređaja stanice što donosi velike troškove implementacije CBT sustava. Kod ABT-a (engl. *Account-Based Ticketing*), stanje na kartici i osobni podaci agregirani su u podatkovnom centru više razine, smanjujući zahtjeve za



obradu opreme na strani stanice i time značajno smanjujući troškove. ABT također povećava svestranost, omogućujući rukovanje različitim sustavima autentifikacije, uz autentifikaciju pametnom karticom. Dostupne opcije mogu se povećati kako bi uključile one koje bolje odgovaraju scenarijima korištenja i okruženjima operatora, kao što su plaćanje QR kodom i beskontaktno biometrijsko plaćanje, čija popularnost brzo raste. [56]

### 5.3. Predloženi način primjene sustava brojanja putnika

Prilikom primjene prethodno spomenutih metoda brojanja putnika, bilo bi ih poželjno testirati prije postavljanja opreme u svako vozilo javnog gradskog prijevoza, kao što je prikazano na slici 19. Primjerice, odabrati nekoliko vozila javnog prijevoza s postavljenom svom dostupnom opremom za potrebu brojanja putnika kroz određeno razdoblje. Prilikom takvog testiranja bilo bi poželjno da se zna točan broj putnika kako bi se mogla utvrditi točnost određenih metoda brojanja, stoga bi se putnici brojali na ulazu i izlazu iz vozila uz pomoć promatrača. Važno bi bilo da se sustav testira kroz što je više moguće situacija kako bi se dobio uvid u čimbenike koji utječu na točnost brojanja (primjerice velika gužva, neravnomjeran raspored putnika u vozilu, ometanje senzora itd.).



Slika 19. Predloženi način testiranja opreme za brojanje putnika

Posebna pozornost bi se trebala obratiti na brojanje djece među putnicima putem kamere, odnosno na razvoju algoritma koji ih može prepoznati kao putnike, a istovremeno ignorira putne torbe.

Nakon odrađenog testiranja trebala bi se provesti analiza točnosti podataka, troškova i otpornosti na kvarove s ciljem pronalaska najboljeg rješenja za širu primjenu u sustavu javnog prijevoza. Ukoliko se nakon inicijalnog testiranja, kao što je prikazano na slici 20., otkrije metoda čiji rezultati brojanja pretjerano variraju u odnosu na ostale, onda se ta metoda eliminira za daljnja testiranja.

Neke metode, poput korištenja pametnih kartica i bilježenje putnika koji koriste *Wi-Fi* usluge prijevoza, sigurno su dio bilo kojeg budućeg sustava brojanja putnika. Stoga je potrebno obratiti pozornost kako bi ostale metode brojanja putnika mogle nadopuniti one koje su već u primjeni, čime bi stvorile hibridnu metodu brojanja putnika u javnom prijevozu putnika.

## 6. OBRADA PODATAKA PRIKUPLJENIH OD STRANE IOT UREĐAJA

Ključni problemi IoT senzorskih mreža su skalabilnost i točnost senzorskih podataka. Ovi se izazovi rješavaju tehnikama rudarenja i analizom podataka senzora, kao što su prikupljanje podataka, problemi čišćenja podataka, upravljanje podacima i otkrivanje znanja. S ovog aspekta, modeli strojnog učenja i dubokog učenja igraju vitalnu ulogu u dobivanju rezultata, koji uključuju generiranje znanja i donošenje odluka. [57]

### 6.1. Modeli strojnog učenja

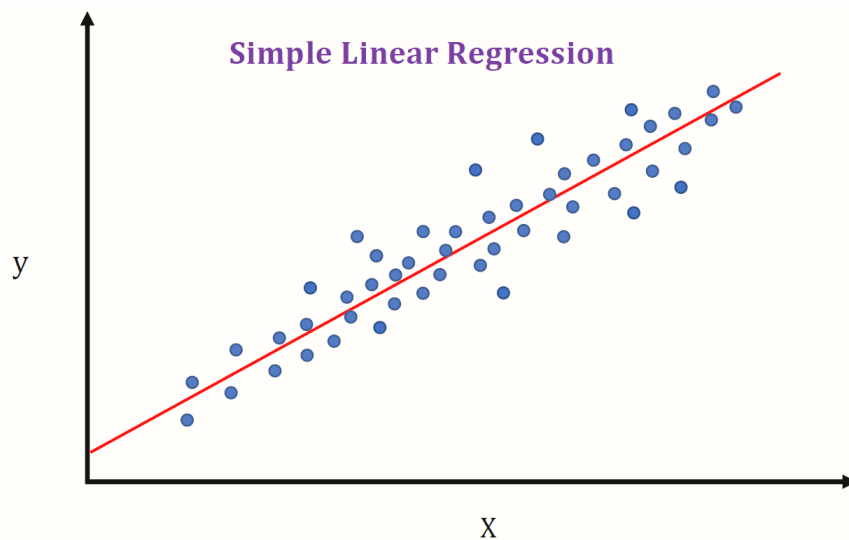
Podaci IoT senzora zahtijevaju učinkovit mehanizam za izvođenje značajnih informacija iz podataka. U slučaju analize podataka IoT senzora, modeli strojnog učenja moraju se izvoditi unutar procesora ugrađenog senzora. To zahtijeva prilagodbu sistemskih programa i učinkovitu strukturu podataka za rukovanje značajkama podataka IoT senzora u stvarnom vremenu. Za to je potrebna suradnja hardvera i softvera u stvarnom vremenu te kontinuirani algoritmi strojnog učenja provedeni u obradi podataka i klasifikaciji podataka za aplikacije temeljene na IoT-u. [57]

#### 6.1.1. Regresija

Regresija je metoda za razumijevanje odnosa između nezavisnih varijabli ili značajki i zavisne varijable ili ishoda. Ishodi se tada mogu predvidjeti nakon što se procijeni odnos između nezavisnih i zavisnih varijabli. Regresija je područje proučavanja statistike koje čini ključni dio modela predviđanja u strojnom učenju. Koristi se kao pristup za predviđanje kontinuiranih ishoda u prediktivnom modeliranju, tako da je koristan u predviđanju ishoda iz podataka. [58]

Regresija strojnog učenja općenito uključuje iscrtavanje linije najboljeg uklapanja kroz podatkovne točke. Udaljenost između svake točke i linije minimalizirana je kako bi se postigla najbolja linija. [58]

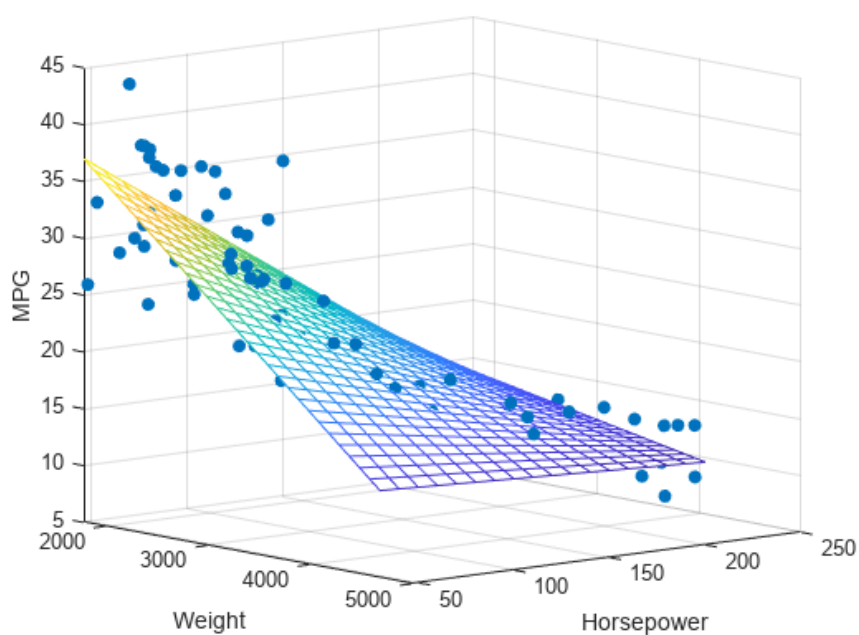
Jednostavna linearna regresija je tehnika linearne regresije koja iscrtava ravnu liniju unutar podatkovnih točaka kako bi se smanjila pogreška između linije i podatkovnih točaka. To je jedan od najjednostavnijih i najosnovnijih tipova regresije strojnog učenja. Pretpostavlja se da je odnos između neovisnih i zavisnih varijabli u ovom slučaju linearan. Ovaj pristup je jednostavan jer se koristi za istraživanje odnosa između zavisne varijable i jedne nezavisne varijable. Odstupanja mogu biti uobičajena pojava u jednostavnoj linearnoj regresiji zbog odabira ravne crte koja najbolje odgovara, kao što je prikazano na slici 20. [58]



Slika 20. Jednostavna linearna regresija, [59]

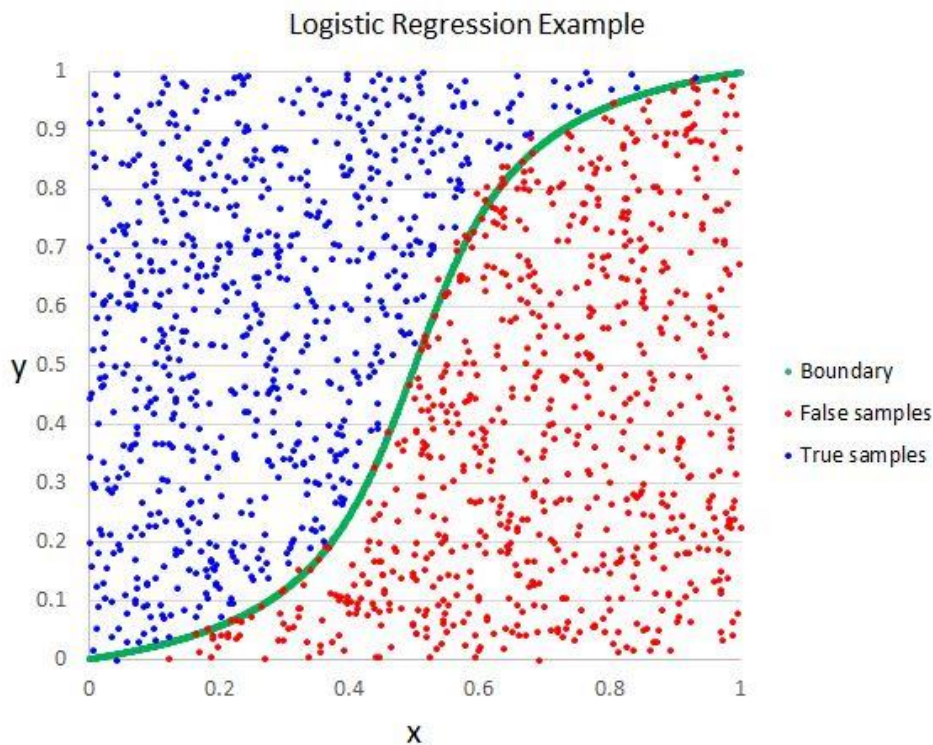
Jednostavna linearna regresija može točno procijeniti odnos između dviju varijabli u jednostavnim odnosima. Kod složenijih odnosa koji zahtijevaju više razmišljanja, potrebno je koristiti višestruku regresiju. [60]

Višestruka linearna regresija je tehnika koja se koristi kod više od jedne neovisne varijable. Polinomna regresija je primjer tehnike višestruke linearne regresije, koja se koristi kada postoji više od jedne neovisne varijable. Postiže bolje uklapanje u usporedbi s jednostavnom linearnom regresijom kada je uključeno više nezavisnih varijabli. Rezultat koji se iscrtava u dvije dimenzije bila bi zakrivljena linija prilagođena podatkovnim točkama, kao što je prikazano na slici 21. [58]



Slika 21. Višestruka linearna regresija, [61]

Logistička regresija se koristi kada zavisna varijabla može imati jednu od dvije vrijednosti, kao što su točno ili netočno, odnosno uspjeh ili neuspjeh. Logistički regresijski modeli mogu se koristiti za predviđanje vjerojatnosti pojave zavisne varijable. Općenito, izlazne vrijednosti moraju biti binarne. Sigmoidna krivulja, prikazana na slici 22, može se koristiti za mapiranje odnosa između zavisne varijable i nezavisnih varijabli. [58]



Slika 22. Logistička regresija, [62]

Na temelju kategorija, logistička regresija može se klasificirati u tri vrste:

1. Binomna kod koje mogu postojati samo dva moguća tipa zavisnih varijabli, kao što su 0 ili 1,
2. Multinomalna kod koje mogu postojati 3 ili više mogućih neuređenih vrsta zavisne varijable, kao što su crveno, plavo ili zeleno,
3. Ordinalna kod koje mogu postojati 3 ili više mogućih poredanih vrsta zavisnih varijabli, kao što su nizak, srednji ili visok. [63]

### 6.1.2. Klasifikacija

Klasifikacija se definira kao proces prepoznavanja, razumijevanja i grupiranja objekata i ideja u unaprijed postavljene kategorije. Klasifikacijski algoritmi koji se koriste u strojnom učenju koriste ulazne podatke za pripremu u svrhu predviđanja vjerojatnosti ili vjerojatnosti da će podaci koji slijede pasti u jednu od unaprijed određenih kategorija. [64]

Klasifikacija je oblik prepoznavanja uzoraka. Algoritmi klasifikacije primijenjeni na pripremljene podatke pronalaze isti obrazac (slične nizove brojeva, riječi ili osjećaje i slično) u budućim skupovima podataka. [64]

Binarne klasifikacije su klasifikacije sa samo dvije oznake klase. Problemi binarne klasifikacije često zahtijevaju dvije klase, jednu koja predstavlja normalno stanje, a drugu koja predstavlja nenormalno stanje. [64]

Klasifikacija s više klasa nema ideju normalnih i abnormalnih ishoda, za razliku od binarne klasifikacije. Umjesto toga, instance su grupirane u jednu od nekoliko dobro poznatih klasa. [64]

Klasifikacije s više oznaka su one koji sadrže dvije ili više oznaka klase i dopuštaju predviđanje jedne ili više oznaka klase za svaki primjer. Problemi klasifikacije s više oznaka često se modeliraju pomoću modela koji predviđa mnoge ishode, pri čemu se svaki ishod predviđa kao *Bernoullijeva* distribucija vjerojatnosti. U biti, ovaj pristup predviđa nekoliko binarnih klasifikacija za svaki primjer. [64]

Neuravnotežena klasifikacija opisuje poslove klasifikacije gdje raspodjela primjera unutar svake klase nije jednaka. Većina instanci skupa podataka za testiranje pripada normalnoj klasi, dok manjina pripada nenormalnoj klasi, što zadatke neuravnotežene klasifikacije općenito čini zadacima binarne klasifikacije. [60][64]

Klasifikacijski algoritam je tehnika nadziranog učenja koja koristi obuku podataka za određivanje podataka u različite klase. Klasifikacijsko prediktivno modeliranje trenira se pomoću podataka ili opažanja, a nova opažanja se kategoriziraju u klase ili grupe. U ovom pristupu, algoritam generira ocjenu vjerojatnosti i tu ocjenu dodjeljuje ulazu. Na primjer, pružatelji usluga e-pošte koriste klasifikaciju za generiranje rezultata vjerojatnosti za identifikaciju e-pošte kako bi utvrdili je li e-pošta u klasi spama ili ne. [65]

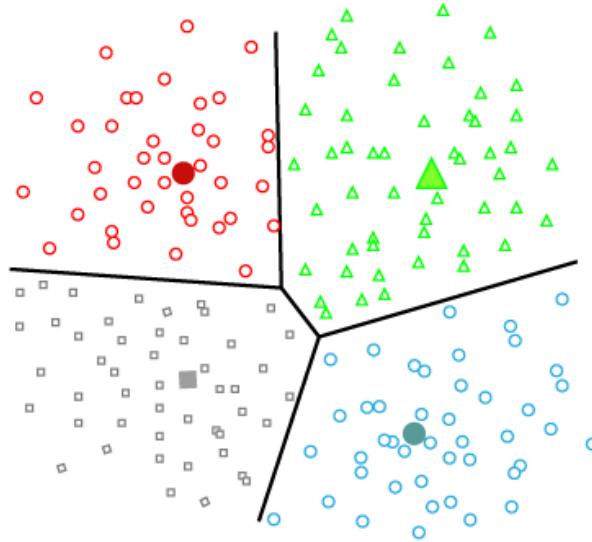
Lijeni učenici (engl. *lazy learners*) pohranjuju pripremljene podatke i čekaju dok se ne pojavi skup podataka za testiranje. Primarni cilj lijenog učenja je kontinuirano ažuriranje skupa podataka novim unosima. Međutim, budući da se podaci neprestano ažuriraju, oni često postaju irelevantni. Stoga je ovim algoritmima potrebno relativno manje vremena za treniranje i više vremena za predviđanje. Algoritmi za lijeno učenje korisni su pri radu s velikim, promjenjivim skupovima podataka s manjim skupom. Lijeno učenje je lako održavati i može se primijeniti na više problema. [65]

Marljivi učenici (engl. *eager learners*) izrađuju sloj klasifikacije prije nego što prođu pripremu i testiraju skup podataka. Prije nego što promatra ulazne upite, željno učenja gradi eksplicitan opis funkcije obuke na temelju podataka o obuci. Budući da gradi klasifikacijski model, marljivo učenje zahtijeva više vremena za uvježbavanje skupa podataka i manje vremena za predviđanje u usporedbi sa sustavom lijenog učenja. [65]

### 6.1.3. Grupiranje (klasteriranje)

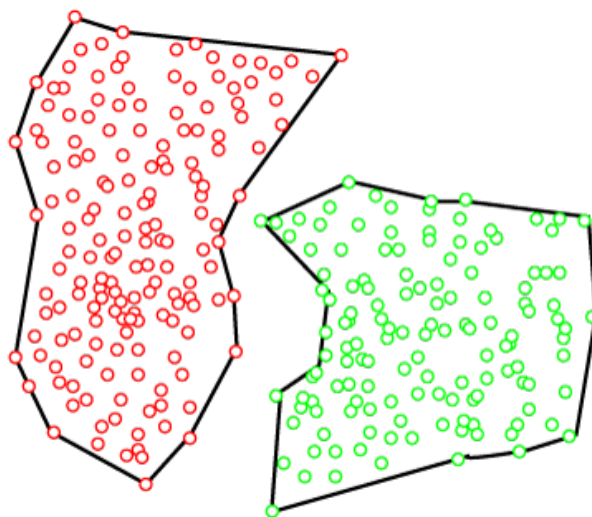
Grupiranje je proces raspoređivanja grupe objekata na takav način da su objekti u istoj grupi (koja se naziva klaster) sličniji jedni drugima nego objektima u bilo kojoj drugoj grupi. Stručnjaci za podatke često koriste klasteriranje u fazi istraživačke analize podataka kako bi otkrili nove informacije i obrasce u podacima. Kako je klasteriranje nenadzirano strojno učenje, ne zahtijeva predodređeni skup podataka. Klasteriranje samo po sebi nije jedan specifičan algoritam već opći zadatak koji treba riješiti, a to se može postići pomoću različitih algoritama koji se značajno razlikuju u razumijevanju onoga što čini klaster i kako ih učinkovito pronaći. [66][67]

Particionirano klasteriranje, prikazano na slici 23, je vrsta klasteriranja koja dijeli podatke u nehijerarhijske skupine. Najčešći primjer particioniranog klasteriranja je algoritam *K-Means* gdje je skup podataka podijeljen u skup od  $K$  grupa, gdje se  $K$  koristi za definiranje broja unaprijed definiranih grupa. Središte klastera je kreirano na takav način da je udaljenost između podatkovnih točaka jednog klastera minimalna u usporedbi sa težištem drugog klastera. [68]



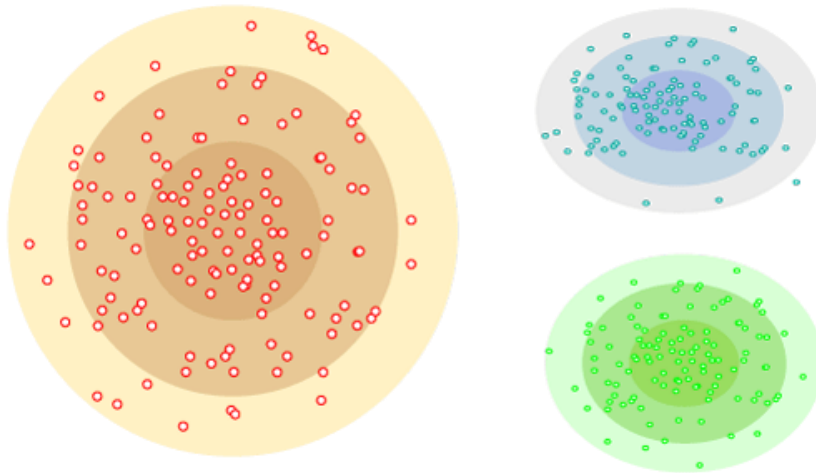
Slika 23. Particionirano klasteriranje, [68]

Metoda klasteriranja temeljena na gustoći povezuje područja visoke gustoće u klaster, a distribucije proizvoljnog oblika formiraju se sve dok je gusto područje moguće povezati. Ovaj algoritam to čini identificiranjem različitih klastera u skupu podataka i povezuje područja visoke gustoće u klaster, kao što je vidljivo na slici 24. Gusta područja u prostoru podataka međusobno su podijeljena rjeđim područjima. Ovi se algoritmi mogu suočiti s poteškoćama u grupiranju podatkovnih točaka ukoliko skup podataka ima različite gustoće i velike dimenzije. [68]



Slika 24. Metoda klasteriranja temeljena na gustoći, [68]

U metodi klasteriranja temeljenoj na modelu distribucije, podaci se dijele na temelju vjerojatnosti pripadnosti skupa podataka određenoj distribuciji. Grupiranje, prikazano na slici 25, se obavlja uz pretpostavku da su neke distribucije najčešće *Gaussove* distribucije. Primjer ove vrste je algoritam klasteriranja očekivanja i maksimizacije koji koristi *Gaussove* modele mješavine<sup>8</sup> (GMM). [68]



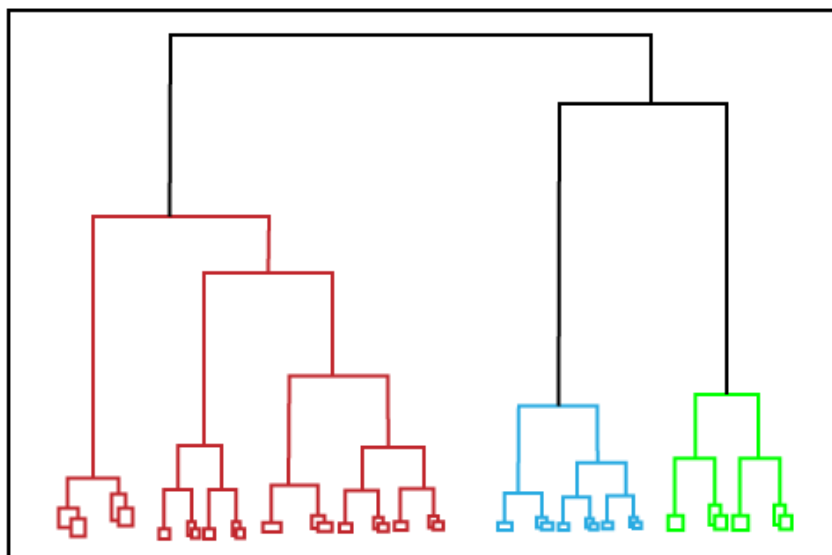
*Slika 25. Metoda klasteriranja temeljenoj na modelu distribucije, [68]*

Hijerarhijsko grupiranje u klastere može se koristiti kao alternativa za particionirano klasteriranje budući da unaprijed ne postoji za određivanje broja klastera koji će se stvoriti. U ovoj tehnici, skup podataka je podijeljen u klastere kako bi se stvorila struktura poput stabla, koja se također naziva dendrogram, a prikazana je na slici 26. Opažanja ili bilo koji broj klastera mogu se odabrati rezanjem stabla na ispravnoj razini. Najčešći primjer ove metode je aglomerativni hijerarhijski algoritam. [68]

---

<sup>8</sup> GMM je model vjerojatnosti koji prikazuje normalnu distribuciju podpopulacije unutar čitave populacije.





Slika 26. Hijerarhijsko grupiranje u klasterne, [68]

Klasteriranje velikih skupova podataka je najprikladnija primjena ovog alata za analizu zahvaljujući količini posla koji odrađuje umjesto čovjeka. Navedena metoda uzima velike skupove podataka, bez instrukcija ih organizira u upotrebljive podatke odnosno daje brze povratne informacije o unesenim podacima. [69]

## 6.2. Modeli dubokog učenja

Podaci IoT senzora pružaju nejasne značajke koje treba učiniti točnima kroz klasifikaciju temeljenu na dubokom učenju u stvarnom vremenu. Međutim, modele dubokog učenja karakterizira skupa izvedba unutar senzorskih ploča s ograničenim resursima. [70]

Umjetne neuronske mreže (engl. *Artificial neural networks* - ANN) su podskup strojnog učenja te predstavljaju temelj algoritama dubokog učenja. Njihov naziv i struktura inspirirani su ljudskim mozgom, oponašajući način na koji biološki neuroni signaliziraju jedni drugima. ANN se sastoji od slojeva čvorova koji sadrže ulazni sloj, jedan ili više skrivenih slojeva i izlazni sloj. Svaki čvor, ili umjetni neuron, povezuje se s drugim i ima pridruženu težinu i prag. [71]

Ako je izlaz bilo kojeg pojedinačnog čvora iznad navedene vrijednosti praga, taj se čvor aktivira, šaljući podatke sljedećem sloju mreže. Inače se podaci ne prosljeđuju na sljedeći sloj mreže. Neuronske mreže oslanjaju se na podatke za obuku kako bi naučile i poboljšale svoju točnost tijekom vremena. Međutim, nakon što su ti algoritmi učenja isprogramirani za točnost, oni su moćni alati u računalnoj znanosti i umjetnoj inteligenciji. Omogućuju klasificiranje i grupiranje podataka velikom brzinom. Zadaci prepoznavanja govora ili slike mogu trajati nekoliko minuta u odnosu na sate u usporedbi s ručnom identifikacijom od strane ljudskih stručnjaka. [71]

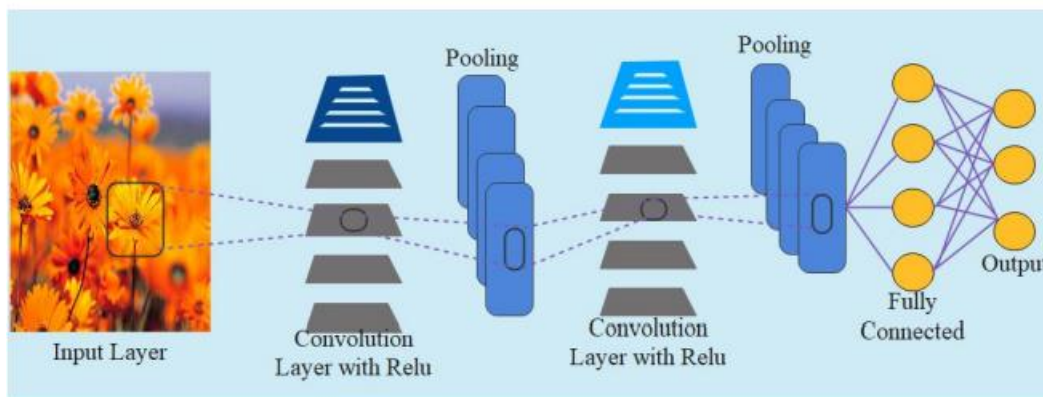
Svaki pojedinačni čvor je zasebni model linearne regresije, sastavljen od ulaznih podataka, težine, praga i izlaza. Nakon što se odredi ulazni sloj, dodjeljuju se težine. Ove

težine pomažu u određivanju važnosti bilo koje dane varijable, pri čemu one veće značajnije pridonose rezultatu u usporedbi s drugim ulazima. Svi se unosi zatim množe svojim odgovarajućim pragovima i potom zbrajaju. [71]

Nakon toga, izlaz prolazi kroz aktivacijsku funkciju, koja određuje izlaz. Ako taj izlaz prijeđe zadani prag, on aktivira čvor, proslijeđujući podatke sljedećem sloju u mreži. To rezultira time da izlaz jednog čvora postaje ulaz sljedećeg čvora. Ovaj proces prijenosa podataka s jednog sloja na sljedeći sloj definira ovu neuronsku mrežu kao mrežu s unaprijeđenim prijenosom podataka. [71]

### 6.2.1. Konvolucijske neuronske mreže

Konvolucijske neuronske mreže (engl. *Convolutional neural networks* – CNN) razlikuju se od ostalih neuronskih mreža svojim superiornim performansama s ulaznim signalima slike, govora ili zvuka. Kao što je vidljivo na slici 27, sastoje se od tri glavna sloja: konvolucijskog sloja, sloja udruživanja i potpuno povezanog (engl. *Fully Connected* -FC) sloja. [72]



Slika 27. Struktura CNN modela, [70]

Konvolucijski sloj je prvi sloj konvolucijske mreže. Dok konvolucijski slojevi mogu biti praćeni dodatnim konvolucijskim slojevima ili slojevima udruživanja, FC sloj je uvijek završni sloj. CNN sa svakim slojem postaje sve složeniji, identificirajući veće dijelove slike. Raniji slojevi fokusirani su na jednostavne značajke, kao što su boje i rubovi. Kako se slikovni podaci povećavaju kroz slojeve CNN-a, počinju se prepoznavati veći elementi ili oblici objekta dok konačno ne identificira željeni objekt. [72]

Konvolucijski sloj je temeljni sloj CNN-a i na njemu se odvija većina izračuna. Zahtijeva nekoliko komponenti, a to su ulazni podaci, filter i karta značajki. Ukoliko je ulaz slika u boji, koja se sastoji od matrice piksela u 3D strukturi, unos ima tri dimenzije: visinu, širinu i dubinu. Filter je detektor značajki čija je zadaća konvolucija, odnosno proces koji se kreće kroz receptivna polja slike prilikom provjerava je li određena značajka prisutna. Detektor značajki je dvodimenzionalni (2-D) niz težina, koji predstavlja dio slike. Iako mogu varirati u veličini, veličina filtra je obično matrica 3x3; to također određuje veličinu receptivnog polja. [72]

Filtar se zatim primjenjuje na područje slike, a točkasti rezultat se izračunava između ulaznih piksela i filtra. Ovaj točkasti umnožak se zatim ubacuje u izlazni niz. Nakon toga, filtar se pomiče korak po korak, ponavljajući proces sve dok se ne obradi cijela slika. [72]

Konačni izlaz iz niza točkastih produkata iz ulaza i filtra poznat je kao mapa značajki. Nakon svake operacije konvolucije, CNN primjenjuje transformaciju *Rectified Linear Unit* (ReLU) na mapu značajki, uvodeći nelinearnost u model. [72]

Sloj udruživanja provodi smanjenje dimenzionalnosti, smanjujući broj parametara u ulazu. Slično konvolucijskom sloju, operacija udruživanja prebacuje filtar preko cijelog ulaza, ali razlika je u tome što ovaj filtar nema nikakve težine. Umjesto toga, kernel<sup>9</sup> primjenjuje funkciju agregacije na vrijednosti unutar receptivnog polja, popunjavajući izlazni niz. [72]

Postoje dvije glavne vrste udruživanja:

- Maksimalno udruživanje - kako se filtar pomiče preko ulaza, odabire piksel s maksimalnom vrijednošću za slanje u izlazni niz. Na stranu, ovaj pristup ima tendenciju da se koristi češće u usporedbi s prosječnim udruživanjem,
- Skupljanje prosjeka - kako se filtar kreće preko ulaza, izračunava prosječnu vrijednost unutar receptivnog polja za slanje u izlazni niz. Iako se mnogo informacija gubi u sloju udruživanja, on također ima niz prednosti za CNN. Pomaže smanjiti složenost, poboljšati učinkovitost i ograničiti rizik od prekomjernog opterećenja. [72]

Potpuno povezani sloj obavlja zadatak klasifikacije na temelju značajki ekstrahiranih kroz prethodne slojeve i njihove različite filtere. Dok konvolucijski sloj i sloj udruživanja obično koriste *ReLU* funkcije, FC slojevi obično koriste *softmax* aktivacijsku funkciju za odgovarajuću klasifikaciju ulaza, proizvodeći vjerojatnost od 0 do 1. [72]

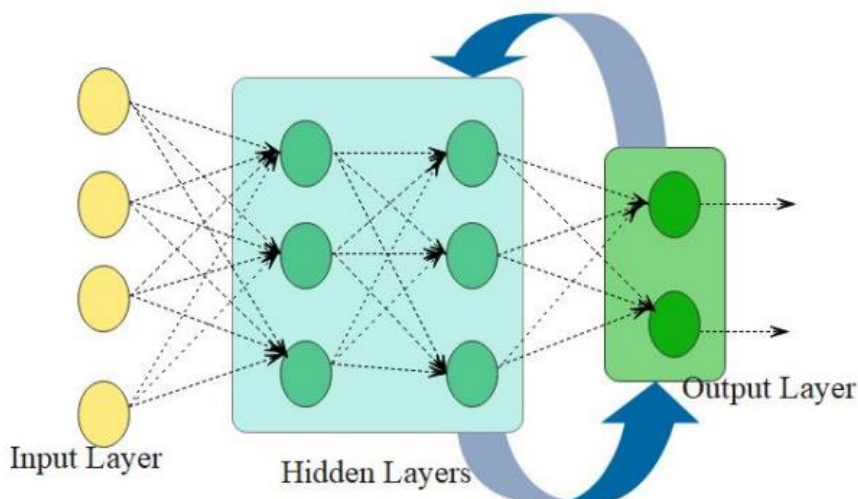
### 6.2.2. Rekurentna neuronska mreža

Rekurentna neuronska mreža (engl. *Recurrent neural network* - RNN) je neuronska mreža koja uči iz sekvenci ili vremenskih nizova podataka. Neki zadaci, kao što je otkrivanje ponašanja vozača u pametnim vozilima, identificiranje nekih obrazaca kretanja ili procjena potrošnje električne energije u kućanstvu, mogu ovisiti o prethodnim uzorcima za predviđanje. [70]

Razlikuju se od ostalih neuronskih mreža po svom pamćenju jer uzimaju informacije iz prethodnih ulaza kako bi utjecali na trenutni ulaz i izlaz kao što je prikazano na slici 28. Dok tradicionalne duboke neuronske mreže pretpostavljaju da su ulazi i izlazi neovisni jedni o drugima, izlaz ponavljajućih neuronskih mreža ovisi o prethodnim elementima unutar niza. Dok bi budući događaji također bili od pomoći u određivanju rezultata danog niza, jednosmjerne rekurentne neuronske mreže ne mogu uzeti u obzir te događaje u svojim predviđanjima. [73]

---

<sup>9</sup> Kernel je računarski program koji je samo jezgro operativnog sustava s potpunom kontrolom nad svime u sustavu.



Slika 28. Struktura RNN modela, [70]

Ulaz u RNN sastoji se od sadašnjeg uzorka kao i prethodno opisanog uzorka. Drugim riječima, izlaz RNN-a u koraku  $t-1$  vremenu utječe na izlaz u koraku  $t$  vremenu. Svaki neuron ima povratnu petlju, koja vraća trenutni izlaz kao ulaz za sljedeći korak. Ova se struktura može izraziti tako da svaki neuron u RNN-u ima unutarnju memoriju koja čuva računalne informacije iz prethodnog unosa. [70]

Dugo kratkoročno pamćenje (engl. *Long short-term memory* - LSTM) je varijanta RNN-a koja može gledati unatrag dugo vremena prije predviđanja. RNN model možda neće moći točno predvidjeti trenutno stanje. Da bi se to popravilo, LSTM-ovi imaju ćelije u skrivenim slojevima neuronske mreže, koje imaju troja vrata: ulazna vrata, izlazna vrata i zaboravljena vrata. Ova vrata kontroliraju protok informacija koje su potrebne za predviđanje izlaza u mreži. LSTM može učinkovito dohvatiti i identificirati značajke za predviđanje iz podataka senzora. [70]

### 6.3. Analiza podataka temeljena na oblaku

Za izvođenje učinkovite analize podataka potreban je hijerarhijski i distribuirani model za sustave obrade podataka. Ova se metoda replicira u nekoliko virtualnih računala koja su povezana s udaljenim podatkovnim centrom u oblaku. Zatim, bez ikakvog prethodnog znanja o podacima, analitički model temeljen na oblaku može se nositi s problemima dinamičke obrade podataka i skalabilnosti. Operacije temeljene na klasterima uključuju razbijanje složenijih matematičkih procesa u jednostavnije male zadatke i njihovo izvršavanje u različitim klasterima, čime se smanjuju troškovi računanja. [57]

Analitika u oblaku odnosi se na uslugu i model isporuke za hosting koji se bavi analizom ili izračunavanjem poslovnih podataka pomoću tehnologija u oblaku. Ove tehnologije upravljaju pohranjivanjem ili obradom podataka. Analitika u oblaku može uključivati bilo koju vrstu

analitike podataka ili poslovne inteligencije koja se izvodi u oblak. Neke tvrtke implementiraju hibridni model analitike u oblaku koji rezervira neke funkcije za izvođenje u okruženjima s poslužiteljem u oblaku, dok druge koriste lokalne poslužitelje. Ostale tvrtke prelaze u potpunosti na oblak kako bi povećale svoj analitički program prilikom rasta poslovanja. [74] Postoje tri različite opcije:

1. Javni oblak kod kojega su usluge javno dostupne putem treće strane poput virtualnih strojeva, mogućnosti pohrana i aplikacija. Često se nude besplatno, iako ponekad korisnici plaćaju korištenje ili potrošnju. U ovom javnom oblaku IT sustavi se dijele, a podaci ostaju privatni, što omogućuje smanjenje troškova održavanja za organizaciju.
2. Privatni oblak je rezerviran za odabrane korisnike jedne organizacije. Nudi iste prednosti kao i javni oblak, skalabilnost i demokratizirani pristup, ali se nalazi u podatkovnom centru u vlasništvu pojedinačne organizacije. Iako to pruža veću privatnost i sigurnost podataka, izvedba takvog sustava je skuplja.
3. Hibridni oblak je kombinacija prethodne dvije vrste. Organizacije koje se odluče za hibridnu strukturu oblaka koriste javni oblak za neosjetljive podatke dok zadržavaju manji privatni oblak za podatke namijenjene samo očima te tvrtke. [74]

#### 6.4. Pregled postojećih istraživanja

U tablici 2. su predstavljeni rezultati istraživanja kojima je bio cilj određivanje točnosti kod brojanja putnika u javnom gradskom prijevozu.

**Tablica 2.** Pregled istraživanja brojanja putnika u javnom gradskom prijevozu

Značajke	Istraživanje [75]	Istraživanje [76]	Istraživanje [77]	Istraživanje [78]
Način prikupljanja podataka	Kamera	Kamera	PIR	PIR
Način obrade podataka	CNN	RNN	CNN	RF <sup>10</sup> , KNN <sup>11</sup> , SVM <sup>12</sup>
Tip prijevoznog sredstva	Autobus	Autobus	/	Auto
Točnost	89 %	94,8 %	92.75 %	90 %

Izvori: [75]-[78]

<sup>10</sup> *Random Forest (RF)* je algoritam strojnog učenja koji povezuje više stabla odlučivanja.

<sup>11</sup> *K-Nearest Neighbors (KNN)* je klasifikacijski algoritam koji sprema podatke u grupu podataka čije su karakteristike najbližije.

<sup>12</sup> *Support vector machine (SVM)* je algoritam koji se koristi za klasifikaciju i regresiju.

Iz tablice 2. može se protumačiti da su istraživanja uspjela dobiti visoku točnost uz korištenje prethodno navedenih metoda za prikupljanje i obradu podataka. Povećanje točnosti u obradi podataka se sigurno može očekivati s obzirom na razvoj mogućnosti umjetne inteligencije.

## 7. ZAKLJUČAK

Internet stvari (IoT) je sustav međusobno povezanih terminalnih uređaja, mehaničkih i digitalnih strojeva, objekata, životinja ili ljudi koji imaju jedinstvene identifikatore i mogućnost prijenosa podataka preko mreže bez potrebe za ljudskom interferencijom. IoT je konceptualno nastao 1999. godine radom Kevina Ashtona, dok se izraz IoT počeo koristiti u važnim publikacijama 2004. godine.

Proučavajući povijest IoT-a može se doći do zaključka kako se IoT razvija kroz razmišljanja o praktičnosti, pružanju korisnih informacija krajnjem korisniku i unapređenju postojećih uređaja i usluga. Takva filozofija bi se trebala nastaviti i u budućnosti, odnosno paziti da ideje za inovacije ne zakompliciraju postojeću situaciju, već obrnuto.

S obzirom da IoT obuhvaća široko područje primjene i veliki broj uređaja, postoji veliki broj opcija za odabir mreža kojima se sustav može povezati. Najčešće se primjenjuje kombinacija nekoliko bežičnih mreža ovisno o tome koje su specifikacije najprikladnije za određeni uređaj. Trenutne mreže koje se koriste u IoT-u su: bežična senzorska mreža (WSN), Wi-Fi, *Bluetooth*, *Zigbee*, LPWAN i 5G. Gledajući prethodni razvoj mreža, mogu se očekivati nove verzije i unapređenja spomenutih mreža kroz nekoliko godina što će sigurno ići u korist IoT sustavima kako u vidu brzine prijenosa podataka tako i količine podataka. Ono što bi uvelo velike promjene u IoT sustavima su dugotrajne baterije malih dimenzija ili implementacija alternativnih izvora energije koji ne bi bili ograničavajući faktor za uređaje i senzore kao što je sadašnja situacija.

Brojanje putnika u vozilima javnog gradskog prijevoza se može temeljiti na čimbenicima neovisnim o karti za prijevoz (na detekciji ili pokušaju detekcije pojedinačnih putnika ili neizravno) te na brojanju povezanim s kartom za prijevoz. Praćenje pojedinačnih putnika uključuje različite senzore poput PIR-a, aktivnih infracrvenih senzora i senzore unutar podloge za gaženje te kamera. Paćenje ukupnog opterećenja vozila omogućuje procjenu broja putnika u javnom prijevozu kroz opterećenje vozila na tlu, zabilježeno prije i nakon zaustavljanja. Primjena pametnih karata doprinosi izravnom načinu brojanja putnika.

Senzori se ne razvijaju istom dinamikom kao primjerice mobilni uređaji, no način i učinkovitost obrade senzorskih podataka se konstanto poboljšava. Kako bi se iskoristio puni potencijal prikupljanja podataka iz kamere, potrebno bi bilo voditi računa o izvorima svjetlosti unutar vozila javnog gradskog prijevoza kako bi kamere prenosile kvalitetnu sliku na daljnju obradu.

Ključni problemi IoT senzorskih mreža su skalabilnost i točnost senzorskih podataka. Ovi se izazovi rješavaju tehnikama rudarenja i analizom podataka senzora, kao što su prikupljanje podataka, problemi čišćenja podataka, upravljanje podacima i unapređenje znanja. S ovog aspekta, modeli strojnog učenja i dubokog učenja igraju vitalnu ulogu u dobivanju rezultata, koji uključuju generiranje znanja i donošenje odluka. U modele strojnog učenja spadaju regresija, klasifikacija i grupiranje, dok u modele dubokog učenja spadaju konvolucijske neuronske mreže i rekurentne neuronske mreže. Sustavi analize podataka

temeljeni na oblaku mogu se bez ikakvog prethodnog znanja o podacima nositi s problemima dinamičke obrade podataka i skalabilnosti.

S obzirom da se tehnologije razvijaju gotovo eksponencijalnim rastom, potrebno je odabrati odgovarajuće vrijeme za postavljanje određenog sustava za brojanje putnika u javnom gradskom prijevozu. Troškovi, točnost i broj uređaja koji su potrebni mogu se uvelike promijeniti, pa je potrebno provesti analizu svih parametara i predviđanja kako bi sustav brojanja bio implementiran u optimalnom razdoblju.



## LITERATURA

[1]	Gillis A. What is IoT (Internet of Things) and how does it work?. IoT Agenda. 2022. Preuzeto s: <a href="https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT">https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT</a> [Pristupljeno: 20. studenog 2022.]
[2]	Elevenfifty. History of the Internet of Things. Preuzeto s: <a href="https://www.elevenfifty.org/blog/the-history-of-the-internet-of-things">https://www.elevenfifty.org/blog/the-history-of-the-internet-of-things</a> [Pristupljeno: 20. studenog 2022.]
[3]	TechAhead. Evolution of Internet of Things (IoT): Past, present and future. Preuzeto s: <a href="https://www.techaheadcorp.com/knowledge-center/evolution-of-iot/">https://www.techaheadcorp.com/knowledge-center/evolution-of-iot/</a> [Pristupljeno: 20. studenog 2022.]
[4]	Teicher J. The little-known story of the first IoT device. IBM Blog. 2018. Preuzeto s: <a href="https://www.ibm.com/blog/little-known-story-first-iot-device/">https://www.ibm.com/blog/little-known-story-first-iot-device/</a> [Pristupljeno: 20. studenog 2022.]
[5]	Romkey J. Toast of the IoT: The 1990 Interop Internet Toaster. IEEE Consumer Electronics Magazine. 2017 Jan;6(1):116–9. Preuzeto s: <a href="https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&amp;arnumber=7786805">https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&amp;arnumber=7786805</a> [Pristupljeno: 20. studenog 2022.]
[6]	Livinginternet. Internet Toaster, John Romkey, Simon Hackett. Preuzeto s: <a href="https://www.livinginternet.com/i/ia_myths_toast.htm">https://www.livinginternet.com/i/ia_myths_toast.htm</a> [Pristupljeno: 20. studenog 2022.]
[7]	PetaPixel. The First Webcam Was Invented to Check Coffee Levels Without Getting Up. 2013. Preuzeto s: <a href="https://petapixel.com/2013/04/03/the-first-webcam-was-invented-to-check-coffee-levels-without-getting-up/">https://petapixel.com/2013/04/03/the-first-webcam-was-invented-to-check-coffee-levels-without-getting-up/</a> [Pristupljeno: 20. studenog 2022.]
[8]	Stafford- Fraser Q. Trojan Room Coffee Pot Biography. Preuzeto s: <a href="https://www.cl.cam.ac.uk/coffee/qsf/coffee.html">https://www.cl.cam.ac.uk/coffee/qsf/coffee.html</a> [Pristupljeno: 20. studenog 2022.]
[9]	Abbas M. Kevin Ashton: Pioneering the Way for RFID Technology and the IoT   IoT World. 2023 Preuzeto s: <a href="https://iotworld.co/2023/03/kevin-ashton-pioneering-the-way-for-rfid-technology-and-the-iot/">https://iotworld.co/2023/03/kevin-ashton-pioneering-the-way-for-rfid-technology-and-the-iot/</a> [Pristupljeno: 10. srpnja 2023.]
[10]	Center for Devices and Radiological Health. Radio Frequency Identification RFID. U.S. Food and Drug Administration. 2018. Preuzeto s: <a href="https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/electromagnetic-compatibility-emc/radio-frequency-identification-rfid">https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/electromagnetic-compatibility-emc/radio-frequency-identification-rfid</a> [Pristupljeno: 10. srpnja 2023.]
[11]	Keenan M. What Is RFID Technology and How Can I Use It?. Shopify. 2021. Preuzeto s: <a href="https://www.shopify.com/retail/rfid-technology">https://www.shopify.com/retail/rfid-technology</a> [Pristupljeno: 10. srpnja 2023.]

[12]	Newman P. THE INTERNET OF THINGS 2020: Here's what over 400 IoT decision-makers say about the future of enterprise connectivity and how IoT companies can use it to grow revenue. Business Insider. 2020. Preuzeto s: <a href="https://www.businessinsider.com/internet-of-things-report?IR=T">https://www.businessinsider.com/internet-of-things-report?IR=T</a> [Pristupljeno: 10. srpnja 2023.]
[13]	Onomondo. The Ultimate Guide to Cellular IoT Networks. 2023. Preuzeto s: <a href="https://onomondo.com/blog/cellular-iot-networks-explained/">https://onomondo.com/blog/cellular-iot-networks-explained/</a> [Pristupljeno: 10. srpnja 2023.]
[14]	Celona.IoT Networks: What They Are, How They Work and Why They Matter. Preuzeto s: <a href="https://www.celona.io/network-infrastructure/iot-network">https://www.celona.io/network-infrastructure/iot-network</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[15]	IEC. Internet of Things: Wireless Sensor Networks. 2014. Preuzeto s: <a href="https://www.iec.ch/basecamp/internet-things-wireless-sensor-networks">https://www.iec.ch/basecamp/internet-things-wireless-sensor-networks</a> [Pristupljeno: 10. srpnja 2023.]
[16]	Jean-Marie Dilhac, Boitier V. Energy Autonomy of Batteryless and Wireless Embedded Systems : Aeronautical Applications. San Diego: Elsevier Science ; London; 2016. Preuzeto s: <a href="https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/wireless-sensor-network">https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/wireless-sensor-network</a> [Pristupljeno: 10. srpnja 2023.]
[17]	Encyclopedia.pub. Applications of Wireless Sensor Networks. Preuzeto s: <a href="https://encyclopedia.pub/entry/17294">https://encyclopedia.pub/entry/17294</a> [Pristupljeno: 10. srpnja 2023.]
[18]	Actiontec .Superior WiFi Optimized for You. Preuzeto s: <a href="https://www.actiontec.com/wifihelp/wifi-networking/what-is-wifi/">https://www.actiontec.com/wifihelp/wifi-networking/what-is-wifi/</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[19]	Baker J. What is Wi-Fi? Explained in simple terms. 3g.co.uk; 2012. Preuzeto s: <a href="https://3g.co.uk/guides/what-is-wi-fi-explained-in-simple-terms">https://3g.co.uk/guides/what-is-wi-fi-explained-in-simple-terms</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[20]	Pistoia G. Battery Operated Devices and Systems,Elsevier,2009. Preuzeto s: <a href="https://www.sciencedirect.com/book/9780444532145/battery-operated-devices-and-systems#book-info/">https://www.sciencedirect.com/book/9780444532145/battery-operated-devices-and-systems#book-info/</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[21]	Cathley C. WiFi PHY Types. Preuzeto s: <a href="https://support.metageek.com/hc/en-us/articles/202162320-WiFi-PHY-Types">https://support.metageek.com/hc/en-us/articles/202162320-WiFi-PHY-Types</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[22]	Ram J. Low-Power Wi-Fi Ideal for Energy Efficient IoT Devices - Silicon Labs [Internet]. www.silabs.com. Preuzeto s: <a href="https://www.silabs.com/blog/low-power-wi-fi-ideal-for-energy-efficient-iot-devices">https://www.silabs.com/blog/low-power-wi-fi-ideal-for-energy-efficient-iot-devices</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[23]	Cowan D, Najafi L. Handbook of electronic assistive technology. London: Academic Press; Preuzeto s: <a href="https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/bluetooth">https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/bluetooth</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[24]	Frenzel LE. Electronics explained : Fundamentals for engineers, technicians, and makers. Kidlington, Oxford, United Kingdom Newnes, An Imprint Of Elsevier; 2018.

	Preuzeto s: <a href="https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/bluetooth">https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/bluetooth</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[25]	Davis J, McLister A, Cundell J, Finlay D. Smart Bandage Technologies: Design and Application. Elsevier, 2016. 257 p Preuzeto s: <a href="https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/bluetooth">https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/bluetooth</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[26]	Liberg O, Sundberg M, Wang E, Bergman J, Sachs J. Cellular Internet of Things Technologies, Standards, and Performance. Saint Louis: Elsevier Science; 2017. Preuzeto s: <a href="https://www.embedded.com/cellular-iot-short-range-radio-solutions/">https://www.embedded.com/cellular-iot-short-range-radio-solutions/</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[27]	Obaidat MS, Anpalagan A, Woungang I. Handbook of green information and communication systems. Waltham Massachusetts: Academic Press; 2013. Preuzeto s: <a href="https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/zigbee-protocol">https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/zigbee-protocol</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[28]	Amin I, Saeed A. Comprehensive Energy Systems, Elsevier, 2018, Preuzeto s: <a href="https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/zigbee-protocol">https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/zigbee-protocol</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[29]	Leverage. LPWAN. Preuzeto s: <a href="https://www.iotforall.com/wp-content/uploads/2020/12/LPWAN-White-Paper.pdf">https://www.iotforall.com/wp-content/uploads/2020/12/LPWAN-White-Paper.pdf</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[30]	Link-labs. A Comprehensive look at Low Power, Wide Area Networks. Preuzeto s: <a href="https://www.link-labs.com/hubfs/LPWAN%20Whitepaper-5.pdf?utm_campaign=00%20LPWAN%20">https://www.link-labs.com/hubfs/LPWAN%20Whitepaper-5.pdf?utm_campaign=00%20LPWAN%20</a> [Pristupljeno: 14. srpnja 2023.]
[31]	Rodriguez J. Fundamentals of 5G mobile networks. Chichester: Wiley; 2015. Preuzeto s: <a href="https://pcefet.com/common/library/books/50/6998">https://pcefet.com/common/library/books/50/6998</a> [Jonathan Rodriguez] <a href="https://pcefet.com/common/library/books/50/6998">Fundamentals of 5G Mobile Net(b-ok.org).pdf</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[32]	Redana S, Ömer B, Anastasios Z, Anastasius G, Tzanakaki A, Albanese A. 5G PPP Architecture Working Group: View on 5G Architecture. 2019 Jun 19. Preuzeto s: <a href="https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2020/02/5G-PPP-5G-Architecture-White-Paper_final.pdf">https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2020/02/5G-PPP-5G-Architecture-White-Paper_final.pdf</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[33]	GSMA: The 5G Guide A Reference For Operators, 2019. Preuzeto s: <a href="https://www.gsma.com/wp-content/uploads/2019/04/The-5G-Guide_GSMA_2019_04_29_compressed.pdf">https://www.gsma.com/wp-content/uploads/2019/04/The-5G-Guide_GSMA_2019_04_29_compressed.pdf</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[34]	EMF. 5G Explained - How 5G Works. Preuzeto s: <a href="http://www.emfexplained.info/?ID=25916">http://www.emfexplained.info/?ID=25916</a> [Pristupljeno: 11. studenog 2022.]
[35]	Conure. 5 Major Applications of IoT in Transportation. 2022. Preuzeto s: <a href="https://www.conurets.com/5-major-applications-of-iot-in-">https://www.conurets.com/5-major-applications-of-iot-in-</a>

	<a href="#">transportation/#:~:text=Apart%20from%20security%2C%20IoT%20in,fare%20collection%20and%20integrated%20ticketing</a> [Pristupljeno: 6. srpnja 2023.]
[36]	Fleet Telematics: Mobilizing IoT The Future of Fleet Management is Here [Internet]. Preuzeto s: <a href="https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/public-sector/us-gps-fleet-telematics.pdf">https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/public-sector/us-gps-fleet-telematics.pdf</a> [Pristupljeno: 6. srpnja 2023.]
[37]	Dziuba A. IoT for Fleet Management in 2022: An Expert's Overview. Relevant Software. 2021.Overview. Preuzeto s: <a href="https://relevant.software/blog/iot-for-fleet-management-overview/">https://relevant.software/blog/iot-for-fleet-management-overview/</a> [Pristupljeno: 6. srpnja 2023.]
[38]	Banode A. Internet of Things (IoT) and Fleet Management System (FMS). Preuzeto s: <a href="https://www.researchgate.net/publication/340135048_Internet_of_Things_IoT_and_Fleet_Management_System_FMS">https://www.researchgate.net/publication/340135048_Internet_of_Things_IoT_and_Fleet_Management_System_FMS</a> [Pristupljeno: 6. srpnja 2023.]
[39]	Intel. Improving Transportation Safety, Efficiency, and the Customer Experience with the Internet of Things (IoT). Preuzeto s: <a href="https://www.kontron.com/resources/collateral/white_papers/iot-transportation-kontron-blueprint.pdf?type=collateral">https://www.kontron.com/resources/collateral/white_papers/iot-transportation-kontron-blueprint.pdf?type=collateral</a> [Pristupljeno: 6. srpnja 2023.]
[40]	Azhar A. How Can the Internet of Things (IoT) Applicable to Public Transport?. Medium. 2020.Preuzeto s: <a href="https://theiotmagazine.com/how-can-the-internet-of-things-iot-applicable-to-public-transport-68d5c52201ad">https://theiotmagazine.com/how-can-the-internet-of-things-iot-applicable-to-public-transport-68d5c52201ad</a> [Pristupljeno: 12. srpnja 2023.]
[41]	Chihon K. Hop on a bus with KakaoBus. Stripes Korea. 2019. Preuzeto s: <a href="https://korea.stripes.com/travel/hop-bus-kakaobus">https://korea.stripes.com/travel/hop-bus-kakaobus</a> [Pristupljeno: 12. srpnja 2023.]
[42]	Kakao-Bus. ONLYOU Korean Language School in Singapore (West). Preuzeto s: <a href="https://www.onlyou.sg/2022/12/28/travelling-to-korea-useful-apps-to-download/kakao-bus/">https://www.onlyou.sg/2022/12/28/travelling-to-korea-useful-apps-to-download/kakao-bus/</a> [Pristupljeno: 12. srpnja 2023.]
[43]	Hitachi Rail. Smart Ticketing Solutions   Railway Ticketing App. Preuzeto s: <a href="https://www.hitachirail.com/smart-mobility/smart-ticketing/">https://www.hitachirail.com/smart-mobility/smart-ticketing/</a> [Pristupljeno: 12. srpnja 2023.]
[44]	Kai S. Hitachi Rail Unveiled Its 360Pass Travel App and Platform that Transforms Travel in Trentino, Italy. ARC Advisory Group. 2022. Preuzeto s: <a href="https://www.arcweb.com/blog/hitachi-rail-unveiled-its-360pass-travel-app-platform-transforms-travel-trentino-italy">https://www.arcweb.com/blog/hitachi-rail-unveiled-its-360pass-travel-app-platform-transforms-travel-trentino-italy</a> [Pristupljeno: 12. srpnja 2023.]
[45]	NHTSA. Vehicle-to-Vehicle Communication. 2019. Preuzeto s: <a href="https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/vehicle-vehicle-communication">https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/vehicle-vehicle-communication</a> [Pristupljeno: 12. srpnja 2023.]
[46]	Demba A, Möller DPF. Vehicle-to-Vehicle Communication Technology. IEEE Xplore. 2018. p. 0459–64.

	<a href="https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&amp;arnumber=8500189">https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&amp;arnumber=8500189</a> [Pristupljeno: 12. srpnja 2023.]
[47]	Infodev EDI inc. Automatic Passenger Counting Solutions (APC). Preuzeto s: <a href="https://www.infodev.ca/transit/automatic-passenger-counting/">https://www.infodev.ca/transit/automatic-passenger-counting/</a> [Pristupljeno: 12. srpnja 2023.]
[48]	Intelligent Transport. Automatic passenger counting systems for public transport. Preuzeto s: <a href="https://www.intelligenttransport.com/transport-articles/3116/automatic-passenger-counting-systems-for-public-transport/">https://www.intelligenttransport.com/transport-articles/3116/automatic-passenger-counting-systems-for-public-transport/</a> [Pristupljeno: 16. srpnja 2023.]
[49]	Axis people-counting technologies Aspects for system integrators and end customers. 2020. Preuzeto s: <a href="https://www.axis.com/dam/public/ca/ae/70/axis-people-counting-technologies--aspects-for-system-integrators-and-end-customers-en-US-191292.pdf">https://www.axis.com/dam/public/ca/ae/70/axis-people-counting-technologies--aspects-for-system-integrators-and-end-customers-en-US-191292.pdf</a> [Pristupljeno: 16. srpnja 2023.]
[50]	Jost D. What is an IR sensor?. FierceElectronics. 2019. Preuzeto s: <a href="https://www.fiercееlectronics.com/sensors/what-ir-sensor">https://www.fiercееlectronics.com/sensors/what-ir-sensor</a> [Pristupljeno: 16. srpnja 2023.]
[51]	Silabs. UG376: OCCUPANCY-EXP-EVB User's Guide . Preuzeto s: <a href="https://www.silabs.com/documents/public/user-guides/ug376.pdf">https://www.silabs.com/documents/public/user-guides/ug376.pdf</a> [Pristupljeno: 16. srpnja 2023.]
[52]	ada lady. PIR Motion Sensor. Adafruit Learning System. 2014. Preuzeto s: <a href="https://learn.adafruit.com/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor/how-pirs-work">https://learn.adafruit.com/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor/how-pirs-work</a> [Pristupljeno: 16. srpnja 2023.]
[53]	Pressure-Sensitive Safety Mats pg. 2 The Fail-Safe Principle Heavy-duty and abrasion-resistant Long life in factory settings pg. 4 ArmorMat TM Impact-Resistant Safety Mats [Internet]. Preuzeto s: <a href="https://www.tapeswitch.com/support/catalogs/Mat_v3.01.pdf">https://www.tapeswitch.com/support/catalogs/Mat_v3.01.pdf</a> [Pristupljeno: 16. srpnja 2023.]
[54]	Svan Loo H, Žnidarič Guide for Users of Weigh-in-Motion. 2019. Preuzeto s: <a href="https://www.is-wim.net/wp-content/uploads/2020/07/ISWIM_Guide-for-users_press.pdf">https://www.is-wim.net/wp-content/uploads/2020/07/ISWIM_Guide-for-users_press.pdf</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[55]	About Smart Cards : Frequently Asked Questions [Internet]. Secure Technology Alliance. 2019. Preuzeto s: <a href="https://www.securetechalliance.org/smart-cards-faq/">https://www.securetechalliance.org/smart-cards-faq/</a> [Pristupljeno: 16. srpnja 2023.]
[56]	NEC. Public Transport Smart Card/Mobile Ticketing Solutions That Support Safe, Reliable Movement of People. Preuzeto s: <a href="https://www.nec.com/en/global/techrep/journal/g20/n01/200110.html">https://www.nec.com/en/global/techrep/journal/g20/n01/200110.html</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]

[57]	Krishnamurthi R, Kumar, Gopinathan , Nayyar A, Qureshi B. An Overview of IoT Sensor Data Processing, Fusion, and Analysis Techniques. Preuzeto s: <a href="https://rb.gy/0begs">https://rb.gy/0begs</a> [Pristupljeno: 16. srpnja 2023.]
[58]	Castillo D. Machine Learning Regression Explained [Internet]. Seldon. 2021. Preuzeto s: <a href="https://shorturl.at/rFMV8">https://shorturl.at/rFMV8</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[59]	Team TA, Team TA. Linear Regression Basics for Absolute Beginners – Towards AI — The World’s Leading AI and Technology Publication [Internet]. Preuzeto s: <a href="https://towardsai.net/p/data-science/linear-regression-basics-for-absolute-beginners">https://towardsai.net/p/data-science/linear-regression-basics-for-absolute-beginners</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[60]	Simplilearn. What is Simple Linear Regression in Machine Learning?. Simplilearn.com. 2022. Preuzeto s: <a href="https://www.simplilearn.com/what-is-simple-linear-regression-in-machine-learning-article">https://www.simplilearn.com/what-is-simple-linear-regression-in-machine-learning-article</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[61]	Priya L. New Aspects to consider while moving from Simple Linear Regression to Multiple Linear Regression [Internet]. Analytics Vidhya. 2019. Preuzeto s: <a href="https://medium.com/analytics-vidhya/new-aspects-to-consider-while-moving-from-simple-linear-regression-to-multiple-linear-regression-dad06b3449ff">https://medium.com/analytics-vidhya/new-aspects-to-consider-while-moving-from-simple-linear-regression-to-multiple-linear-regression-dad06b3449ff</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[62]	Chakure A. What Is Logistic Regression? [Internet]. builtin.com. Preuzeto s: <a href="https://builtin.com/data-science/what-is-logistic-regression">https://builtin.com/data-science/what-is-logistic-regression</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[63]	Geeksforgeeks. Understanding Logistic Regression [Internet]. GeeksforGeeks. 2017. Preuzeto s : <a href="https://www.geeksforgeeks.org/understanding-logistic-regression/">https://www.geeksforgeeks.org/understanding-logistic-regression/</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[64]	Banoula M. Classification in Machine Learning   The Best Classification Models. Simplilearn. Preuzeto s: <a href="https://www.simplilearn.com/tutorials/machine-learning-tutorial/classification-in-machine-learning">https://www.simplilearn.com/tutorials/machine-learning-tutorial/classification-in-machine-learning</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[65]	Ramakrishnan M. What is Classification in Machine Learning and Why is it Important?. Emeritus Online Courses. 2022. Preuzeto s: <a href="https://emeritus.org/blog/artificial-intelligence-and-machine-learning-classification-in-machine-learning/">https://emeritus.org/blog/artificial-intelligence-and-machine-learning-classification-in-machine-learning/</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[66]	Ali M. Clustering in Machine Learning: 5 Essential Clustering Algorithms. Preuzeto s: <a href="https://www.datacamp.com/blog/clustering-in-machine-learning-5-essential-clustering-algorithms">https://www.datacamp.com/blog/clustering-in-machine-learning-5-essential-clustering-algorithms</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[67]	Ali M. Clustering in Machine Learning: 5 Essential Clustering Algorithms. Preuzeto s: <a href="https://www.datacamp.com/blog/clustering-in-machine-learning-5-essential-clustering-algorithms">https://www.datacamp.com/blog/clustering-in-machine-learning-5-essential-clustering-algorithms</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[68]	Javapoint. Clustering in Machine Learning. Preuzeto s: <a href="https://www.javatpoint.com/clustering-in-machine-learning">https://www.javatpoint.com/clustering-in-machine-learning</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]

[69]	Explorium. ML Clustering: When To Use Cluster Analysis, When To Avoid It. Explorium. 2020. Preuzeto s: <a href="https://www.explorium.ai/blog/clustering-when-you-should-use-it-and-avoid-it/">https://www.explorium.ai/blog/clustering-when-you-should-use-it-and-avoid-it/</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[70]	Lakshmana K, Kaluri R, Gundluru N, Alzamil ZS, Rajput DS, Khan AA, et al. A Review on Deep Learning Techniques for IoT Data. Electronics. 2022 May 18;11(10):1604. Preuzeto s: <a href="https://www.mdpi.com/2079-9292/11/10/1604">https://www.mdpi.com/2079-9292/11/10/1604</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[71]	IBM. What are Neural Networks?. 2021. Preuzeto s: <a href="https://www.ibm.com/topics/neural-networks">https://www.ibm.com/topics/neural-networks</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[72]	IBM. What are Convolutional Neural Networks?   IBM [Internet]. <a href="http://www.ibm.com">www.ibm.com</a> . Preuzeto s: <a href="https://www.ibm.com/topics/convolutional-neural-networks">https://www.ibm.com/topics/convolutional-neural-networks</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[73]	IBM. What are Recurrent Neural Networks?. Preuzeto s: <a href="https://www.ibm.com/topics/recurrent-neural-networks">https://www.ibm.com/topics/recurrent-neural-networks</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[74]	Jaspersoft. What is Cloud Analytics?. TIBCO Software. 2020. Preuzeto s: <a href="https://www.jaspersoft.com/articles/what-is-cloud-analytics">https://www.jaspersoft.com/articles/what-is-cloud-analytics</a> [Pristupljeno: 18. srpnja 2023.]
[75]	Moreno Rendon WD, Burgos Anillo C, Jaramillo-Ramirez D, Carrillo H. Passenger Counting in Mass Public Transport Systems using Computer Vision and Deep Learning. IEEE Latin America Transactions. 2023 Apr 1. Preuzeto s: <a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/10128885">https://ieeexplore.ieee.org/document/10128885</a> [Pristupljeno: 30. kolovoza 2023.]
[76]	Baumann D, Sommer M, Schrempp Y, Sax E. Use of Deep Learning Methods for People Counting in Public Transport [Internet]. IEEE Xplore. 2022. p. 1–6. Preuzeto s: <a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/9742924">https://ieeexplore.ieee.org/document/9742924</a> [Pristupljeno: 30. kolovoza 2023.]
[77]	Tsou PR, Wu CE, Chen YR, Ho YT, Chang JK, Tsai HP. Counting People by Using Convolutional Neural Network and A PIR Array. IEEE Xplore. 2020. p. 342–7. Preuzeto s: <a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/9162221">https://ieeexplore.ieee.org/document/9162221</a> [Pristupljeno: 30. kolovoza 2023.]
[78]	Abedi H, Magnier C, Shaker G. Passenger Monitoring Using AI-Powered Radar [Internet]. IEEE Xplore. 2021. p. 1–2. Preuzeto s: <a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/9518503">https://ieeexplore.ieee.org/document/9518503</a> [Pristupljeno: 30. kolovoza 2023.]

## POPIS KRATICA I AKRONIMA

Kratika	Značenje
IoT	Internet stvari
UID	Jedinstveni identifikator
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
EPC	<i>Electronic Product Code</i>
CIBSG	<i>Cisco Internet Business Solutions Group</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
FHSS	<i>Frequency-hopping Spread Spectrum</i>
FSK	<i>Frequency-shift Keying</i>
BT SIG	<i>Bluetooth Special Interest Group</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
FFD	<i>Full Function Device</i>
RFD	<i>Reduced Function Device</i>
SD	<i>Superframe Duration</i>
CAP	<i>Contention Access Period</i>
CSMA/CA	<i>Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance</i>
CFP	<i>Contention Free Period</i>
GTS	<i>Guaranteed Time Slots</i>
LPWAN	<i>Low Powered Wide Area Network</i>
E2E	<i>End-to-end</i>
SDN	<i>Software Defined Networking</i>
NFV	<i>Network Function Virtualization</i>
V2V	<i>Vehicle-to-vehicle</i>
V2I	<i>Vehicle-to-infrastructure</i>
M2X	<i>Machine Type Communication</i>
V2X	<i>Vehicle-to-everything</i>
OBD-II	<i>On-Board Diagnostics – Standard revision – II</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
EEBL	<i>Emergency Electronics Brake Light</i>
BSW	<i>Blind Spot Warning</i>
LCW	<i>Lane Change Warning</i>
FCW	<i>Forward Collision Warning</i>
DNPW	<i>Do Not Pass Warning</i>
IMA	<i>Intersection Movement Assist</i>
LTA	<i>Left Turn Assistant</i>
RSU	<i>Road Side Unit</i>
DSRC	<i>Dedicated Short Range Radio</i>
SAECU	<i>Safety Application Electronic Control Unit</i>
VICN	<i>Vehicle's Internal Communication Network</i>
DVI	<i>Driver-Vehicle Interface</i>
SCM	<i>Security Credential Management System Manager</i>
APC	<i>Automatic Passenger Counting</i>
IR	<i>Infrared</i>



PIR	<i>Passive Infrared Sensor</i>
WIM	<i>Weigh In Motion</i>
<i>RF</i>	<i>Radio Frequency</i>
CBT	<i>Card-Based Ticketing</i>
ABT	<i>Account-Based Ticketing</i>
ANN	<i>Artificial neural networks</i>
CNN	<i>Convolutional neural networks</i>
FC	<i>Fully Connected</i>
ReLU	<i>Rectified Linear Unit</i>
RNN	<i>Recurrent neural network</i>
LSTM	<i>Long short-term memory</i>

## POPIS SLIKA I TABLICA

### Popis slika

Rbr.	Naziv slike	Str.
1.	Snimka s kamere koja prati količinu kave	3
2.	Princip rada RFID tehnologije	4
3.	Prikaz procesa organiziranja i prijenosa WSN-ova	6
4.	Način rada sustava ZigBee	10
5.	Prikaz 5G ekosustava	12
6.	Princip network slicing-a	13
7.	Arhitektura sustava upravljanja voznim parkom	15
8.	Lokalni mrežni videorekorder	16
9.	Kakaobus aplikacija	17
10.	Web stranica Singapurske uprave kopnenog prometa	17
11.	Aplikacija 360 Pass	18
12.	Prikaz rada 360Pass aplikacije	19
13.	Predloženo sučelje aplikacije za putnike	20
14.	Komponente V2V tehnologije	22
15.	2D snimanje putnika	24
16.	3D snimanje putnika	24
17.	Shema PIR senzora	25
18.	Sigurnosni koncept podloge za gaženje	26
19.	Predloženi sustav testiranja opreme za brojanje putnika	28
20.	Jednostavna linearna regresija	31
21.	Višestruka linearna regresija	31
22.	Logistička regresija	32
23.	Particionirano klasteriranje	34
24.	Metoda klasteriranja temeljena na gustoći	34
25.	Metoda klasteriranja temeljenoj na modelu distribucije	35
26.	Hijerarhijsko grupiranje u klastere	36
27.	Struktura CNN modela	37
28.	Struktura RNN modela	39

### Popis tablica

Rbr.	Naziv tablice	Str.
1.	Popis verzija Wi-Fi standarda 802.11	7
2.	Pregled istraživanja brojanja putnika	40

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni 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 interneta stvari u funkciji brojanja putnika u javnom gradskom prijevozu, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student:

U Zagrebu, 6. rujna 2023.

Tin Hozjan, Tin Hozjan  
(ime i prezime, potpis)