Prikupljanje podataka i određivanje prometnih parametara uporabom detektora Bluetooth signala

Juršić, Karlo

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:119:961076

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Karlo Juršić

PRIKUPLJANJE PODATAKA I ODREĐIVANJE PROMETNIH PARAMETARA UPORABOM DETEKTORA BLUETOOTH SIGNALA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

PRIKUPLJANJE PODATAKA I ODREĐIVANJE PROMETNIH PARAMETARA UPORABOM DETEKTORA BLUETOOTH SIGNALA

COLLECTING DATA AND DETERMINING OF TRAFFIC PARAMETERS USING BLUETOOTH DETECTORS

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra

Student: Karlo Juršić, 0135227501

Zagreb, 2019

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 14. ožujka 2019.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Lokacijski i navigacijski sustavi**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 5462

Pristupnik: **Karlo Juršić (0135227501)**
Studij: Promet
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Prikupljanje podataka i određivanje prometnih parametara uporabom detektora Bluetootha signala**

Opis zadatka:

Detaljno opisati tehnologiju Bluetooth, protokol, tehnike pristupa prijenosnom mediju i modulacije, propagaciju signala i ograničenja s obzirom na izračenu snagu. Analizirati razvoj Bluetootha s obzirom na generacije uređaja i rasprostranjenost uporabe u elektroničkim uređajima. Opisati izvedbu detektora Bluetooth signala koji se koriste za detekciju uređaja koji koriste Bluetooth u vozilima. Provesti prikupljanje podataka pomoću kojih će se provesti određivanje prometnih parametara na temelju Bluetooth signala. Verificirati dobivene rezultate i odrediti udio tako detektiranih vozila u ukupnom broju vozila uporabom radarskih detektora. Diskutirati mogućnosti i ograničenja uporabe Bluetootha pri detekciji stanja u prometnoj mreži te mogućnost uporabe tog pristupa u prometnim upravljačkim sustavima.

Mentor:

doc. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

PRIKUPLJANJE PODATAKA I ODREĐIVANJE PROMETNIH PARAMETARA UPORABOM DETEKTORA BLUETOOTH SIGNALA

SAŽETAK

Povećanjem broja Bluetooth uređaja u vozilima, kao i u svakodnevnoj uporabi, moguće je provesti analizu prometnih parametara korištenjem Bluetootha kao markera za detekciju vozila i općenito sudionika u prometu. Bluetooth detektori služe detekciji Bluetooth signala iz uređaja koji koriste neku vrstu Bluetooth tehnologije i bilježenju pojavljivanja jedinstvenog indikatora – MAC adrese. U radu su prikazani prikupljeni podaci iz detektranih uređaja, kao što su MAC adrese, vrijeme detekcije i duljina boravka u zoni detekcije detektora. Prikupljeni su podaci filtrirani i analizirani kako bi se usporedili s podacima prikupljenih radarom koji detektira isključivo vozila. Prometni parametri analizirani u radu su: broj vozila koja sadrže Bluetooth uređaj, broj detekcija istog vozila u zoni, udio vozila koja imaju Bluetooth uređaj u ukupnom broju vozila, vrijeme zadržavanja vozila u detekcijskoj zoni i koeficijent zagušenosti prometnice. Iz dobivenih rezultata može se zaključiti kako ovaj način prikupljanja podataka omogućuje korištenje ove tehnologije u nadzoru i upravljanju prometom.

Ključne riječi: Bluetooh detektori, MAC adresa, prometni parametri, radar, upravljanje prometom

COLLECTING DATA AND DETERMINING OF TRAFFIC PARAMETERS USING BLUETOOTH DETECTORS

SUMMARY

By increasing the number of Bluetooth devices in vehicles, as well as in daily use, it is possible to analyze traffic parameters using Bluetooth as a marker for vehicle detection as well as detection of other traffic participants. Bluetooth detectors detect Bluetooth signals from devices which use some type of Bluetooth technology and its unique identifier – the MAC address. For the purpose of this thesis, data, like MAC addresses, detection times, and dwell times in detectors' detection zone were gathered. These data were filtered and analyzed to make a valid comparison with the data collected using radars, which detect only moving vehicles. Traffic parameters analyzed in this thesis are: number of vehicles containing Bluetooth device, number of detections of the same vehicle in the detection zone, amount of vehicles containing Bluetooth device in the total number of detected vehicles, dwell time of a vehicle in the detection zone, and congestion coefficient of the road segment. From the obtained results it is possible to conclude that this method for data collection enables usage of this technology in traffic surveillance and management.

Keywords: Bluetooh detectors, MAC address, traffic parameters, radar, traffic management

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Značajke i funkcionalnosti Bluetooth tehnologije 3

2.1 Tehničke karakteristike Bluetooth tehnologije 3

2.1.1 Prednosti Bluetooth tehnologije 6

2.1.2 Nedostaci Bluetooth tehnologije 7

2.2 Korištenje Bluetooth tehnologije u modernom društvu 8

2.3 Bitne značajke Bluetooth-a u okviru Bluetooth detektora 9

3. Razvoj uređaja i tehnologija koji koriste Bluetooth komunikacijsku tehnologiju 11

4. Detektori za detekciju vozila na osnovi Bluetootha 14

4.1 Način rada Bluetooth detektora 16

4.2 Mogućnosti u prikupljanju Bluetooth podataka 18

5. Detekcija vozila pomoću radara 22

5.1 Osnovni pojmovi i metodologija radarske tehnologije 22

5.2 Priprema radara za korištenje 22

6. Prikupljanje i analiza prikupljenih podataka 26

6.1 Analiza podataka 27

6.2 Koeficijent korelacije prikupljenih podataka 29

6.3 Interpretacija rezultata 31

7. Predviđanja i mogućnosti razvoja prometnih upravljačkih sustava 37

8. Zaključak 42

Literatura 44

Popis slika 47

Popis tablica 48

Popis grafova 49

1. Uvod

Istraživanja koja ispitaju prometne parametre vozila u prometu nisu rijetka, ali način izvedbe često varira. Sve su češća istraživanja na temu Bluetootha, a sve se više počinju provoditi zbog dostupnosti tehnologije i upotrebi u svakodnevnom životu pojedinih sudionika u prometu. U ovom pregledu napravljen je osvrt na takva i slična istraživanja koja se temelje na Bluetooth tehnologiji kao i na radarskoj tehnologiji koja je zastupljenija, ali ima više ograničenja. Naravno, od niza istraživanja ovdje će se navesti samo neka za koje autor smatra da su reprezentativna.

Većina istraživanja koristila se plutajućim podacima iz vozila, tj. prikupljanjem podataka o lokaciji, brzini i smjeru kretanja s mobilnih telefona, putem mobilnih mreža, iz vozila u pokretu. Tako je za to dobar primjer istraživanje iz 2011. godine sa Sveučilišta u Maryland-u [1]. Tamo su istraživači napravili komparativnu analizu između plutajućih podataka i Bluetootha, a kao prednosti plutajućih podataka naveli su niske cijene po jedinici podataka, kontinuirano i automatsko prikupljanje podataka te gotovo nikakvo ometanje prometa. Kao mane iste metode navedeni su visoki početni troškovi, pitanja privatnosti te niske frekvencije uzorkovanja, tj. broja uzetih uzoraka zbog malog broja senzora ili vozila koja koriste Bluetooth uređaje. Prednosti Bluetooth tehnologije su manja početna ulaganja, sve veće korištenje Bluetooth uređaja u svakom vozilu, prikupljanje veće količine informacija te gotovo nikakvi problemi s privatnosti, a mane su potreba za postavljanjem više detektora, detektiranje istog uređaja na samo jednom detektoru te tako stvaranje odstupanja u mjerenjima te gustoća uzimanja uzorka, koja raste svakom novom generacijom uređaja.

Još jedno istraživanje pod nazivom Smart City Solutions Using Vehicle Tracking provedeno je na tu temu, a rezultat je bio kako klasične i nove metode imaju svoje prednosti tako da svaki sustav pruža određenu vrstu informacija [2]. Najbolje stvarnovremenske informacije postižu se kombiniranjem trenutnih podataka o prometu koje su prikupljene u jednoj točki s prostornim podacima dobivenim praćenjem vozila u nekom području. To znači da se kombiniranjem podataka iz više detektorskih točaka i sustava za praćenje većeg područja mogu brže generirati izvještaji na incidente te na njih reagirati i bolje razumjeti više o njima.

Za ovaj rad provedeno je prikupljanje prometnih parametara Bluetooth i radarskom tehnologijom kako bi se provelo istraživanje zastupljenosti Bluetootha te ispitala njihova korelacija. Objašnjeni su osnovni pojmovi, značajke i funkcionalnosti spomenutih tehnologija te su analizirani i uspoređeni izmjereni parametri.

Drugo poglavlje sadrži pregled osnovnih karakteristika Bluetooth tehnologije, njezinu povijest, značajke, tehničke specifikacije uređaje i funkcionalnosti. Povijesni pregled potreban je zbog upoznavanja čitatelja s nekim osnovnim pojmovima, općim znanjem o samoj tehnologiji kao i s nekim značajkama. Nakon definiranja teorijske osnove navedene su i opisane neke osnovne tehničke karakteristike same

tehnologije, a u idućem poglavlju su te iste karakteristike prenesene na uređaje koji koriste Bluetooth tehnologiju. Zatim je napravljen kratak osvrt na načine i svrhe korištenja Bluetooth tehnologije i uređaja u modernom društvu, tj. sa stajališta modernog korisnika. Na kraju su opisane neke bitnije značajke razvoja Bluetootha kada je riječ o detektorima, koje su to značajke bitnije za Bluetooth detektore i zašto.

U trećem poglavlju raspisan je kratki povijesni razvoj Bluetootha te tehnologija uz koje je bio vezan. Tu su opisane uglavnom generacije mobilnih mreža i uređaja u njima te su spomenute neke druge bežične mreže kao što je WiFi.

Tema četvrtog poglavlja je opis detektora koji rade na Bluetooth tehnologiji te njihovo korištenje. Opisani su načini prikupljanja podataka Bluetooth detektorima te razlozi za njihovo prikupljanje. Razni načini na koje se prikupljeni podaci mogu koristiti u računanju, analizi i interpretaciji dobivenih rezultata. Primjeri sirovih podataka dobivenih Bluetooth detektorima, mogućnosti i problemi koji nastaju kod analize sirovih podataka te razlozi zašto je potrebna filtracija. Na kraju su još navedene i opisane neke od formula koje su korištene u svrhu ovog rada.

Kroz peto poglavlje opisana je metodologija i osnovni pojmovi radarske tehnologije, detaljno je opisan postupak postavljanja i korištenja radara kao detektora vozila, sve njegove karakteristike i značajke te razlozi korištenja. Radarska tehnologija nije opisivana vrlo opširno jer se u radu koristi kao izvor informacija za usporedbu te je raspisano ono što je bitno u svrhu istraživanja.

Analiza i interpretacija rezultata raspisani su detaljno u šestom poglavlju kao i postupak filtracije sirovih podataka, korištene formule i metode u obradi filtriranih podataka, kako izgledaju rezultati i grafovi nakon provedene analize te što oni znače i dr. U ovom poglavlju je zapravo opisan postupak mjerenja i analiza provedenih za ovaj rad. Rezultati su prikazani grafički radi lakšeg razumijevanja.

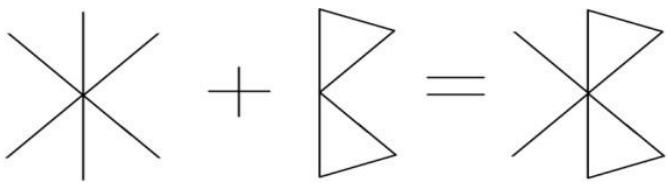
Korištene su metode analize, sinteze i opisi pri izradi diplomskog rada, a najviše su pomogla predavanja iz raznih kolegija sa Sveučilišta u Zagrebu Fakulteta prometnih znanosti. Predavanja koja su imala osobit doprinos bila su iz predmeta Lokacijski i navigacijski sustavi i Mobilni komunikacijski sustavi, Obrada poruka i signala, Ttehnologije telekomunikacijskog prometa i Podvorbeni sustavi te Terminalni uređaji. U radu su korišteni i fizički te online članci koji su pomogli u razumijevanju trendova i specifičnih tehnologija.

2. Značajke i funkcionalnosti Bluetooth tehnologije

Bluetooth je standard za bežičnu radiokomunikaciju kratkog dometa i male snage te relativno niske cijene. Prije nego se dotakne sama tehnologija, potrebno je navesti nešto o nastanku i razvoju iste. Razvila ga je tvrtka Ericsson 1994. godine kao tehnologiju za zamjenu RS-232 kabela. Ubrzo nakon Bluetooth se počinje koristiti sve više i postaje sve raširenija te se primjenjuje na različite vrste uređaja [3]. U tu skupinu spadaju inteligentni uređaji, kao što su dlanovnici, mobilni telefoni, osobna računala i dr., kao i periferni uređaji, kao što su miševi, tipkovnice, kamere, digitalne olovke, pisač i dr. te audio periferne uređaje, kao što su slušalice, zvučnici i slično. Također se počinje primjenjivati i kod integriranih aplikacija i uređaja, kao naprimjer automobilskih brava, glazbenih instrumenata i sl. Prema tome, Bluetooth tehnologija je sve raširenija te se sve više primjenjuje u svakodnevnom životu.

Jedan od razloga široke primjene ove tehnologije je udruživanje pet tvrtki, Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba i Intel, 1998. godine koje su uvidjele korist i budućnost ove tehnologije. One su osnovale nešto što se naziva Grupa od posebnog interesa ili SIG (eng. *Special Interest Group*). Ovakvo udruženje je bilo idealno za uvođenje i razvoj nove tehnologije, što je tada Bluetooth bio, jer su članice bile proizvođači na tržištu mobilne telefonije i računala te tehnologije za obradu digitalni podataka. Svrha grupe je bila postaviti pravila i specifikacije vezane za bežično povezivanje kratkog dometa. Krajem te iste godine Bluetooth je najavljen općoj javnosti te je ta globalna najava izaziva usvajanje tehnologije kod nekoliko velikih tvrtki, što je i bila jedna od namjera, kao i uspostava standardiziranih uređaja i softvera [3].

Danas je već opće poznato da je Bluetooth tehnologija dobila ime „Modri zub“ zbog jednog staronordijskog kralja, Haralda „Modrozubog“. Ono što većina ne zna je razlog tomu. Razlog tomu je što je u 10. stoljeću isti taj kralj obolio od bolesti zbog koje su mu zubi poprimili plavu boju. On je tada vladao mnogim manjim kraljevstvima koja su se prostirala diljem Danske, Norveške i Švedske, a dvije od članica grupe su imale središta u nordijskim zemljama (Finska i Švedska), a svako od njih imalo je svoja posebna pravila. Iz ovoga se napravila paralela s načinom na koji Bluetooth tehnologija povezuje različite uređaje koji rade prema različitim pravilima te im omogućuje komunikaciju i prijenos podataka [3]. Ista takva logika primijenila se onda i na simbol za Bluetooth. Simbol je kombinacija nordijskih runa za H i B što su inicijali izvornog imena već spomenutog kralja, kao što je prikazano na slici 1.

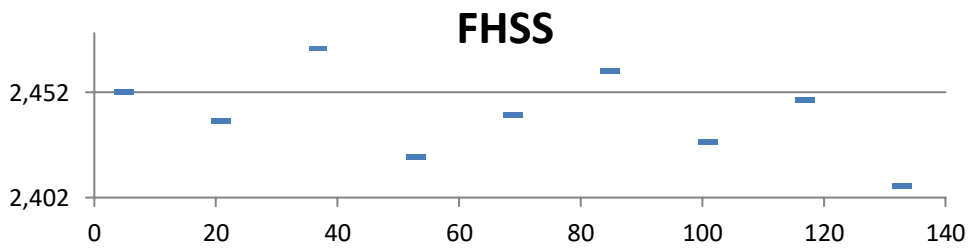


Slika 1. Podrijetlo simbola za Bluetooth tehnologiju

2.1 Tehničke karakteristike Bluetooth tehnologije

Kako bi se mogla koristiti Bluetooth tehnologija svaki od uređaja mora imati primopredajnik koji prenosi i odašilje podatke na frekvenciji od 2,4 GHz, a to je frekvencijsko područje koje se koristi u znanosti kao i u medicini (eng. *Industrial, Scientific and Medical* - ISM). Primjena ISM-a uključuje razne medicinske i znanstvene aparate i instrumente, a razlog korištenja specifičnog ograničenog spektra je radi snažne emisije elektromagnetskih zračenja tih uređaja koja mogu stvoriti smetnje i prekinuti radiokomunikaciju na istoj frekvenciji. Dakle komunikacijska oprema u tim pojasevima mora tolerirati smetnje malih snaga generirane ISM-om, a smetnje velikih snaga ih mogu ometati – na primjer, generator šuma u tom frekvencijskom području. Ta frekvencija je dozvoljena diljem svijeta uz nekoliko iznimki, a širina kanala varira ovisno o zemlji. Širine frekvencijskog pojasa koje se koriste u SAD-u i Europi nalaze se u rasponu od 2.400 MHz do 2.483,5 MHz, a širina frekvencijskog pojasa u Japanu nalazi se u rasponu od 2.471 do 2.497 MHz [3]. Iz toga je vidljivo da je frekvencijski pojas uvijek između 2.400 i 2.500 MHz, ali da se raspon mijenja ovisno o zemlji u kojoj se koristi. Problem spektra je što je otvoren za bilo koji sustav radijske komunikacije te se zbog toga mora voditi računa o smetnjama uređaja kao što su kontrolni uređaji za garažna vrata, bežični telefoni, mikrovalne pećnice i sl. te relativno male snage zračenja i snage signala. Kako bi se to izbjeglo koristi se komunikacija u proširenom pojasu sa skokovitom prijenosnom frekvencijom (FHSS), a ona omogućuje uređajima da komuniciraju čak i u područjima gdje postoji velika elektromagnetska smetnja ili interferencija.

Spomenuto frekvencijsko skakanje ili FHSS koristi se kako bi se izbjegle interferencije i smetnje u ovom uskom, ali vrlo korištenom frekvencijskom rasponu. Brzina kojom se odvija frekvencijsko skakanje je 1600 puta u sekundi, koristi se i nešto što se naziva adaptivno frekvencijsko skakanje ili AFH kako bi se optimizirao takav način rada. Iza procesa stoji komplicirana matematika kao i algoritmi zaduženi za izvođenje pozadinskih operacija kako korisnik ne bi primijetio nikakve smetnje i kašnjenja. Ipak, frekvencijsko skakanje jednostavno je prikazati na grafu, pa tako graf 1. prikazuje primjer FHSS-a. Na x-osi je označeno vrijeme u milisekundama dok su na y-osi frekvencijske vrijednosti u MHz-ima.



Grafikon 1. Primjer FHSS-a u vremenu

Bluetooth tehnologija koristi dvije vrste fizičkih veza za prijenos paketa. Prva je sinkrona, a koristi se za prijenos govornog signala visoke kvalitete (eng. *Synchronous Connection Oriented* - SCO), a druga je asinkrona i koristi se za prijenos korisničkih i upravljačkih informacija (eng. *Asynchronous Connectionless Link* - ACL) [4]. Više o pojedinim vrstama veza bit će navedeno u daljnjim poglavljima. Način na koji komuniciraju Bluetooth uređaji su različiti, ali mogu se podijeliti u četiri glavna. Profil osnovnog pristupa ili GAP (eng. *Generic Access Profile*), profil serijskog porta ili SPP (eng *Serial Port Profile*), profil generične zamjene objekata ili GOEP (eng. *Generic Object Exchange Profile*) i profil aplikacije za otkrivanje usluga ili SDAP (eng. *Service Discovery Application Profile*) [5]. Navedeni profili koriste se kao različiti načini učinkovitog bežičnog povezivanja Bluetooth uređaja.

Profil osnovnog pristupa diktira kako se dva nepovezana Bluetooth uređaja pronalaze i uspostavljaju vezu. Profil serijskog porta propisuje kako ostvariti virtualni serijski port na dva uređaja te ih povezati koristeći Bluetooth tehnologiju. Profil serijskog porta ovisi o profilu osnovnog pristupa. Profil aplikacije za otkrivanje usluga diktira kako se otkrivaju usluge dostupne Bluetooth uređaju te kako naći specifične i generične usluge. Ovaj profil koristi aplikaciju koja je potrebna za pronalaženje usluga te tako komunicira s protokolom za otkrivanje usluga (eng. *Service Discovery Protocol*). On je zadužen za slanje i primanje upita između Bluetooth uređaja. Profil generične zamjene objekata određuje skup protokola koje moraju koristiti aplikacije kako bi se mogle povezati te slati i primanjem podatke. Ovaj profil sadrži najveći broj komercijalnih i korisničkih uređaja, na primjer prijenosna računala, pametni telefoni, tableti i dr. Uređaji koji koriste GOEP rade pod pretpostavkom da su povezani prema GAP-u [5].

Standard na kojem je izgrađena Bluetooth komunikacija je iz IEEE 802 skupine, točnije 802.15.1. U nju spadaju i druge bežične komunikacijske tehnologije kao LAN. Dakle, Bluetooth omogućuje prijenos informacija i dostupna su tri kanala za prijenos glasa, a prijenos informacija se može odvijati brzinama do teoretskih 1 Mbit/s ili do teoretskih 2 Mbit/s za drugu, treću, četvrtu i petu generaciju. Danas se koristi 5.0 Bluetooth tehnologiji, koja nudi veće brzine kao i veće domete. Gotovo sva poboljšanja vezana su za ”Bluetooth Low Energy”, koji je već uveden kod Bluetooth 4.0, zbog kojeg, Bluetooth troši manje energije. Bluetooth 5.0 tehnologija potaknuta je i činjenicom da broj uređaja i korisnički zahtjevi rastu svake godine. Tako je 2018 godine registrirano preko 10 milijardi Bluetooth uređaja u svijetu [6]. Mogućnost manje potrošnje energije bila je dostupna i u prijašnjim generacijama, ali se nije mogla u potpunosti implementirati zbog određenih ograničenja kao što su, na primjer, povezivanje bežičnih slušalica koje nisu mogle uspostaviti komunikaciju tako jer im je bilo potrebno više energije.

Bluetooth, kao dinamički standard, u kojem se uređaji mogu automatski pronaći i uspostaviti vezu zamišljen je na dvije razine. Prva je razmjena na fizičkoj razini, kao frekvencijski standard, a druga je na idućoj razini gdje se uređaji moraju uskladiti kada se šalju informacije. Usklađivanje uključuje određivanje koliko će se podataka slati u isto vrijeme te kako da razgovor bude siguran da je primljena poruka nepromijenjena u odnosu na poslanu [3]. Prva fizička razina služi kako bi se uparila dva uređaja i pripremila za komunikaciju s obje strane. Druga razina se koristi kako bi se rezervirao dovoljan frekvencijski pojas te kako bi se signal kodirao da ne bi došlo do interferencije signala kod prijenosa podataka, kao i kako bi se osigurala brzina prijenosa podataka te kako bi se postigla zadovoljavajuća razina sigurnosti, tj. redundancije prilikom prijenosa podataka.

Prilikom dizajniranja i izrade Bluetooth tehnologije i standarda velika pažnja pridodaje se aspektu sigurnosti. Zato postoje interesne skupine koje pomažu riješiti problematična pitanja vezana uz sigurnost te svakim novim ažuriranjem poboljšati sigurnost. Takve skupine također apeliraju na korisnike da upotrebljavaju dugačke alfanumeričke šifre, da ne koriste uparivanje uređaja putem Bluetootha u javnosti te da uređaji budu u nevidljivom načinu rada ako se ne koriste [7].

2.1.1 Prednosti Bluetooth tehnologije

Glavna prednost Bluetooth tehnologije je bežični prijenos podataka između uređaja, a to je ujedno i njezina glavna karakteristika. Iz perspektive prednosti povezivanje uključuje, takozvano uparivanje uređaja kako bi se kreirala privatna bežična mreže ili WPAN (eng. *Wireless Privat Area Network*). Izuzetno je korisno da aplikacije koje se bežično povezuju putem Bluetootha mogu sadržavati daljinsko upravljanje između kompatibilnih uređaja, određivanje lokacije u stvarnom vremenu, identifikaciju objekata unutar područja odašiljanja signala i dr. Iz tog razloga izuzetno je pogodna tehnologija za detekciju uređaja i nadzor prometa.

Još jedna velika prednost je što gotovo svi uređaji danas sadržavaju Bluetooth, a kroz vrijeme ta brojka se samo povećava. Time se ostvaruje dostupnost i kompatibilnost različitih uređaja i platformi. To je moguće jer je Bluetooth tehnologija postala standard, a tu se nadovezuje i jednostavnost korištenja. Nema potrebe za posebnim softverom ili nekim dodatnim uređajem, ako uređaj u pitanju ima kompatibilnu Bluetooth tehnologiju samo ju je potrebno povezati i pokrenuti. Dovoljno je imati osposobljen Bluetooth na uređaju i biti u području pokrivanja drugog uređaja. Uz to postoji i protokol za prepoznavanje koji otkriva uređaj putem univerzalnog identifikatora uređaja i usluga. Tako se pomoću Bluetootha može utvrditi ime i klasa uređaja, kao i njegove usluge ili značajke te tehničke informacije.

Sama tehnologija je relativno dobro energetski učinkovita, a to uvećava i činjenica da su nove inačice štedljive, tj. *Bluetooth Low Energy* ili BLE. Time je idealan za male prijenosne uređaje, na primjer nosive tehnologije i senzore.

2.1.2 Nedostaci Bluetooth tehnologije

Glavni nedostatak Bluetooth tehnologije je ograničen domet, a ovisi o klasi odašiljača koji koristi. Sva Bluetooth oprema za prijenos može se svrstati u 3 skupine ovisno o razini snage koja je potrebna za odašiljanje signala. Klasa jedan ima maksimalnu dozvoljenu snagu od 100 mW ili 20 dBm, a odašilje do otprilike sto metara. Maksimalna dozvoljena snaga klase dva je 2,5 mW ili 4 dBm, a domet joj je oko deset metara. Klasa tri odašilje maksimalnom dozvoljenom snagom od 1 mW ili oko 0 dBm, a domet joj je oko jedan meter. Bluetooth uređaji su znatno manjeg dometa od Wi-Fi-a. Iako je Wi-Fi znatno većeg dometa, Bluetooth je zamišljen kao bežična komunikacija na kratke udaljenosti te kao takav zadovoljavaćuje ispunjava svoju svrhu.

Iako su potrebe za energijom male, u primjeni tehnologija može značajno iscrpiti bateriju uređaja, posebice ako je uključen Bluetooth u kombinaciji s ostalim uslugama i aplikacijama na uređaju. Energetska učinkovitost ovisi o specifičnoj klasi. Tako prva klasa, kao što je već navedeno, ima snagu ispod 100 mW, a time je pogodna za stolna računala i slične uređaje. Klasi 2 potrebno je 2,5 mW, i time je pogodnija za prijenosna računala, dok uređaji klase 3 koriste 1 mW i pogodni su za mobilne i nosive uređaje. Dakle, uređaji koji se nalaze u klasama s većom snagom troše više energije te zagrijavaju uređaj i bateriju u pono većom mjeri.

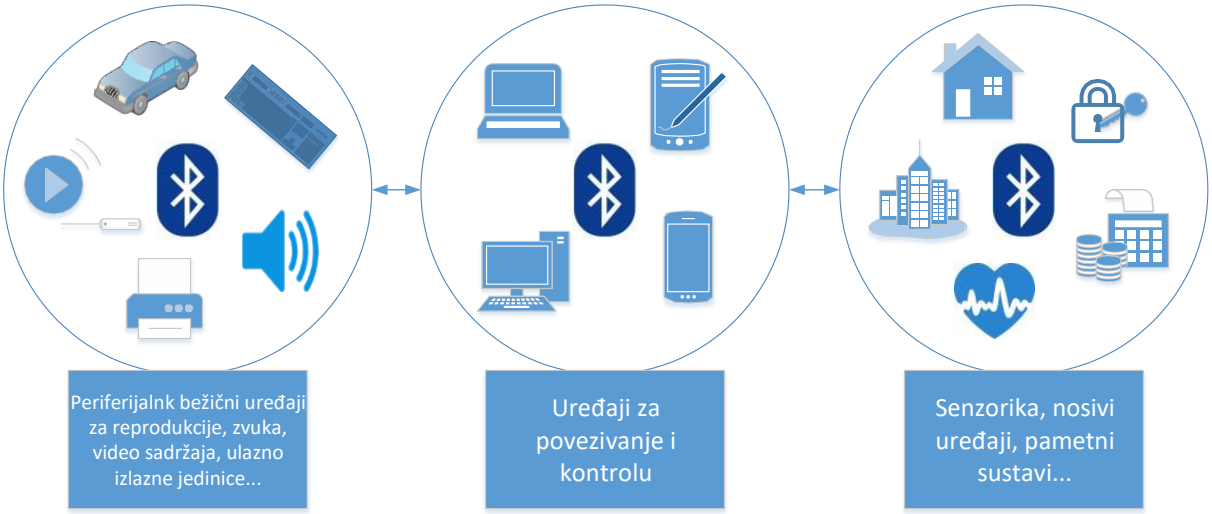
Ne tako veliki nedostatak Bluetootha je relativno mala brzina prijenosa podataka. Točnije. Bluetooth 3.0 i 4.0 imaju teorijsku brzinu prijenosa do 24 Mbit/s, a Wi-Fi ima i do 600 Mbit/s. Iako hardverska sučelja kao što je USB 3.0 mogu imati brzine prijenosa do 5 Gbit/s. Dakle Bluetooth nije pogodan za prijenos audio ili video sadržaja ili strujanje podataka. Ograničenja brzine uvelike utječu na stvarnovremensku komponentu, ali su zato pogodna za prijenose velike količine podataka koji nisu vremenski osjetljivi. Na primjer, tekstualnih datoteka s podacima prikupljenim detektorskom opremom.

Značajan problem korištenja Bluetooth tehnologije je sigurnost. Mjere koje se provode kako bi se očuvala sigurnost uređaja su povjerljivost komunikacije, provjeru autentičnosti i generiranje identifikacijskog i sigurnosnog ključa pomoću algoritama. Međutim, zbog kratkog dometa, hardverskih komponenti i često jednostavne enkripcije, postoji značajan broj upotrebe zlonamjernog softvera za hakiranje hardverskih kontrola i eksploatacije. U sigurnosne propuste ulazi i prejednostavno slučajno dopuštanje uparivanja ili ljudska pogreška. Kada je riječ o kompatibilnosti postoje neka ograničenja. Pa tako niskoenergetski Bluetooth 4.0 nije kompatibilan s drugim klasičnim Bluetooth inačicama koje nisu niskoenergetske, tj. BLE nije kompatibilan s klasičnim Bluetoothom.

2.2 Korištenje Bluetooth tehnologije u modernom društvu

Prema svemu do sada navedenom može se zaključiti kako je Bluetooth evoluirao od bežične zamjene za RS-232 kabel do potpuno samostalnog, razvijenog i relativno dalekosežnog standarda. Danas je najveći problem s kojim se suočava zadržavanje kompatibilnosti unatrag, a istodobno podržavanje uređaja s mnogo više IoT (eng. *Internet of Things*) potencijala i energije. Ovo je najveći problem iz dva razloga – prvi razlog je što to nije predviđeno u izvornoj specifikaciji i ideji, a drugi razlog je ograničavanje u razvoju i evoluciji tehnologije. Usprkos tome, gotovo ne postoji moderan bežični, ili čak žični, uređaj koji ne sadrži neko vrstu Bluetooth tehnologije. Ona je dio svakodnevnog iskustva korištenja mobilnih tehnologija, a, kao što je ranije već navedeno, obuhvaća sve od reprodukcije zvuka na bežične slušalice i zvučnike do povezivanja igraćih kontrolera, miševa i tipkovnica i dr. Bluetooth tehnologija i standardizacija se još uvijek razvija konstantnim tempo, što je impresivno s obzirom na to da je sama tehnologija stara preko 20 godina te se vrlo nerado susreće s temom odmicanja od kompatibilnosti unatrag. Iako zauzima vrlo slične frekvencije kao Wi-Fi signal, oduvijek je bio zamišljen sa znatno kraćim dometom kao i sa znatno manjim snagama te se tako uspješno izbjegavaju interferencije.

Usprkos svim njegovim ograničenjima prednost ovog bežičnog standarda je njegova fleksibilnost, a to je ujedno i njegova najveća vrijednost. Prema nekim procjenama do kraja 2018. godine širom svijeta isporučeno je 10 milijardi Bluetooth uređaja. Ta brojka je impresivna jer je 2012. godine bilo 3,5 milijardi, što znači da se u 6 godina desio porast od 6,5 milijardi [6]. To potvrđuje kako danas gotovo ne postoji uređaj koji nema neku vrstu Bluetooth tehnologije. Gotovo se svaki uređaj ili sustav može već sam ili korištenjem neke vrste adaptera povezati i koristiti putem Bluetooth tehnologije.



Slika 2. Prikaz korištenja Bluetooth tehnologije u svim aspektima života

Bluetooth tehnologija i uređaji imali su najveći utjecaj na industriju i komercijalne korisnike u odnosu na druge bežične tehnologije, izuzevši Wi-Fi tehnologiju. Kao i Wi-Fi, Bluetooth se koristi u svim granama industrije od računalne do medicinske. U aspektu rada uzima se u obzir dio Bluetooth tehnologije i uređaja koji se koriste u svakodnevnom životu prosječnog korisnika kao i u sustavima automatizacije i praćenja prometa u cilju regulacije i upravljanja istim.

Bluetooth kao tehnologija će se razvijati i sve više integrirati u razne sustave i aspekte društva, pogotovo u kontekstu Interneta stvari, te kao takva postati još više relevantna u znanosti. Komercijalno korištenje krajnjih korisnika i komercijalnih potrošača bit će prisutno, ali zbog sve veće pažnje koja se posvećuje IOT-u neće biti primarni fokus već će se koristiti kao izvor podataka i informacija za senzore koji će te podatke koristiti kako bi omogućili što bolji i jednostavniji život prosječnog građana. Bluetooth u modernom društvu više nije tehnologija krajnjeg korisnika već automatiziranih sustava za nadzor i upravljanje određenih tehnoloških aspekata.

2.3 Bitne značajke Bluetooth-a u okviru Bluetooth detektora

Bluetooth je bežična tehnologija koja koristi radiovalove, a zbog malih snaga odašiljanja kratkog je dometa te je razvijena za korištenje kod osobnih mreža ili PAN-a (eng. *Personal Area Network*). Zamišljena je kao standard koji omogućuje da se bilo kakva elektronička oprema - računalna, mobilna, audio i sl., međusobno poveže bez kabela. To je generalno rješenje koje radi na malom području kao što je ured ili soba, a razvojem tehnologije i ta se ograničenja pomiču i prevladavaju pa su se tako razvili i detektori Bluetooth signala. Generički sustav za prikupljanje podataka koristeći Bluetooth tehnologiju sadrži određen broj Bluetooth detektora te računala ili poslužitelja koji upravljaju i prikupljaju podatke. Detaljniji opis sustava korištenog za mjerenja u ovom radu naveden je u daljnjim poglavljima.

Iako je prvenstveno zamišljeno da se odašilju i primaju signali s udaljenosti od 10 metara, korištenjem pojačala ta se udaljenost može povećati i preko 100 metara ovisno o snazi odašiljača, tj. kategoriji uređaja. Oprema primatelja mora imati dozvoljeno odstupanje manje ili jednako 0,1% [3]. Bluetooth detektori signale koriste kako bi mogli prikupiti veću količinu podataka o uređaju. Ipak, snaga ovisi uvelike o dostupnoj energiji jer su velikim djelom detektori bežični te o vrsti mjerenja koja se njima provodi. Bluetooth čip koji je ugrađen u bilo koji vrstu prijenosnih uređaja mora imati vrlo malu potrošnju energije kako bi uređaj mogao raditi samo napajan svojom baterijom. Dokle god radi Bluetooth koristi energiju uređaja u kojem se nalazi kako bi prenosio podatke, ali kada ne prenosi podatke prelazi u način rada koji se naziva čekanje. On služi kako se ne bi trošila energija za vrijeme ne korištenja, a u tom načinu rada uređaj samo izmjenjuje „scout“ poruke s ostalim uređajima u svojoj okolini. Snaga prijenosa se tada umanjuje na 1 mW ili 100 mW ovisno o području pokrivenosti [3].

Već je spomenuto da postoje SCO i ACL, a izbor fizičke veze za prijenos ovisi o vrsti podataka, ovisno o tome koja je veza pogodnija za koju vrstu podatak. Prema tome, sinkrona veza je pogodnija za spajanje te podržava komunikacije od točke do točke. Zato se upotrebljava za prijenos govora visoke kvalitete, a koristi HV pakete (eng. *High quality Voice Packet*). Prijenos se može ostvariti korištenjem DV paketa (eng. *Data Voice Packet*) kojima se prenose podaci i govor niske kvalitete [5]. Ovakva veza je pogodna za prijenos podataka iz Bluetooth detektora, s obzirom na to da su oni većinom u tekstualnom obliku i nisu jako osjetljivi na kašnjenja iako se Bluetooth najćešće ne koristi kao komunikacijska tehnologija između detektora i poslužitelja ili računala. Prijenos SCO-om može koristiti FEC (eng. *Forward Error Correction*) tehniku koja služi kako bi se unaprijed ispravljala pogreška. Uloga FEC-a je smanjenje ponovnog slanja već poslanih paketa zbog pogreške. ACL pak podržava simetrične i asimetrične veze od točke do točke za prijenos paketa u vremenskim odsječcima. Ne mora koristiti FEC zbog protokla za automatsku provjeru i ponovno slanje ili ARQ (eng. Auto Retransmission Query) [5].

Mreže pokrivenosti koje generira Bluetooth tehnologija nazivaju se piko mreže, zato što je komunikacija bežična, a domet kratak. Prednost piko mreža je što ne zahtijevaju nikakvu infrastrukturu osim izvorišnog i odredišnog uređaja te je kapacitet osam uređaja uparenih istovremeno, a svaki od tih uređaja može biti uparen na još sedam uređaja u drugim piko mrežama. Uređaj koji je generirao piko mrežu naziva se „master“ ili glavni, a ostali su „slave“ ili robovi. Uređaji unutar tako uređene piko mreže koriste niz sinkroniziranih frekvencija koje su slobodne kako bi nesmetano i neprekinuto mogli razmjenjivati podatke. Ovako posložena mreža može izmjenjivati podatke iz velikog broja uređaja istovremeno. Za to koriste sinkronizaciju skokovite frekvencije (eng. *Frequency Hopping Synchronization*), a ona se temelji na tome da „slave“ uređaji generiraju svoj niz frekvencija prema MAC adresi i vremenu na „master“ uređaju kada se uspostavi komunikacija veze [8].

Prednost Bluetootha kao detektora je što se Bluetooth uređaji automatski detektiraju ako su u blizini i pokušavaju se povezati. Uređaji ne moraju biti upareni kako bi se Bluetooth tehnologija koristila kao detektor jer svaki uređaj u blizini koji se pokuša povezati s detektorom pošalje određene koriste informacije o sebi koje se mogu koristiti u analizi. Prilikom pokušaja povezivanja svaki Bluetooth uređaj šalje upit sa svojom MAC adresom, a detektor koji upit zaprimi generira zapis s vremenom kada je upit primljen, MAC adresom uređaja koji je poslao upit te snagom zaprimljenog signala. Više o samim podacima koji se odašilju u poglavlju četiri.

Za Bluetooth detektore bitne značajke su domet, koji mora biti veći od deset metara za efektivnu detekciju, potrošnja energije, koja mora biti što manja jer se najčešće koriste u bežičnom načinu rada uz bateriju potpomognutu solarnim napajanjem te odgovarajuća tehnologija i tehnika slanja paketa kako bi se izbjegle pogreške retransmisija. Broj međusobno povezanih Bluetooth uređaja nije jako bitan jer se podaci često šalju putem WiFi ili neke tehnologije većeg dometa.

3. Razvoj uređaja i tehnologija koji koriste Bluetooth komunikacijsku tehnologiju

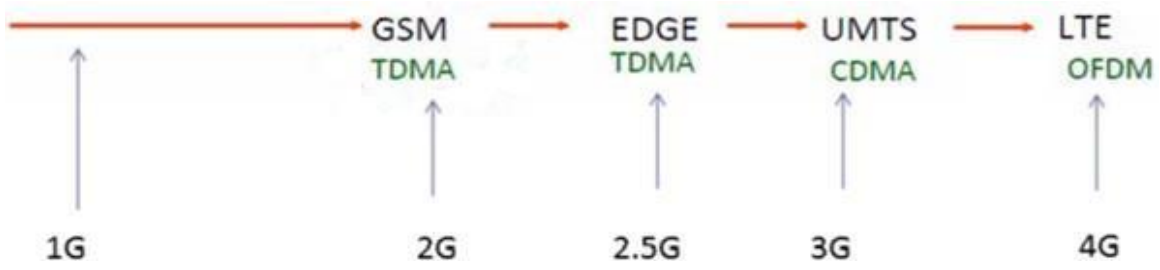
Kao što je navedeno u prethodnom poglavlju Bluetooth se pojavio kao bežična alternativa RS-232 kabelu 1994. godine, a zbog prednosti koje donosi FHSS brzo se proširila. Hedwig Eva Maria Kiesler, američka glumica i izumiteljica, je 1940. godine dizajnirala i napravila, automatski glasovir koji je radio na principu prvog ikad frekvencijskog skakanja iako se ta ideja primjenjivala prvenstveno za navođenje torpeda putem radio signala. Frekvencijsko skakanje bilo je idealno jer se izbjegao problem ometanja radio signala kako bi se ometao signal torpeda, a koristilo se 88 frekvencija što je odgovaralo broju tipki glasovira. Iako je ta tehnologija bila previše složena za vojsku tada te je bila zaboravljena do 1950. godine kada se počela koristila u izradi novog sonara, što je prvi korak u razvoju Bluetootha osobito nakon 1950. kada ju je američka vojska pustila u javnost [9].

Prvi uređaji su koristili jednostavan dizajn s papirnatim trakama dok su danas one zamijenjene digitalnim sklopovima, a frekvencije se generiraju pseudo-slučajnim brojevima, ali ideja i princip rada isti je kao i originalni. Najčešće se algoritam za generiranje pseudo-slučajnih brojeva tretira kao crna kutija. Uz FHSS koristi se i nešto što se zove i vremenski odsječci, a svake sekunde 1600 vremenskih odsječaka se izmjeni, a svaki od njih traje 625 mikro sekundi [9].

Daljnji razvoj Bluetooth tehnologije pratio je razvoj mobilnih uređaja te generacije mobilnih mreža. Kako su rasle mogućnosti uređaja i korisnički zahtjevi tako se i Bluetooth tehnologija razvijala prema njima. Bluetooth se naravno nije pojavio kada su se pojavile nulta i prva generacija mobilnih mreža jer su te mreže bile analogne i služile su isključivo za prijenos glasa komutacijom kanala.

Prvi pravi potrošački uređaj opremljen Bluetoothom predstavljen je 1999. godine. Bile su to prve „hands free“ mobilne slušalice koje su koristile Bluetooth 1.0 [3]. Time je pokrenuta lančana reakcija koja je dovela do proizvodnje i prodaje prvih Bluetooth chipsetova, miševa, tipkovnica, Bluetooth PC kartica i dr. [10] Prvi Bluetooth mobilni terminalni uređaj bio je Sony Ericsson T36 koji je izašao 2000 godine., a nudio je tropojasni GSM pristup, WAP Internet i dovoljno memorije za spremanje do 1.000 kontakata, što je za to vrijeme bilo puno. [3]

Dakle, prvi Bluetooth mobilni uređaj javio se u mobilnim mrežama druge generacije koje su koristile digitalni prijenos signala za prijenos govora, a uvele su i SMS poruke te prijenos informacija putem mobilne mreže. Mobilne generacije i njihov razvoj prikazani su na slici 3. Brzine prijenosa podataka Bluetoothom bile su brže čak i brže od prijenosa mobilnom mrežom, nešto manje od 1 Mbit/s u odnosu na 14,4 kbit/s. Mobilne mreže imale su jednake brzine prijenosa kao i modemi tog vremena, ali imale su znatno veći domet [10].



Slika 3. Ilustracija mobilnih generacija [11]

Iako su prve bežične Bluetooth slušalice izašle 1999. godine, a mobilni uređaj 2000. godine, Bluetooth tehnologija nije se uvelike raširila do 2004. godine. Te godine pojavio se Bluetooth 2.0 koji je koristio EDR tehnologiju (eng. *Enhanced Data Rate Technology*). [10] Time se omogućilo korisnicima da teoretski povećaju brzine prijenosa na 3 Mbit/s. U praksi to nije prelazilo 2.1 Mbit/s, ali su i dalje brzine bile znatno veće od mobilnih mreža koje su, do kraja druge generacije - 2.75G ili EDGE (eng. *Enhanced Data rates for GSM Evolution*), iznosile 473 kbit/s, ali realno 120 kbit/s [12].

Iako je treća generacija mobilnih mreža uvedena 2002. godine, nije zaživjela u potpunosti još nekoliko godina nakon toga. Bluetooth 3.0 javio se 2008. godine, a ključna značajka mu je bila brzi prijenos podataka uz brzine do 24 Mbit/s. Prijenos velike količine podataka omogućili su mu standardi 802.11b i 802.15.1, dok je i dalje koristio stari Bluetooth radio signal za otkrivanje, povezivanje i konfiguraciju prijenosa. Treća generacija mobilnih mreža dostigla je, pa čak i prestigla te brzine tek u svojoj 3.5G ili HSPA+ (eng *High Speed Packet Access*) inačici, dosegnuvši brzine od 14 Mbit/s do teoretskih 84 Mbit/s [13]. Jedina glavna prepreka, uz kratki domet, Bluetooth tehnologiji bila je potrošnja energije. Mobilni uređaji tog vremena nisu imali dovoljno snažne izvore energije kako bi pouzdano i dugotrajno koristili Bluetooth za prijem podataka. Bluetooth 1.0 sve do 3.0, danas poznati kao klasični, koristili bi veliku količinu energije mobilnih uređaja te bi tako vijek trajanja baterije bio znatno kraći. To se promijenilo kada se počelo razmišljati o Internetu stvari.

Tu se javlja i WiFi, koji iako koristi više energije od Bluetootha za prijem podataka većinu vremena u kojem se ne vrši neki prijenos je neaktivan te tako štedi bateriju. Otprilike u isto vrijeme kada se počelo govoriti o novom Bluetooth standardu koji će koristiti manje energije počelo se raditi i na četvrtoj generaciji mobilnih mreža – LTE. Iako mobilne mreže četvrte generacije još nisu u potpunosti zaživjele i nisu implementirane svugdje, brzine preuzimanja dosežu čak 1 Gbit/s, ali idu do 672 Mbit/s [12]. To je i dalje daleko veće od Bluetootha koji se u svojoj 4.0 inačici vraća na 1 Mbit/s, ali uvodi Bluetooth niske potrošnje energije ili BLE. Iako nova BLE inačica više nije prikladna za komercijalne proizvode i svakodnevno korištenje u korisničkim uređajima za prijenos podataka, puno je pogodniji za druge IoT tehnologije i ideje koje šalju i primaju periodično male količine podataka.

Isto kako se govori o mobilnim mrežama pete generacije u aspektu IoT-a, tako se sve više radi na implementaciji 5.0 Bluetooth tehnologije koja je u potpunosti koncentrirana na senzorsku tehnologiju IoT koncepta.

Moderno doba je napokon razdijelilo Bluetooth od generacija mobilnih mreža u smislu orijentacije prema IoT-u za razliku od korisničkih uređaja. Razlog je i napredak u brzinama prijenosa podataka koje u petoj generaciji mobilnih mreža teoretski dosežu i do 1 Gbit/s [12]. Tako će mobilne mreže pete generacije biti nezamjenjive u aspektu korisničke potražnje, ali će zato Bluetooth 5.0 biti idealan, u kombinaciji s njima, za korištenje u sustavima detekcije i upravljanja. Bluetooth 5.0 se tako koncentrira na sve što se odnosi na IoT, brzinu prijenosa podataka, domet, kapacitet dr. Službeno usvojeno krajem 2016. godine, Bluetooth 5.0 optimizira bežičnu tehnologiju kratkog dometa kako bi povećao svoje funkcionalnosti te se odmaknuo od komercijalne upotrebe krajnjih korisnika [10].

Poboljšanja uključuju dva puta veće brzine od prethodnih, četiri puta veći domet, osam puta veći kapacitet te znatno manju potrošnju energije. Neki Bluetooth uređaji mogu imati domete i preko 120 metara. Bluetooth 5.0 dakle služi kako bi jednostavno i efikasno, u suradnji s drugim bežičnom tehnologijama, uveo svijet u novo doma Interneta stvari. Jednostavan razvoj Bluetooth tehnologije prema godinama kad su izašle i novim značajkama koje su nudile prikazan je u tablici 1.

Tabela 1. Generacije Bluetootha i nove značajke koje su uvele

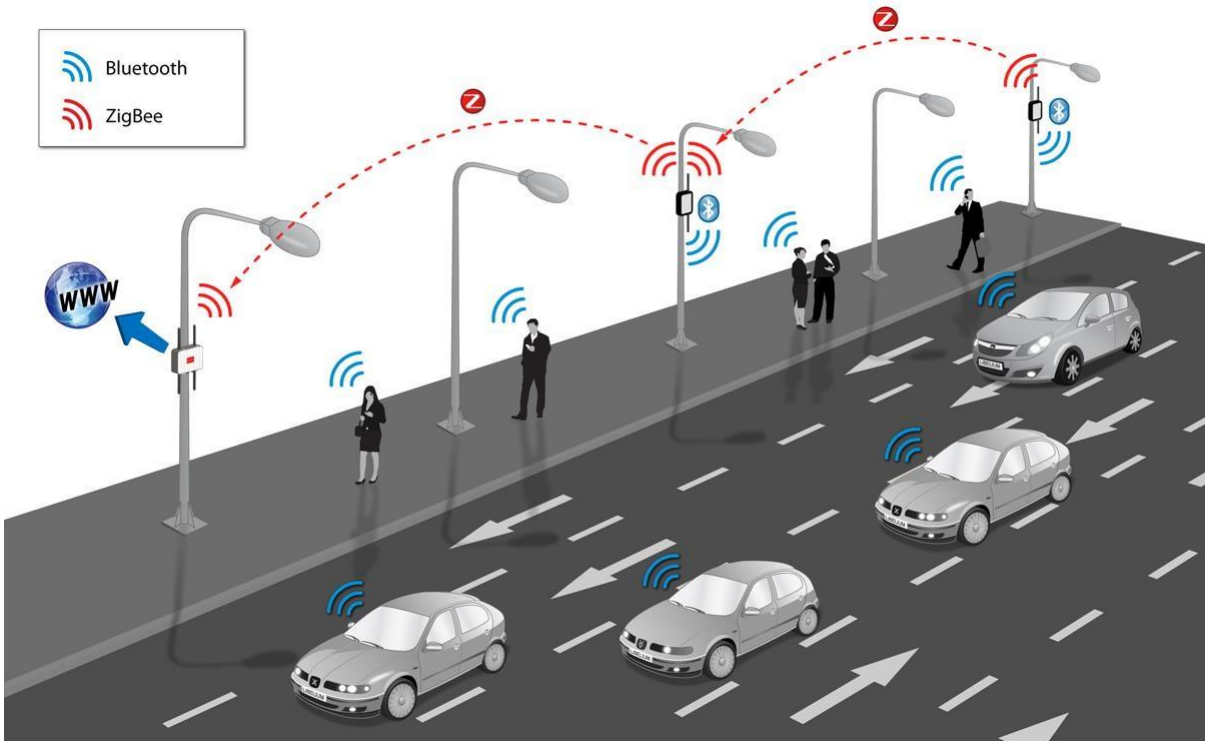
Godina uvođenja	Inačica	Značajke
2000	1.0	Brzine veće od mobilnog prijenosa podataka
2004	2.0	Uveden EDR
2009	3.0	Povećane brzine koristeći 802.11b
2010	4.0	Uveden BLE
2016	5.0	Povećane brzine, kapacitet i domet

Bluetooth tehnologija je pratila razvoj mobilnih tehnologija i uređaja, kao i korisničkih zahtjeva, ali zbog svoje izvedbe i načina na koji je prvobitno zamišljena nije se mogla nositi sa napretkom. Tako da je u relativno pravom trenutku okrenula svoj fokus na Internet stvari i svijet senzorike umjesto na komercijalne korisnike. Time je ostala relevantna i korisna u daljnjem razvoju tehnologije te je svojom prilagodbom za korištenje uz ostale bežične i žične tehnologije prolongirala svoj vijek i obogatila IoT koncept svojim doprinosom.

4. Detektori za detekciju vozila na osnovi Bluetootha

Krajem 20. stoljeća sve veći broj vozila i pješaka na prometnicama potaknuo je razvoj inteligentnih transportnih sustava. Sve veći zahtjevi za transportom ljudi i dobara dovodi do sve većeg opterećenja prometnih sustava, a tu se velikim dijelom odnosi na prosječnog čovjeka modernog doba koji preferira korištenje privatnog automobila ili nekog drugog prijevoznog sredstva te tako tako generira sve više prometa u sustavu ograničenog kapaciteta.

Inteligentni transportni sustavi pojavili su se kao odgovor na ovaj problem, a cilj im je riješiti zagušenja nastala prekomjernim korištenjem vozila. Pomoću njih moguće je ostvariti istinito i stvarnovremensko upravljanje prometom, bilo pružanjem transparentnih informacija direktno korisnicima ili indirektno, korištenjem tih informacija za upravljanje i regulaciju ne uključujući korisnika u proces. Svaki sustav upravljanja prometom mora imati neke od obilježja inteligentnog sustava te kao takav mora imati sposobnost brze adaptacije ovisno o situaciji na prometnici. Zbog toga je potrebno prikupiti velik broj informacija i podataka i obratiti ih u stvarnom vremenu kako bi se konačni rezultat analize mogao na vrijeme primijeniti. Dakle, novije metode upravljanja prometnim sustavima su zapravo samo nadogradnje na već postojeće, samo što se korištenjem računala taj cijeli proces ubrzava i optimizira. Na slici 4. je primjer prometnog sustava koji koristi Bluetooth.



Slika 4. Sustav prikupljanja podataka o prometu korištenjem BT detektora [15]

Radi toga su performanse takvog sustava bolje i učinkovitije, ali zahtijevaju znatne investicije i ulaganja u sve aspekte sustava. Neki osnovni kriteriji za upravljanje prometnim sustavom su protočnost, učinkovitost, udobnost, sigurnost te ekologija. Ovi kriteriji služe kao smjernice prilikom smišljanja i dizajniranja efektivnog prometnog sustava. Ovisno o situaciji neki od tih kriterija imaju prioritet nad drugima.

Tehnologija prikupljanja podataka o prometu kako bi se omogućilo upravljanje prometom može se podijeliti u tri skupine detektora. Prva vrsta detektora su oni koji detektiraju samo jednu točku ispred sebe, druga vrsta su oni koji detektiraju područje od točke do točke i treće grupa su detektori područja [14]. Bluetooth detektori, ovisno o izvedbi, mogu detektirati samo točku prema kojoj su usmjereni ili područje između dvije točke. Bluetooth tehnologija nije prisutna kod svakog sudionika prometa, ali se statističkom analizom može odrediti ponašanje prometa samo onima koji jesu. Tako na je na slici 5. Prikazana prometnica i označena su samo vozila koja imaju Bluetooth mogućnosti. Vidljivo je da nemaju sva vozila mogućnost korištenja Bluetootha, ali u nastavku rada opisano je kako se matematičkim i statističkim analizama taj problem može riješiti.

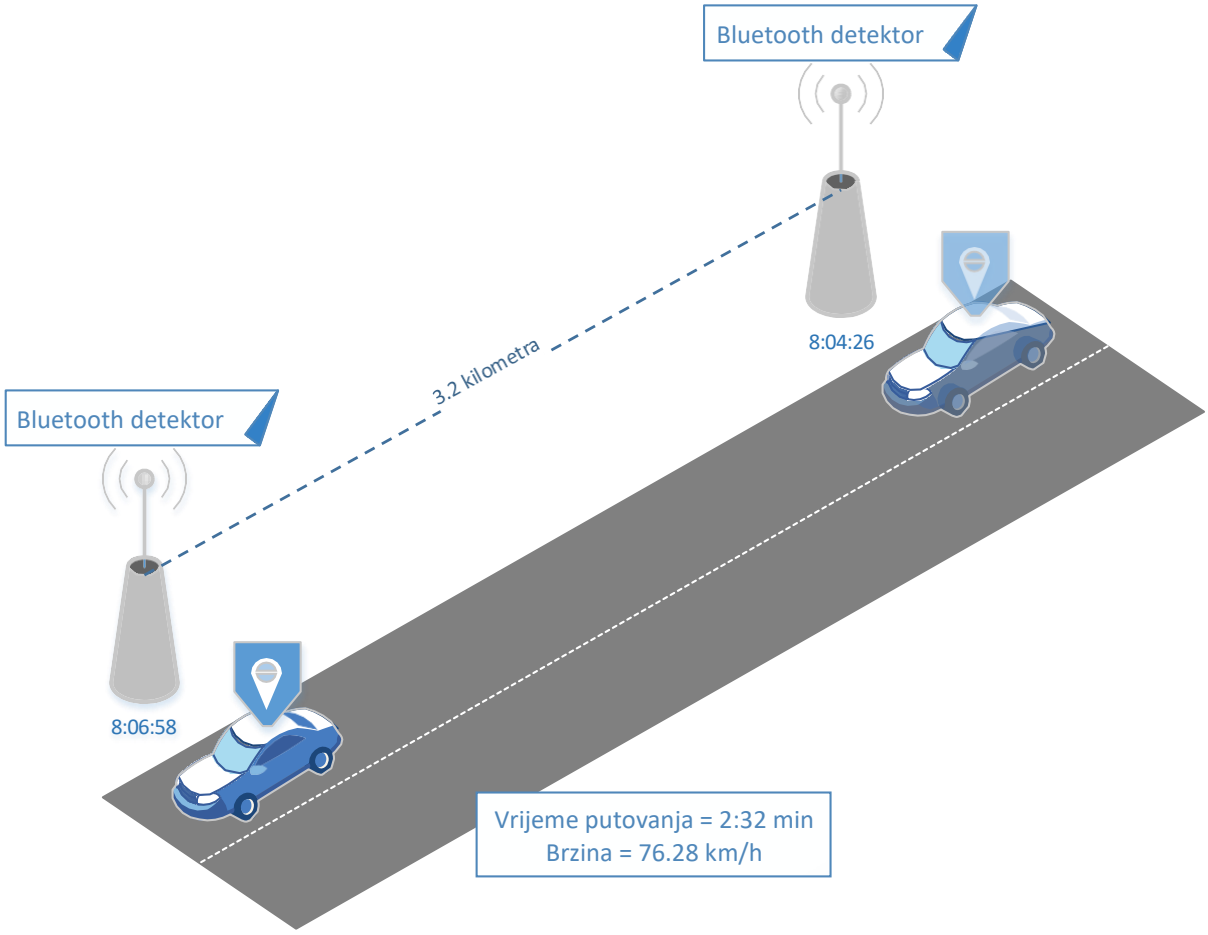


Slika 5. Primjer udjela vozila koja imaju BT mogućnosti u ukupnom prometu [16]

Ovisno o potrebama sustava moguće je koristiti jedan ili više detektora u raznim izvedbama kako bi se postigao željeni rezultat. Ovo poglavlje bavi se Bluetooth tehnologijom, ali u daljnjim poglavljima bit će spomenute i neke druge metode i tehnologije koje, same ili u kombinaciji, služe za još efektivnije i optimalnije upravljanje prometnim sustavom.

4.1 Način rada Bluetooth detektora

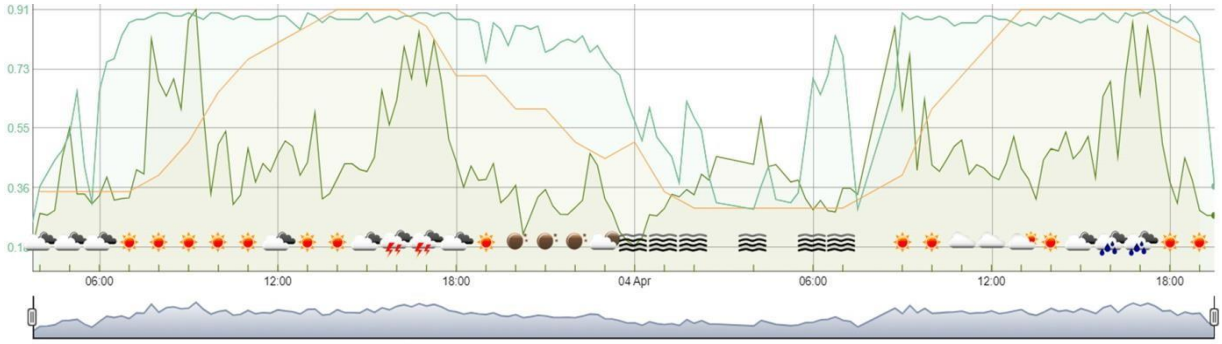
Bluetooth protokol koristi jedinstveni elektronički identifikator ili oznaku u svakom uređaju, tj. MAC adresu (eng. *Media Access Control address*). MAC adresa služi kao elektronička oznaka prilikom prijenosa podataka u mreži tako da elektronički uređaji mogu pratiti i bilježiti tko je tko u njihovoj okolini, a upravo se MAC adrese koriste kao osnova za dobivanje informacija o prometu. Razlog korištenja Bluetooth tehnologije u mjerenju prometnih parametara je što gotovo svaki korisnički elektronički uređaj danas koristi Bluetooth, npr. pametni telefoni, prijenosna računala, digitalne kamere i fotoaparati i dr. Kao primjer, slika 6. prikazuje način izračunavanja brzine kretanja vozila između dva detektora korištenjem vremena koje je potrebno vozilu da prođe od jednog do drugog detektora.



Slika 6. Primjer određivanja vremena i brzine putovanja između 2 BT detekotra

Stoga, primjena Bluetooth detektora u nadzoru prometa ima očigledne prednosti. Prvo je dakako niska cijene samih uređaja i komponenti što omogućuje korištenje većeg broja uređaja.

Oborine i loši vremenski uvjeti nemaju veliki utjecaj na same detektore te tako poboljšavaju pouzdanost i raspoloživost te smanjuje rizik od prestanka rada ili lošeg očitanja. Na slici 7. prikazani su vrijeme putovanja (zelena boja), kvaliteta signala (plava boja) i temperatura (narančasta boja) kao i vremenski uvjetu ispod grafa. Sa slike je vidljivo kako su glavni prometni sati ujutro od 7 do 10 sati i popodne od 15 do 18 sati. Ovo je primjer kako se Bluetooth detektori mogu koristiti kako bi se olakšalo upravljanje prometom.



Slika 7. Primjer očitanja Bluetooth detektora za 2 dana sa vremenskim uvijetima

Ipak, kod mjerenja Bluetooth-om postoji dosta problema koji još nisu u potpunosti otklonjeni. Pa se tako broj detektiranih vozila na kolniku između dva detektora razlikuje od broja detektiranih vozila na kolniku samo jednog. Najčešće je broj detektiranih vozila na jednom detektoru veći nego onaj između dva ili više detektora. Razlog je što se ne detektira svako vozilo jednako na svakom detektoru te su tako podudaranja manja od broja vozila koja su detektirana na pojedinom detektoru. Također, svako vozilo nije opremljeno Bluetooth uređajem te se ne može detektirati. Osim toga, kao i druge tehnike uzimanja uzoraka, vrijeme putovanja se ne može odrediti za baš svako vozilo, iz već navedenih razloga. U radu će se pomoću prikupljenih uzoraka što točnije pokušati odrediti prometni parametri te se eliminirati prometni entiteti za koje se smatra da nisu vozila.

Mreža Bluetooth detektora može se postaviti dužinom prometnice te se pomoću podataka prikupljenih u njoj može bolje razumjeti ponašanje prometa kao cjeline kao i pojedinih sudionika, te raditi predviđanja zbog optimizacije i upravljanja sustavom. Usklađivanjem tih kodova između senzora gradi se duboko razumijevanje obilježja putovanja, uključujući izvorište/odredište, putovanje i ponavljanje uzoraka putovanja.

Različite izvedbe i kombinacije mogu se koristiti kako bi se sustav optimizirao ovisno o zahtjevima. Pa tako, kao što ima različitih izvedbi postavljanja i korištenja detektora, ima različitih načina prikupljanja podataka s detektora te njihove analize i interpretacije. Ovisno o načinu postavljanja detektora i prikupljanju podataka mogu se koristiti različite analitičke metode kako bi se upravljalo sustavom, a neke od njih obrađene su u daljnjim poglavljima.

4.2 Mogućnosti u prikupljanju Bluetooth podataka

Korištena oprema sastoji se od dva DeepBlue Core detektora, R-model v2t, koja koriste Ethernet ili 3G/CDMA, a imaju mogućnost detekcije putem Bluetooth-a ili WiFi-a. Bluetooth detektira sve standarde i inačice na do 500 metara udaljenosti osjetljivošću od -104 dBm [17].



Slika 8. Lokacija i usmjerenost jednog usmjerenog Bluetooth detektora

Podatke je moguće slati na server preko FTP, SSH TCP sučelja ili se mogu spremati direktno na detektor te se kasnije preuzeti na lokaciji. Sam detektor ima mogućnost pohrane sirovih podataka nešto preko godinu dana, ako se uzme u obzir da radi svaki dan bez prestanka. Na slici 8. prikazane su lokacije oba Bluetooth detektora kao i radara te primjer detekcijske zone i dijagrama zračenja jednog detektora. Oba Bluetooth detektora su postavljena iznad podvožnjaka na Miramarskoj ulici u Zagrebu na visinama od oko 6 metara od kolnika. Za Bluetooth opremu nije potrebna tolika visina, ali su postavljeni tako zbog potreba radarskog detektora te onako kako je navedeno u njegovim specifikacijama.

Tabela 2. Primjer sirovog oblika podataka iz Bluetooth detektora

UNIX vremenska oznaka	MAC adresa	Prvi dio MAC adrese	Tip uređaja	Snaga [dBm]
1552562059	48:5a:b6:f0:a5:d8	48:5a:b6	340408	-65
1552562060	f8:28:19:a0:ee:fe	f8:28:19	340408	-78
1552562062	00:07:80:0a:f8:a8	00:07:80	340408	-42
1552562063	6c:8f:b5:f9:18:0d	6c:8f:b5	340408	-87
1552562069	74:95:ec:1d:8f:ec	74:95:ec	340408	-85
1552562070	48:5a:b6:f0:a5:d8	48:5a:b6	340408	-68
1552562070	f8:28:19:a0:ee:fe	f8:28:19	340408	-86
...	...	...	...	...

Svi podaci prikupljeni Bluetooth detektorom dolaze u obliku prikazanom na tablici 2. Vremenska oznaka je u formatu Unix te ju je potrebno pretvoriti u neki drugi lakše čitljvi format. Unix vremenska oznaka označava koliko je ukupno prošlo sekundi od 1.siječnja 1970. godine prema svjetskom standardiziranom vremenu ili UTC-u. MAC adrese označavaju pojedini Bluetooth uređaj koji je prošao detekcijskom zonom, a jedna MAC adresa može se pojavljivati više puta ovisno o tome koliko se uređaj zadržao u zoni. Prvi dio MAC adrese označava proizvođača opreme te se može koristiti kako bi se odredilo koji je uređaj u pitanju.

Iako se ovom metodom veliki broj uređaja može odrediti, ona nije pouzdana jer se neki proizvođači ne mogu pronaći, a neki proizvođači proizvode dijelove za druge. Tako se ova metoda pokazala nepouzdanom jer je nemoguće ustanoviti da li je uređaj od istog proizvođača kao i Bluetooth opremi u njemu te da li se u automobilskoj Bluetooth opremi koriste dijelovi od, recimo proizvođača mobilnih telefona. Primjer je prikazan na tablici 3. te su se radi toga koristile druge, jednostavnije i pouzdanije, metode. U tablici su prikazani proizvođači Bluetooth opreme koji su pronađeni prema MAC adresi te vrsta opreme za koju je pronađeno i potvrđeno da proizvode. Za tip uređaja vrijedi slično načelo kao i za već spomenuti prvi dio MAC adrese. Snaga izražena u decibelima u odnosu na jedan milivat, a predstavlja izmjerenu snagu detektiranog uređaja ovisno o njegovoj snazi odašiljača i položaju u detekcijskoj zoni. Ovaj parametar se također pokušalo koristiti u analizi, ali ga je, zbog nekonzistentnosti snage odašiljača uređaja koji prolaze kroz detekcijsku zonu i udaljenosti od detektora, nemoguće efektivno iskoristiti kao vjerodostojan pokazatelj u ovom istraživanju.

Tabela 3. Primjer tablice proizvođača Bluetooth opreme ovisno o MAC adresi

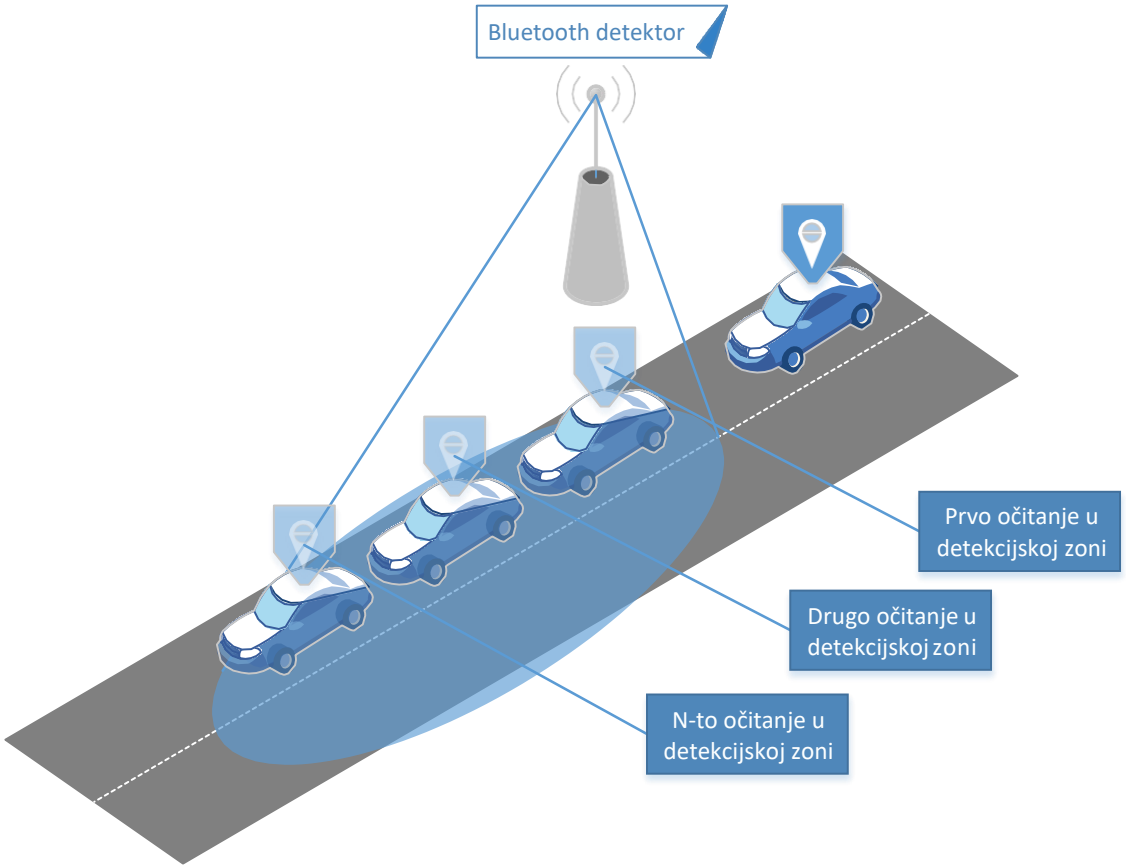
Proizvođač uređaja	Vrsta uređaja
Bluegiga Technologies Oy	Vehicle
Wideray Corp	Terminal device
Nokia Danmark A/S	Terminal device
Infineon Ag	Terminal device
Shanghai Simcom Limited	Vehicle
Microsoft Mobile Oy	Audio, Terminal device and vehicle
Alps Electric Co.,ltd.	Terminal device and vehicle
Teltonika	Vehicle
Bncom Co.,ltd	Vehicle
Xiaomi Communications Co Ltd	Terminal device
Head Strong International Limited	Audio
Temic Sds Gmbh	Vehicle
Laird Technologies	Audio and Terminal device
...	...

Podaci prikupljeni Bluetooth detektorima imaju visoku frekvenciju vremenske oznake. Kao što je već prikazano na slici 3., potrebna su najmanje 2 detektora postavljena na istoj ruti kako bi se izračunalo vrijeme i brzine putovanja. Međutim, postoje i veličine koje se mogu računati i korištenjem samo jednog detektora, kao što su broj pogodaka (eng. *Number of Hits*), vrijeme zadržavanja vozila (eng. *Dwell Time*) [6, 7].

Broj pogodaka $N_{\text{Detekcija}}$ označava koliko puta (k) je uređaj ili vozilo identificirano putem svog jedinstvenog identifikatora tj. MAC adrese, u jednoj detekcijskoj zoni. Koristi se kako bi se izolirali pojedini objekti iz detekcijske zone koji se pojavljuju više od jednom. Razlog je naravno da se vozila ili uređaji detektiraju više puta ako se zadržavaju u detekcijskoj zoni neko duže vrijeme, pa čak i ako ne prođu kroz nju dovoljno brzo [6, 7, 12].

$$N_{pogoci} = \sum_{i=1}^{k} MAC\ adresa_i\ [pogoci] \tag{1}$$

Na slici 8. prikazan je automobil koji prolazi kroz jednu detekcijsku zonu jednog Bluetooth detektora i kako može biti detektiran više puta, ovisno o svojoj brzini kretanja i frekvenciji uzimanja uzoraka podešenoj na samom detektoru.



Slika 9. Uzastopna očitanja u detekcijskoj zoni Bluetooth detektora

Slično kao i broj pogodaka, vrijeme zadržavanja (d_{wT}) mjeri se jednim Bluetooth detektorom te se izračunava iz vremenskih oznaka pojedinog vozila unutar detekcijske zone. Računa se tako da se usporede prva detekcija u zoni s posljednjom te se tako dobije razlika, tj. koliko je pojedini objekt proveo vremena unutar detekcijske zone. Način mjerenja vremena zadržavanja vidljiv je također sa slike 9. (6)

$$d_{wt} = T_{posljednja\,detekcija} - T_{prva\,detekcija}\,[s] \tag{2}$$

Prosječno vrijeme putovanja (eng. *Average Bluetooth Travel Time* – TT_{BT}), kako je već navedeno, računa se između dva detektora, a dobiva se usporedbom vremena na prvom detektoru s usporedbom vremena na drugom u vremenskom razdoblju. Vizualno već prikazano na slici 6.

$$TT_{BT}(P) = \frac{\sum_{i}^{n_p}(t_{i,B} - t_{i,A})}{n_p}\,[s] \tag{3}$$

Ove formule, u kombinaciji s drugima korištenim za podatke iz radara koje će biti navedene u narednim poglavljima, glavna su ideja i nit vodilja u provedenom istraživanju.

5. Detekcija vozila pomoću radara

Prije svega, potrebno je definirati osnovne pojmove vezane uz radarsku opremu i način rada korištenog uređaja te definirati metodologiju kako bi se lakše opisalo korištenje radara u svrhu detekcije vozila u prometu.

5.1 Osnovni pojmovi i metodologija radarske tehnologije

Akronim RADAR znači radio otkrivanje i mjerenje udaljenosti ili „*radio detection and ranging*“, a temelji se na upotrebi radio odašiljača. Radi na principu da odašiljač stvara impuls koji odašilje, a antena usmjerava valove u precizan snop. Kako se valovi kreću od odašiljača oni nailaze i presreću objekte na svom putu te se od njih reflektiraju, ako se radi o objektima koja imaju drugačija svojstva provodnosti elektromagnetskih valova.

Kada prijamnik primi vraćeni signal primljeni podaci se detektiraju, a zatim se pojačavaju kako bi se mogli interpretirati i prikazati. Ovakav opći način rada koriste gotovo svi radarski uređaji i tehnologije.

Radar, uz detekciju pokretnih objekata, detektira i stacionarne objekte kao što su ograde, prometni znakovi, separatori prometnih traka i dr. Kako nam oni nisu od interesa moraju se ukloniti iz izlaznih podataka. Radar dakle održava kartu smetnji (eng. clutter map), tj. šuma u kojoj se pohranjuju svi ti neželjeni objekti, a služi kako bi se oni mogli oduzeti od signala željenih objekata te tako ostaviti samo promjenjive vrijednosti za izvješće.

Radar mora neprekidno prilagođavati kartu šuma zbog mogućih promjena koje se dešavaju u okolini. Brzina podešavanja određena je vremenskom konstantom šuma (eng. *Clutter time constant* - CTC), a ona određuje koliko dugo treba prosječnom objektu da izblijedi u pozadinu, tj. da postanu dio šuma i više se ne prijavljuju kao valjani objekt [18]. Kada je karta šuma postavljena može se početi s mjerenjima, uz pretpostavke da je radarski uređaj postavljen na pravilan način. Više o postavljanju i načinima korištenja radara u svrhu detekcije vozila u idućem poglavlju.

5.2 Priprema radara za korištenje

Uređaj koji je korišten tijekom provođenja mjerenja je “Houston SpeedLane”, a prikuplja podatke neinvazivnom metodom korištenjem radarske tehnologije. Navedeni uređaj postavljen je na odgovarajuću visinu, prema specifikacijama za četiri prometna traka, od 6 metara [18]. Maksimalno može pokriti 8 prometnih traka, kod čega smjer kretanja vozila trakama nije bitan, tj. može se podesiti unutar softvera. [19] Najudaljeniji rub najudaljenije trake ne bi trebao biti dalje od 44 metra. Kako bi se podesili navedeni parametri postoji ugrađena kamera koja se može koristiti za poravnanje i kalibriranje.

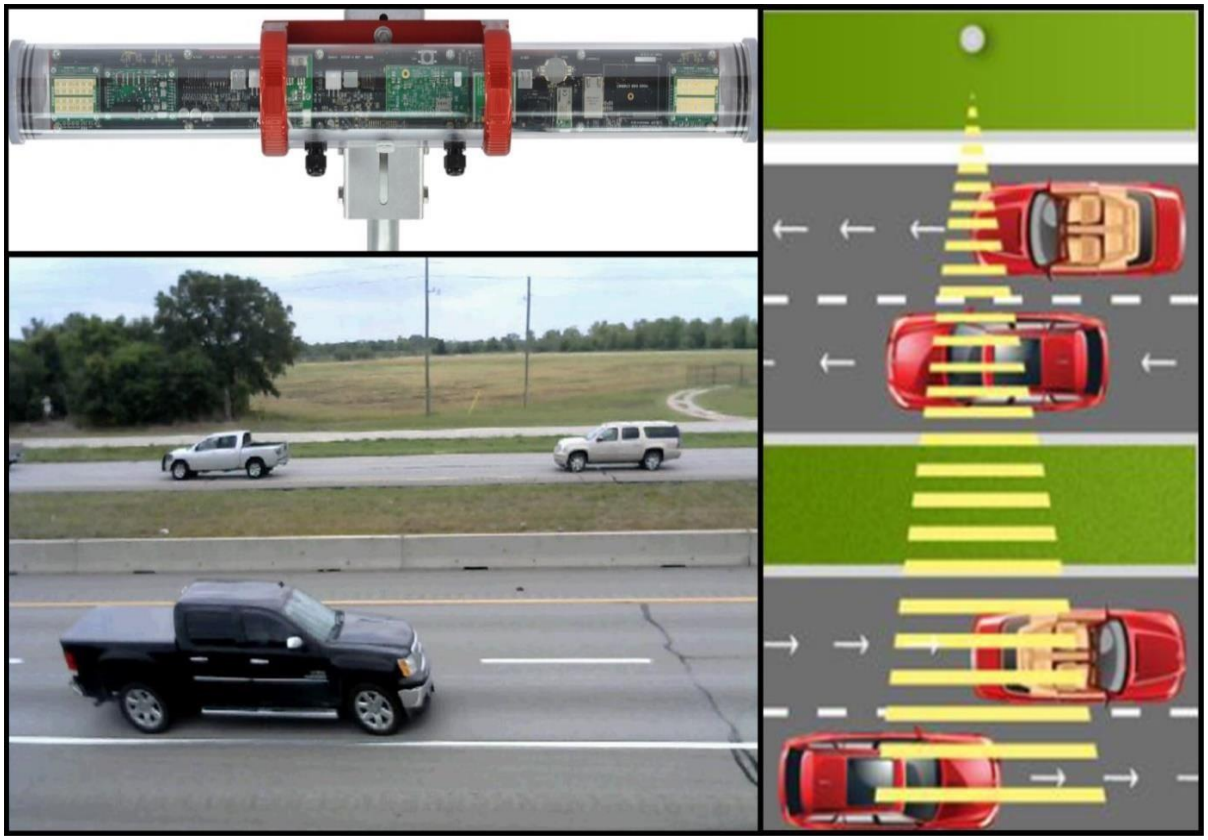
Kod ostavljanja potrebno je paziti na poravnanje s prometnim trakama kao i na nagnutost radara u odnosu na cestu. U tom postupku je kamera vrlo korisna i olakšava kalibraciju. Dakle radar bi se trebao postaviti tako da pokriva sve željene prometne trake te tako da su prometne trake paralelne s rubom video snimke. Na slici 10. je postavljeni radar na stupu u Miramarskoj ulici sa svim pripadajućim elementima sustava.



Slika 10. Postavljeni radar i BT detektor na stupu kod Miramarskog podvožnjaka

Zona detekcije radara ima ovalni oblik i definirana je konusom snopa (20ºx60º) i kutom udara na površinu ceste. Linije se ne smiju prekidati naglo na granici zone detekcije, nego se postupno sužavati. Tako se slabo detektirani objekti u blizini mogu promašiti, a otkriti se mogu snažni objekti izvan. Detekcija objekta koji prolazi određena je ovisno o materijalu, površini, obliku te kutu radarske zrake. Idealno očitanje je kod velikih ravnih metalnih površina postavljenih na točno 90º prema radarskom snopu [18].

Kod ravnih metalnih površine koje se nalaze pod kutovima, tj. nisu okomite na radarski snop, signal se ne odbija idealno te se snaga signala smanjuje. Također postoje i situacije gdje velike ravne metalne površine pod kutom od 90º prema radarskom snopu mogu izgledati povezano te tako stvarati savršeni reflektor te tako obično generiraju vrlo jak signal [18]. Na primjer, čest slučaj s velikim kamionima koji tako mogu zakloniti ostale objekte zbog svoje velike snage signala. Na slici 11. je Houston SpeedLane radar i prikaz slike prometnice nakon što se pravilno usmjeri.



Slika 11. SpeedLane radar te način usmjeravanja prema prometnici [18]

Nakon postavljanja i povezivanja na napajanje uređaj je potrebno uključiti te pričekati oko 45 sekundi kako bi se sustav podigao. Potom je potrebno pokrenuti Houston Radar Stats Analyzer ili Houston Radar Configuration Tool te se povezati s radarom. [19] Povezivanje može biti pomoću Bluetooth-a ili direktno putem serijskog porta. Prilikom očitanja, zraka iz radara ne završava naglo, pod specificiranim kutom, već se prema konvenciji određuju kutovi snopa polu-snage gdje snaga pada na polovicu vrijednosti od središta snopa [18]. To je razlog zašto se pojavljuje mogućnost da radarski detektor zabilježi vrlo snažne signale pomičnih i nepomičnih objekata izvan svog detekcijskog područja te ih ne prepozna kao smetnje i šumove već ih zabilježi kao ispravan pogodak.

Također je bitno spomenuti da svaki objekt ima različite karakteristike kod mikrovalne refleksije te da to utječe na količinu mikrovalne energije koju objekt vraća prema radaru. Prema tome se određuju parametri za pouzdanu detekciju, a prate nekoliko jednostavnih smjernica. Prvo je bitno zabilježiti kako bočne strane vozila obično imaju veći poprečni presjek od prednjeg dijela vozila, te kako stražnji dio vozila obično ima veći poprečni presjek nego prednji dio vozila. Bitno je također da veća meta vjerojatno ima veću refleksiju, pa tako kamion pruža snažniji povratni signal nego osobni automobil ili motocikl. Tu također utječe vrsta materijala, pa tako metal ima veću refleksiju nego nemetali, tj. nemetalima je ona zanemariva. Dakle, vozila vraćaju snažniji signal od ljudi i životinja. Kod metalnih površina koje su spojene pod kutom od 90° stvara se savršeni reflektor, a savršeno ravna metalna površina pod kutom većim ili manjim od 90° može slabije odraziti radarsku zraku i tako rezultirati slabom detekcijom objekta. Bitno je napomenuti da postoji fiksna granica do maksimalnog raspona detekcije u detekcijskom području te se zbog toga neće zabilježiti objekt izvan te granice bez obzira na to koliko je refleksija prema radaru jaka [18].

Kada se sve to podesi potrebno je podesiti kartu šuma. Ona se podešava tijekom postavljanja radara na lokaciju kada na prometnici nema vozila tako da se izbjegne čekanje na automatsko podešavanje šuma. Ovaj postupak je izuzetno koristan u slučajevima gdje je potrebno dugo vremena da bi se obavila inicijalizacija. Isto tako može se koristiti kako bi se počeo rad s relativno i preciznom kartom šuma.

Podešava se CTC, a vrijednosti mu mogu biti od 1 sekunde do 28 minuta. Kod prometa koji se kreće brže može se postaviti na niže vrijednosti, a kod prometa koji se kreće sporije ili je često statičan može se postaviti na višu vrijednost. Dakle prije mjerenja potrebno je podesiti CTC karte šuma te dobro očitati objekte koji izazivaju smetnje kako bi se mjerenja obavila što točnije. Vrijednosti CTC-a obično se postavlja na 5 do 10 puta dulje od maksimalnog očekivanog vremena zadržavanja stvarnih željenih objekata. Ako se postavi na prekratko vrijeme može rezultirati željenim objektima koji blijede u pozadini, a to rezultira lošom detekcijom. Kod mjerenja na autocestama i brzim cestama vrijednost CTC-a može biti od 15 sekundi do 5 minuta osim ako se ne očekuju zaustavljanja ispred radara na dulje vrijeme. Ako se očekuju zagušenja i kolone CTC se može postaviti na maksimalnu vrijednost od 28 minuta što bi trebalo biti dovoljno za većinu prometnih gužvi.

Zraka detekcije ne prekida se naglo na granici detekcijske zone već se postupno sužava. Tako slabi objekti u blizini granica mogu izbjeći detekciju, a snažniji objekti izvan mogu biti uhvaćeni. Snaga signala objekta definirana je radarskim poprečnim presjekom ili RCS-om i zavisna je o vrsti materijala, površini objekta, obliku te kutu prema snopu.

6. Prikupljanje i analiza prikupljenih podataka

Prije same analize potrebno je ustanoviti neke osnovne pojmove i postupke kako bi se mogli predstaviti analizirani podaci na razumljiv način. Prije svega potrebno je definirati prometni tok, tok prometa ili tok kretanja vozila, a on sadrži varijabilnosti te je heterogen i varira u vremenu i prostoru. Tok može biti neprekinut, ako se objekti unutar toka kreću neprekinuto i nema vanjskih prekida ili s prekidima ako se objekti unutar toka kreću s prekidima izazvanim vanjskim ili unutarnjim parametrima. Neprekinuti tok prometa je na autocestama i brzim cestama kao i na nekim segmentima dugih ruralnih autocesta. Tok prometa s prekidima je najčešće takav zbog signalizacije, znakova i vremenskih uvjeta. Glavna razlika između ta dva prometna toka je vrijeme i dostupnost prometnice. Kod neprekinutih prometnih tokova prometnica je cijelo vrijeme dostupna korisnicima, a kod toka prometa s prekidima dijelovi prometnice nisu dostupni zbog kontrole prometa - signalizacije, znakova zaustavljanja i prinosa i sl.

Prema tome niti jedan detektorski uređaj nije najbolji za sve situacije i upotrebe. Svaki uređaj ima svoja ograničenja i sposobnosti. Uspješna primjena i provedba mjerenja uvelike ovisi o pravilnom odabiru uređaja kao i o ostalim parametrima. Metoda odabira mora uzeti u obzir čimbenike kao što su vrste podataka koji se žele prikupiti, točnost podataka (u različitim prometnim i vremenskim uvjetima), način i mogućnost postavljanja i kalibracije, troškovi, pouzdanost te održavanje.

Jedan od glavnih razloga zašto jest tako je aspekt prometa koji se može provjeravati prikupljenim podacima i stvarno vremenskim praćenjem istih, a to je prometno zagušenje. Prometna zagušenja i kašnjenja koja su vezana uz njih utječu i na ekološka onečišćenja, kao i na stvaranje dodatnih troškova. Jedno od rješenja je povećanje kapaciteta prometnice, ali je ono najčešće skupo i neisplativo, a često i neizvedivo. Iz tog razloga bolje rješenje je praćenje prometa i prometnih parametara u stvarnom vremenu te pomoću njih regulacija prometa. Time se puno jeftinije i učinkovitije upravlja postojećim prometnim sustavom, a umjesto velikih ulaganja i infrastrukturnih izmjena koristi se bežična tehnologija.

Ovakav način regulacije ima velike koristi i kada ga koriste agencije za upravljanje u hitnim slučajevima - policija, vatrogasci i sl., te se tako mogu puno efikasnije kretati prometnom mrežom u stvarnom vremenu, a time i obaviti svoje djelatnosti brže i bolje.

Nadovezujući se na zagušenje, posebno važan parametar za praćenje je vrijeme putovanja te se za točno mjerenje koristi identifikacija vozila na različitim točkama transportnog sustava. Vrijeme putovanja jedan je od parametara koji se može mjeriti Bluetooth detektorima, a bilježi se za samo dio vozila u prometnom toku.

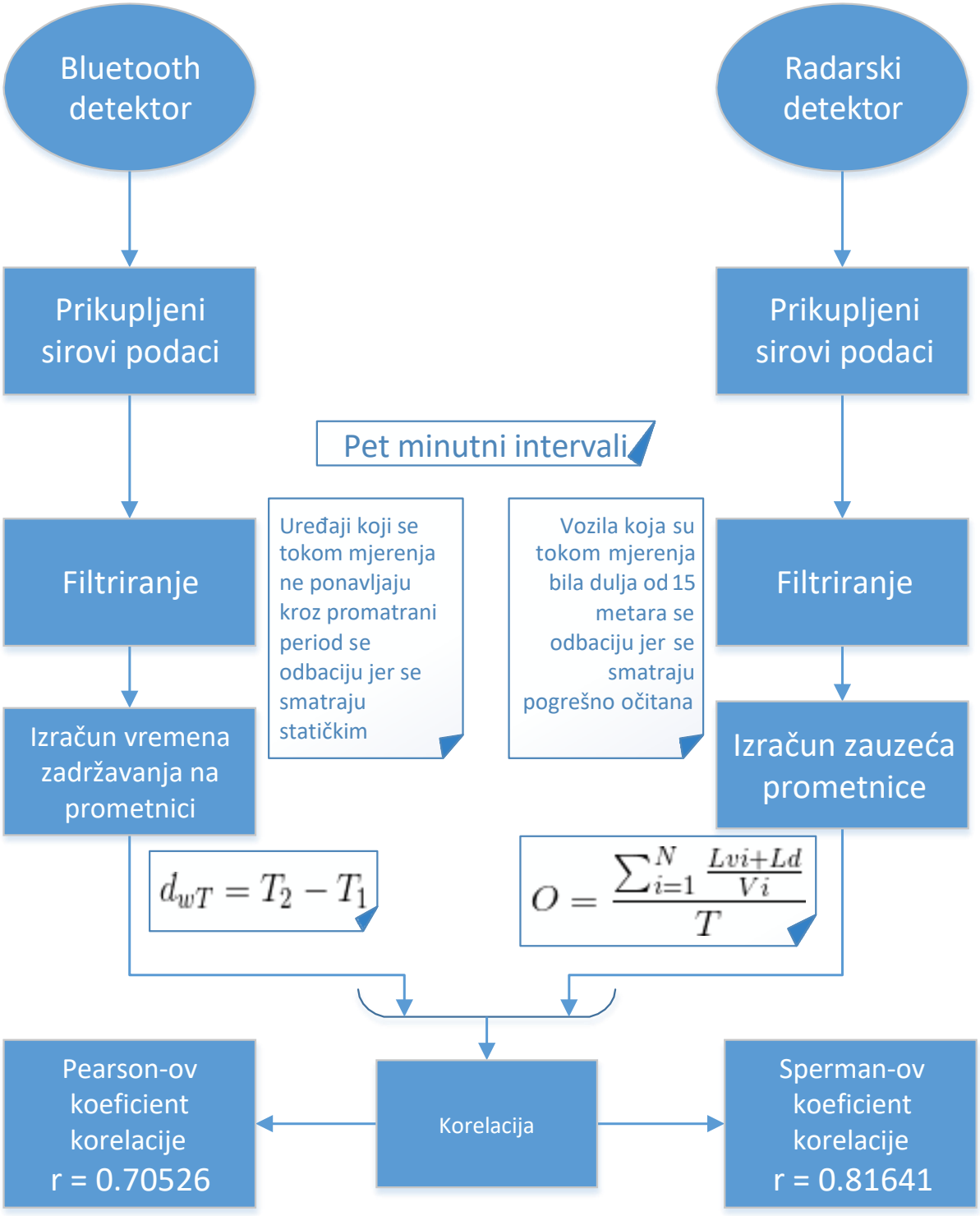
Kako bi se to bolje razumjelo provedeno je terensko prikupljanje podataka u sklopu ovoga rada na već navedenoj lokaciji. Pošto Bluetooth bilježi samo dio vozila, podaci prikupljeni radarskim detektorom korišteni su kao stvarni broj vozila koja su prošla detekcijskom zonom. Metode prikupljanja podataka vremena putovanja koje se koriste osim Bluetooth-a isto su temeljene na uzorkovanju, tj. uzimanju uzorka samo za dio vozila u dionici prometnice. Takvo vrijeme putovanja je zapravo izračunati prosjek, a računa se za svako vremensko razdoblje pomoću prikupljenih uzorka. Metode i tehnologije korištene u takvom postupku su ispitno vozilo, podudarnost registarskih pločica, metoda ekstrapolacije i sl.

U mjerenjima za ovaj rad koriste se Bluetooth i radarski detektor u svrhu ispitivanja korelacije između njihovih rezultata mjerenja. Bluetooth dio sustava sastoji se od dva detektora, glavnog kontrolera ili računala za prikupljanje i analizu podataka, antene za komunikaciju, napajanja, zaštitnog kućišta te solarne ploče za punjenje napajanja bez potrebe za demontažom. Radarski dio sustava je nešto jednostavniji te je učvršćen direktno na stup te koristi napajanje i solarnu ploču za napajanje, a jedino napajanje se nalazi unutar kućišta.

6.1 Analiza podataka

Koristeći radar i Bluetooth detektore određuje se korelacija između vrijednosti rezultata zauzeća prometnice izmjerenih radarom te vrijeme zadržavanja na prometnici izmjerenih Bluetooth detektorima. Cilj rada je dokazati i prikazati da li postoji korelacija između te dvije vrijednosti te, ako postoji, kakva je ona. Podaci korišteni u ovom radu su prikupljeni tijekom razdoblja od dva mjeseca, ožujka i travnja, 2019. godine.

Bluetooth detektor prikuplja podatke tako da pretražuje svoje područje pokrivanja, vidljivo prethodno na slici 4., te iz njega dobiva podatke o aktivnim Bluetooth uređajima. Podatke koje dobije pohranjuje u tablicu, prikazanu prethodno na slici 5., te pomoću MAC adrese identificira te uređaje. Uređaj koji se duže vremena zadržava u detekcijskoj zoni detektiran je više puta, sve dok je uređaj u dometu. U ovom radu svaki put kada je uređaj detektiran naziva se pogodak (eng. *Hit*). Cijeli proces opisan je detaljnije u poglavlju 4. Radar prikuplja podatke samo ispred sebe, tj. tamo gdje je usmjeren. Podaci prikupljeni od radara bitni su zbog usporedbe broja pogodaka i zauzeća prometnice. Dakle, proces analize podataka počinje nakon prikupljenih sirovih podataka oba detektora. Podaci iz oba detektora se filtriraju tako da se odbacuju svi pogotci gdje se vozilo zadržava više od pet-minutnog intervala zbog pretpostavke da su statična. Kod radarskih podataka odbacuju se i vrijednosti izmjerene dužine vozila preko 15 metara jer se smatra da je šum kao što je navedeno u nastavku rada. Proces rada prikazan je dijagramom na slici 12.



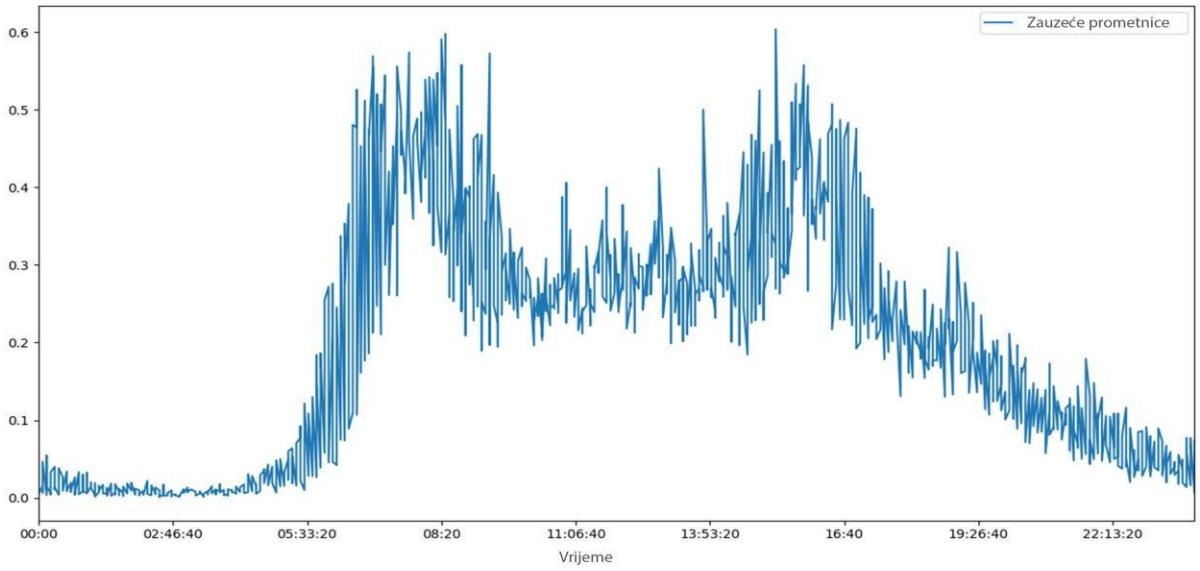
Slika 12. Blok shema postupka analize zadržavanja vozila i zauzeća prometnice

Prije filtriranja bilo je 5476 5-minutnih intervala, a nakon filtriranja korisnih je bilo 960 5-minutnih intervala koji se u daljnjoj analizi. Datumi koji su uzeti u analizu su 14. i 15.3. (četvrtak i petak), 29.3. (petak) te 1.4. i 2.4. (ponedjeljak i utorak). Ti dani su interesantni jer su početak i kraj tjedna te je pretpostavka da će se tu najbolje vidjeti vršni sati kao i ostali prometni sati.

Na slici 12. prikazane su dvije formule koje se koriste nakon filtriranja podataka kako bi se dobili traženi podaci. Podatci uzeti iz Bluetooth detektora koriste se za računanje vremena zadržavanja na prometnici, a iz podataka prikupljenih radarom računa se zauzeće prometnice prema ranije navedenim formulama, a prikazano je na slici 12. Iz rezultata dobivenih prethodnom analizom i korištenjem navedenih formula koriste se dvije zasebne metode dobivanja koeficijenta korelacije kako bi se pokušalo dovesti u vezu rezultat mjerenja Bluetoothom te rezultat izmjeren radarom. Detaljnije opisan proces dovođenja tih vrijednosti u korelaciju opisan je u idućem poglavlju.

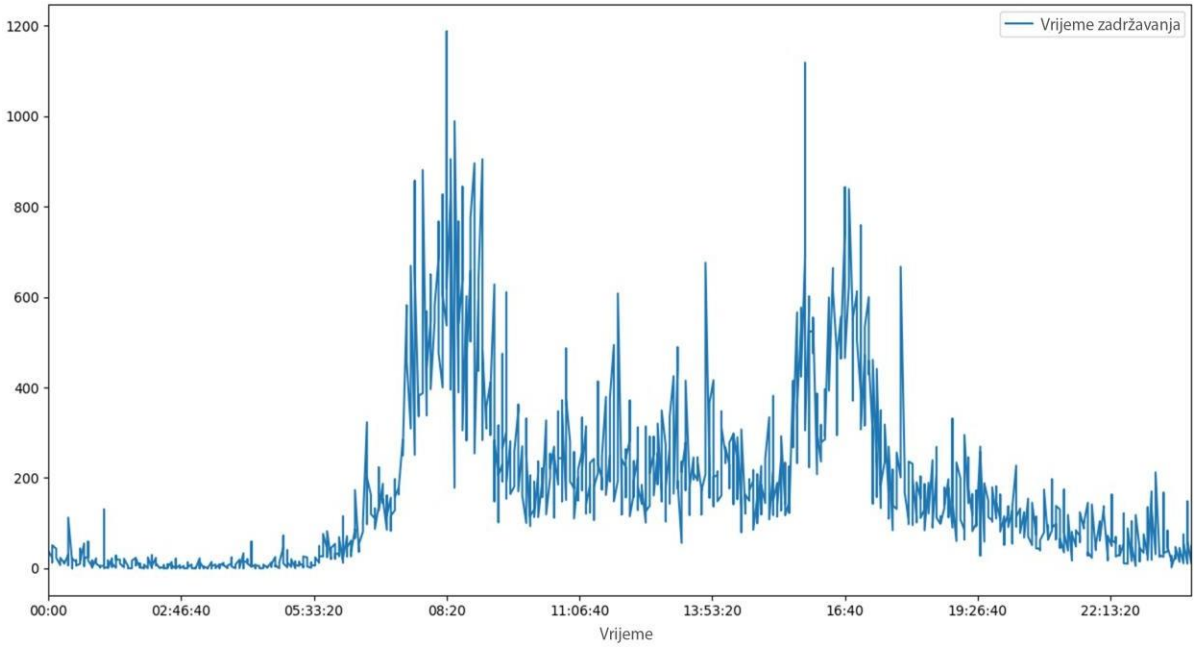
6.2 Koeficijent korelacije prikupljenih podataka

Iz radarskih podataka može se prikazati grafički zauzetost prometnice tako da se na x-os stavi doba dana, a na y-os zauzeće prometnice koja se nalazi u vrijednostima od nula do jedan - od nula do sto posto. Iz grafa na slici 13. vidljivo je kako je prometnica najviše zauzeta u vršnim satima dana, tj. u vrijeme kada ljudi idu i vraćaju se s poslova. Ta vremena su od šest do 10 ujutro i od dva do šest popodne. Tijekom dana, u razdoblju od deset ujutro do dva popodne, promet je relativno konstantan te počinje opadati tek nakon završetka popodnevnog vršnog sata.



Slika 13. Koeficijent zauzeća prometrane prometnice u periodu vremena

Podacima izmjerenim Bluetooth detektorima grafički se može prikazati vrijeme zadržavanja vozila na prometnici, tako da se na x-osi nalazi doba dana, a na y-osi vrijeme zadržavanja vozila na prometnici u sekundama u pet-minutnim intervalima kao što je prikazano na slici 14.



Slika 14. Vrijeme zadržavanja na promatranoj prometnici u periodu vremena

Iz grafova na slikama 13. i 14. vidljivo je kako se zauzeće prometnice i zadržavanje na prometnici ponašaju slično ovisno o dobu dana. Iz toga se može zaključiti kako se najviše vozila pojavljuje u razdobljima vršnih sati kao i da se najviše čeka prilikom istih sati. Vidljiva je korelacija vremena čekanja s brojem vozila. Kako bi se potvrdili vizualni zaključci upotrebljene su i korelacijske analize. Koriste se kako bi se Bluetooth detektori mogli potvrditi kao alat koji se može koristiti kao dodatan izvor informacija u upravljanju i nadziranju prometa.

Prvo je korišten Pearsonov koeficijent korelacije koji koristi linearnu funkciju za opisivanje odnosa između varijabli, a *x* i *y* su varijable za koje se računa koeficijent korelacije. [23] Zatim je korišteno Spearmanov koeficijent korelacije koji koristi monotonu funkciju kako bi odredio odnos dvije varijable. [24] Obje korelacije daju vrijednosti između [-1 i 1], gdje vrijednosti veće od nule označavaju pozitivnu korelaciju, a vrijednosti manje od nule označavaju negativnu korelaciju. Ako je vrijednost rezultata jednaka nuli znači da ne postoji korelacija između varijabli. Što je koeficijent korelacije veći to je veza između varijabli jača, a što je manji - do nule, to je veza slabija [25].

$$r_p = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (4)$$

$$r_s = \frac{6\sum {d_i}^2}{n(n^2 - a)} \quad (5)$$

Rezultati, interpretacija rezultata te zaključci analize detaljnije su objašnjeni u nastavku rada te su potkrijepljeni grafovima i tablicama.

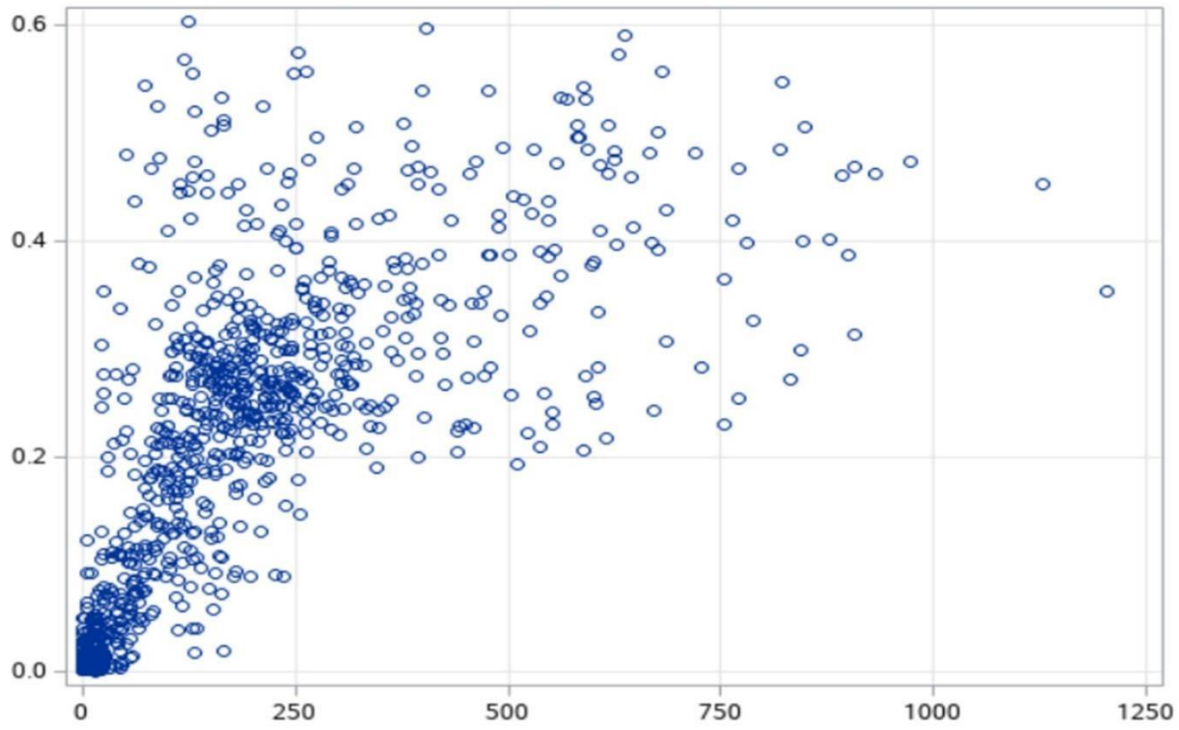
6.3 Interpretacija rezultata

Primjenom Pearsonovog i Spearmanovog koeficijenta korelacije vidljivo je, iz rezultata, da postoji jaka korelacija. Na tablici 4. prikazani su koeficijenti koji iznose 0.70526 za Pearsonovu i 0.81641 za Spearmanovu korelaciju.

Tabela 4. Prikaz rezultata korelacijske analize [14]

Broj filtriranih intervala [N]	Pearsonov koeficijent korelacije	Spearmanov koeficijent korelacije	
960	0,70526	0,81641	Vrijeme zadržavanja na prometnici (BT)
	Zauzeće prometnice (radar)	Zauzeće prometnice (radar)	

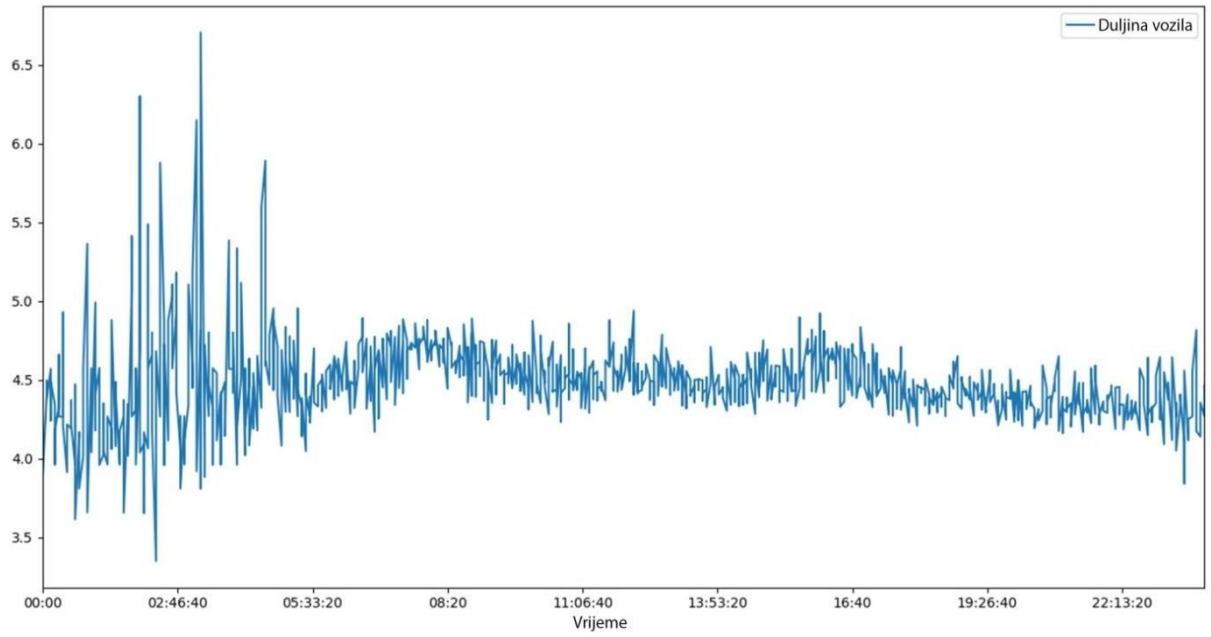
Rezultati se mogu prikazati grafički na slici 15., gdje graf prikazuje rasipanja za vremena zadržavanja na prometnici u sekundama na x-osi izmjerena Bluetooth detektorom te zauzeća prometnice u postotcima izmjerenih radarom na y-osi. Rasipanje do 40% zauzeća prometnice i 275 sekundi vremena čekanja je prilično slabo te tako dokazuje veliku korelaciju. Veće rasipanje je kod vršnih sati jer je broj očitanja bio nešto manji zbog pogrešaka koje se nastajale zbog interferencije velikog broja Bluetooth uređaja i velikog broja vozila koja uzrokuju šum na radaru kao i nemogućnosti radara da detektira vozila koja se kreću pre sporo ili stoje.



Slika 15. Grafički prikaz korelacije/rasipanja za dobivene razultate

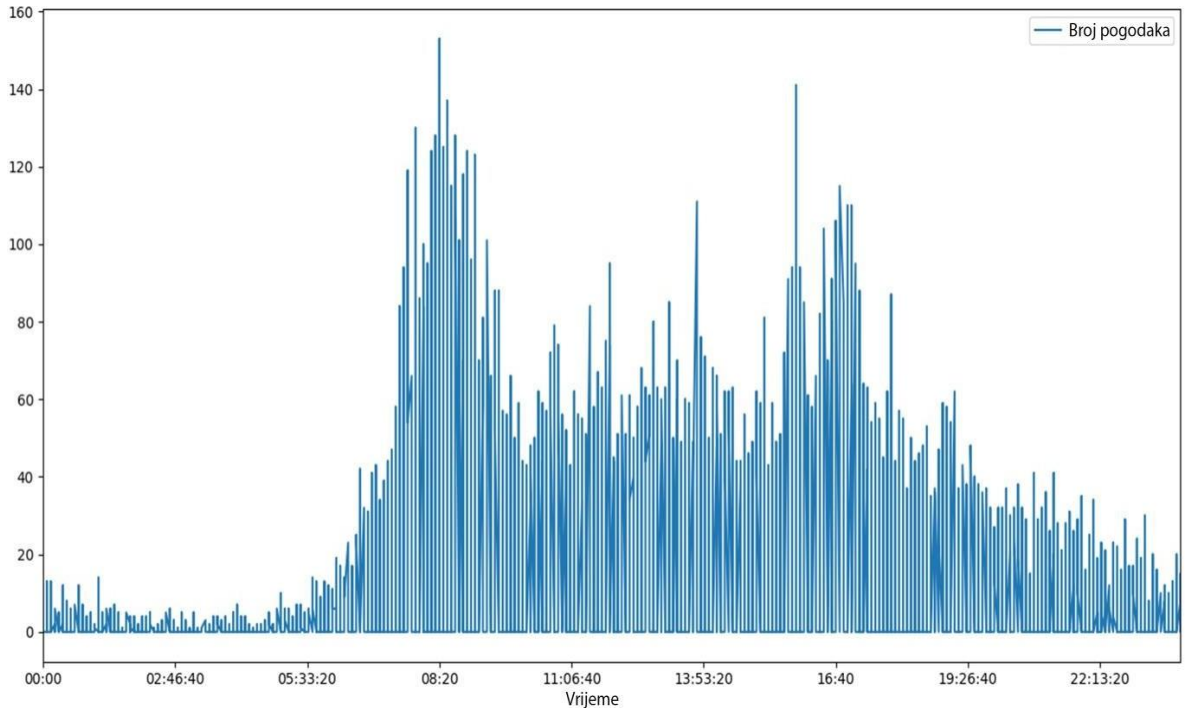
Pearsonov koeficijent korelacije od 0.71 i Spearmanov koeficijent korelacije od 0.82 ukazuju na pozitivnu i snažnu korelaciju, a time potvrđuju da se Bluetooth tehnologija može i trebala bi se koristiti u promatranju prometa zbog prednosti u cijeni nad radarskom tehnologijom. Razlike i pogreške moguće su jer Pearsonov koeficijent korelacije pokazuje je li odnos između podataka isključivo linearan, a Spearmanov kolika je monotonost, ali posebno zbog pogrešaka radara koje su već spomenute, ali čak i zbog nemogućnosti detekcije onih vozila koja se kreću pre brzo. To je još jedan razlog zašto je Bluetooth detektor potencijalno bolje rješenje u promatranju prometa. Iz tog razloga vrijeme zadržavanja na prometnici u vrijeme prometnih zagušenja veće je kod Bluetootha nego radara, a time utječe na Pearsonov koeficijent korelacije više nego na Spearmanov.

Iz filtriranih podataka očitanih radarom postoje i još neki zanimljivi zaključci. Jedan od njih je prosječna duljina vozila na promatranoj prometnici kroz doba dana. Tako je ne slici 16. prikazano kako se ponaša duljina vozila ovisno o dobu dana, a prema njoj se može zaključiti kako se, od pet i trideset ujutro do jedan u noći, promet sastoji većinskim dijelom od automobila. Od jedan do pet i trideset automobilski promet se smanjuje, a povećava se kamionski.



Slika 16. Prosječna duljina vozila kroz vrijeme

Ovakve vrste informacija se mogu koristiti kako bi se lakše predvidjelo opterećenje i vrsta vozila na prometnici te kako bi se pomoću tih informacija bolje upravljalo i usmjeravalo promet. Isto tako, ovakva mjerenja i ispitivanja trebala bi se provoditi prije dizajniranja i izgradnje novih prometnica ili povećavanje kapaciteta na postojećim. U istu svrhu se može koristiti i najjednostavniji oblik podataka prikupljen Bluetooth detektorima, a to je broj pogodaka ili broj uređaja koji su detektirani u detektorskoj zoni prikazan na slici 17.



Slika 17. Broj pogodaka izmjeren Bluetooth detektorom

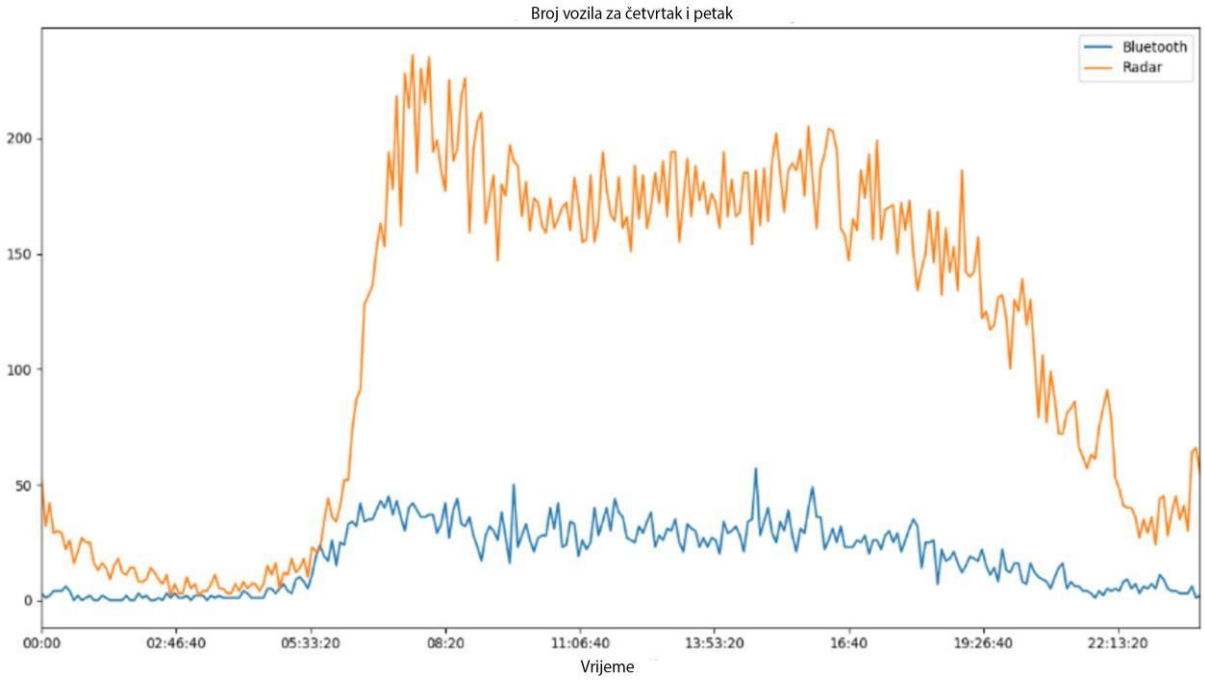
Na slici je prikazan graf s filtriranim brojem pogodaka, kako bi se izbjegli oni pogodci koji se ponavljaju, tj. MAC adrese uređaja koje se pojavljuju više od jednog puta u detekcijskoj zoni se gledaju kao jedan pogodak. Takav filter omogućuje da se kao pogoci ne uzimaju isti uređaji više puta, već samo jednom unutar vremenskog intervala u kojem se pojavljuje. Ako se ponovno pojavi u kasnije vrijeme opet se uzima kao pogodak, a svako iduće pojavljivanje u detekcijskoj zoni u istom intervalu uzima se kao jedan pogodak. To je jednostavnije grafički prikazano na slici 8.

Broj očitanja Bluetooth detektora zabilježen od 14.03 do 15.03 (četvrtak i petak) te od 22.03 do 25.03.2019 (petak do ponedjeljka) je 84.767 zapisa. Iz tih podataka može se izvući broj vozila za radne i neradne dane, a nalazi se u tablici 5.

Tabela 5. Broj vozila za radne i neradne dane

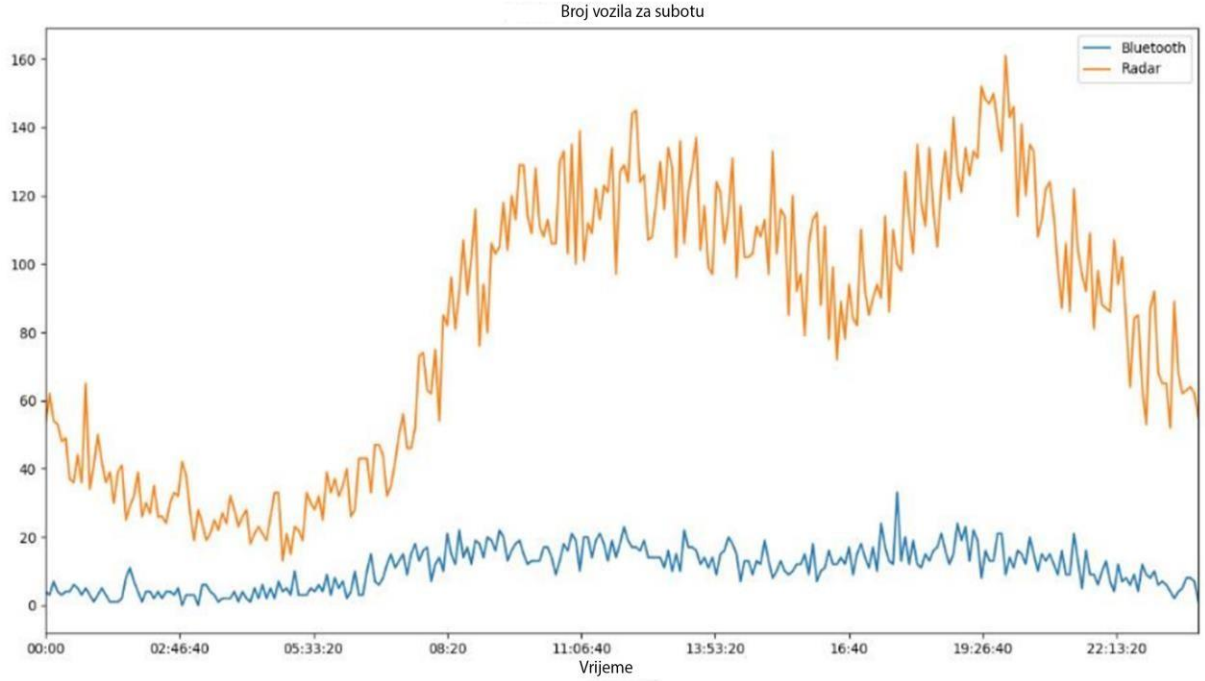
Dani	Od četvrtka do petka	Subota	Nedjelja
Broj vozila (N**)**	32,379	23,874	17,207

Ovi se zapisi mogu uzeti kao skup za usporedbu ponašanja prometa radnim i neradnim danima kao što je prikazano na slikama 18., 19. i 20. [14]

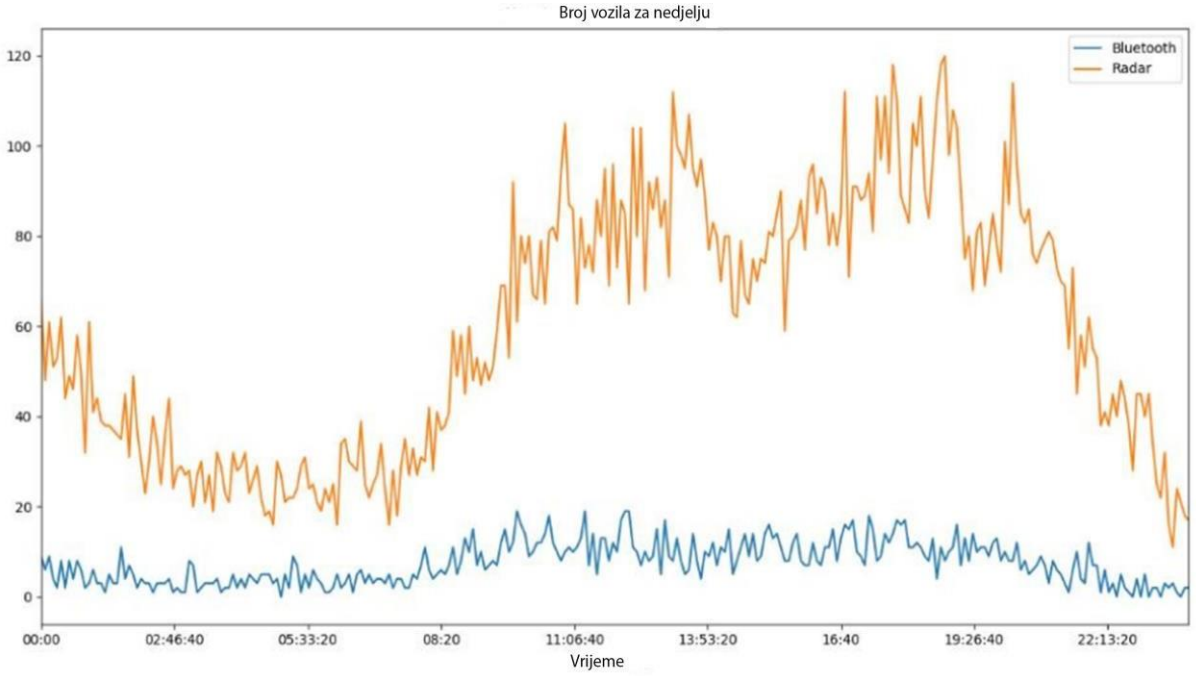


Slika 18. Broj vozila izmjeren u 5-minutnim intervalima za četvrtak i petak [25]

Već iz slike 116. je vidljivo kako je razlika u broju vozila koja imaju Bluetooth i onih koja nemaju velika, ali usprkos tome korelacijska analiza pokazala je kako se i taj broj može uzeti kao mjerodavan za određene pokazatelje. Ipak, kada je riječ o broju vozila onda je radar daleko pouzdaniji jer još uvijek sva vozila ne posjeduju Bluetooth, ali to bi se moglo promijeniti u budućnosti.



Slika 19. Broj vozila izmjeren u 5-minutnim intervalima za subotu [25]



Slika 20. Broj vozila izmjeren u 5-minutnim intervalima za nedjelju [25]

Iz prikazanih podataka vidljiva je velika raspršenost između podataka koja nastaje kada se radi s heterogenim podacima. [25] Prije bilo kakve daljnje analize iz grafova je vidljivo kako se broj vozila smanjuje svaki dan, od petka do nedjelje. Pa tako u petak radarski očitan broj vozila iznosi oko 200 vozila u nekakvom vršnom satu, u subotu on iznosi manje, oko 160, a u nedjelju iznosi najmanje, oko 120. Kod Bluetootha taj broj iznosi oko 50 za petak, oko 30 za subotu i oko 20 za nedjelju. Iako je broj vozila s nekom izvedbom Bluetootha vrlo mali, vidljivo je, kao i iz podataka prikupljenih radarom, da je broj vozila na prometnicama manji neradnim danima.

Iz prikupljenih podatak se mogu odvojiti podaci prikupljeni Bluetoothom te se korištenjem Tukey-ove metode ograda i Median metode može vidjeti postotak tih vozila u broju vozila zabilježenih radarom. Metoda zahtjeva da se uzimaju konstante k koje mogu biti 1,5 ili 3. Za k=1,5 i Turkey-ova metoda ograda i Median metoda rezultiraju s istim postocima prikazanim u tablici 6. Kada se uzme da je k=3 onda Turkey-ova metoda ograda rezultira malo drugačijim vrijednostima.

Tabela 6. Postotak vozila opremljenih Bluetoothom u ukupnom broju [25]

Metoda filtriranja	Četvrtak i petak	Subota	Nedjelja
Turkey-ova metoda ograda (*k*=1,5)	12.19 %	10.43%	10.00%
Medianovo pravilo (*k*=1,5)	12.19 %	10.43%	10.00%
Turkey-ova metoda ograda (*k*=3)	12.5%	11.2%	10.77%

Dakle, primjenom ovih metoda ustanovljeno je da je postotak vozila koja su opremljena Bluetoothom ili koriste neki Bluetooth uređaj od 10% do 12,19%. Može se ustanoviti da je Bluetooth kao detektor vozila u prometu vrlo stabilan i pouzdan iako je broj vozila koja se mogu detektirati njime relativno malen.

Korištene metode filtrirale su statičke Bluetooth uređaje, odnosno one koje imaju mnogo veću vrijednost broja pogodaka od ostatka uzorka. Problem nastaje kada se uzme u obzir pješaka i biciklista, jer na primjer, vozilo koje prođe više puta kroz detekcijsku zonu ima isti broj pogodaka kao i pješak ili biciklist koji jednom prolazi kroz istu zonu. Taj je problem riješen korištenjem ovih metoda tako što se, za k=1,5, uređaji s brojem pogodaka većim od 6 odbacuju jer se smatra da se zadržavaju u detekcijskoj zoni duže od jedne minute. Tu se zasigurno odbacuju i vozila koja se nalaze u prometnim zagušenjima, ali kako bi se to riješilo potrebno je osmisliti optimalni postupak koji će uzeti u obzir smjer kretanja vozila kao i različite rute. U postupak bi trebalo uvrstiti i trendove u kretanju i ponašanju pješaka i biciklista kako bi se i oni mogli izdvojiti. Takav postupak mogao bi koristiti više od jednog detektora i neke druge metode detekcije i analize [25].

7. Predviđanja i mogućnosti razvoja prometnih upravljačkih sustava

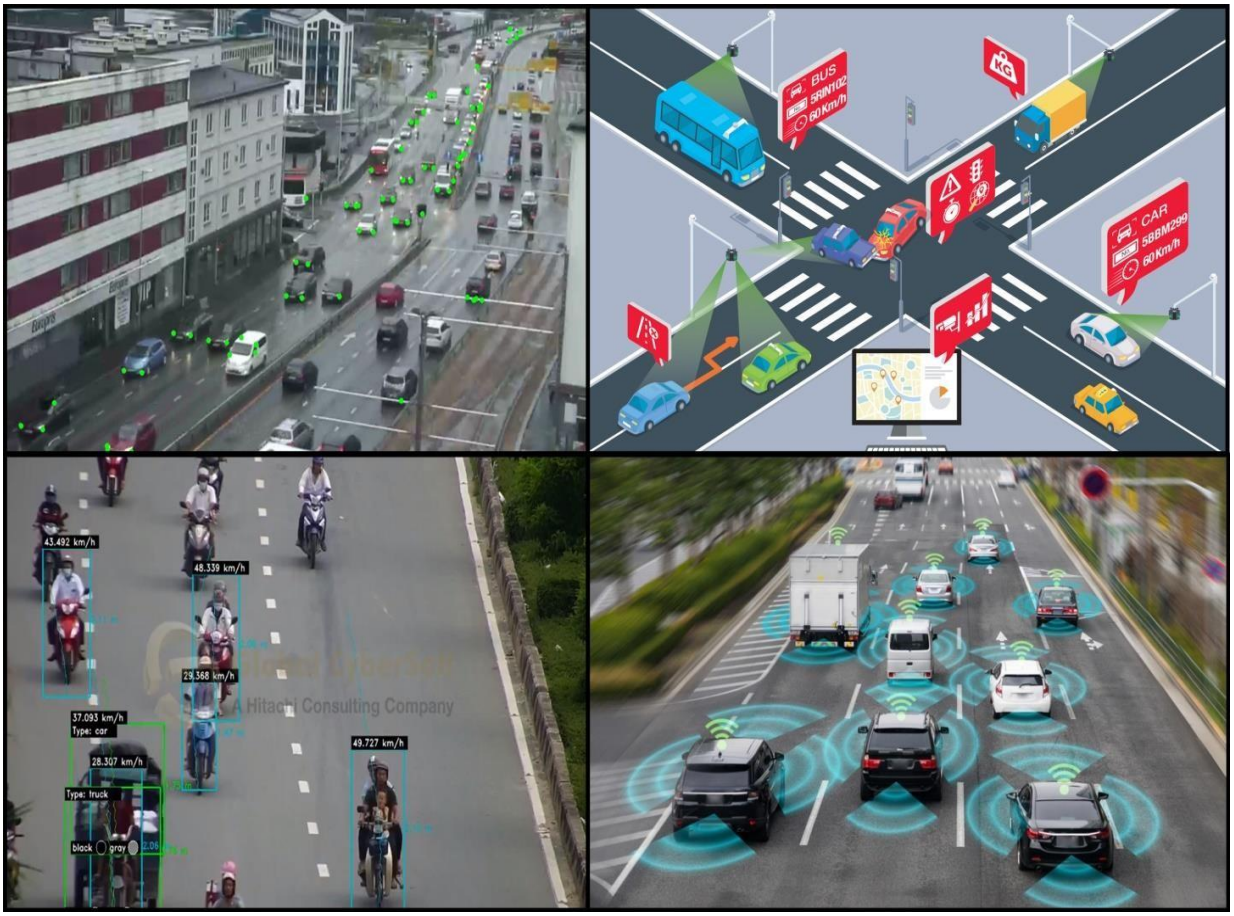
Većina provedenih istraživanja svode se na prikupljanje prometnih podataka Bluetooth tehnologijom na autocestama. Ipak, postoje istraživanja u kojima se ona koristila u svrhu koja nije samo mjerenje vremena putovanja ili brojanje vozila na prometnici. Jedno od njih je informiranja putnika u takozvanim naprednim sustavima informiranja putnika ili ATIS (eng. Advanced Traveller Information System) [26]. Bluetooth tehnologija i podaci koji se njome mogu prikupiti može se koristiti za puno više od samog praćenja prometa, kao na primjer u naprednim sustavima upravljanja prometom ili - ATMS (eng. Advanced Traffic Management Systems) [27].

Ipak, primjene velike količine podataka kao i naprednih podataka i informacija za upravljanje prometom su mnogobrojne te se ne mogu sve uključiti u samo jedan rad. Rezultati ovog rada samo potvrđuju da je Bluetooth tehnologija itekako korisna za korištenje u prikupljanju u analizi podataka prometnih sustava. To potvrđuje korelacijska analiza kao i analiza udjela Bluetooth uređaja u ukupnom broju detektiranih vozila radarom. Vidljivo je da samo oko 10% do 12% vozila ima Bluetooth uređaj te se pomoću njega može detektirati, ali korelacijom je dokazano kako je tako mali postotak dovoljan da se obavi predviđanje određenih prometnih parametara. Analiza i filtriranje provedeni u ovom radu su vrlo grubi, a u budućim istraživanjima taj se postupak može rafinirati i optimizirati kako bi uključivao pješake, bicikliste, trendove ponašanja sudionika prometa, smjerove kretanja pojedinih entiteta, detekcije više Bluetooth uređaja unutar istog vozila i slično. Ali provedenom analizom u ovom radu dokazano je da se Bluetooth tehnologija može koristiti kao dio automatiziranog sustava za prikupljanje podataka u prometu te kako je sustav relativno precizan i stabilan. Sustava kao što su već navedeni sustavi informiranja putnika ili sustavi upravljanja prometom. Potreba takvog sustava je ipak veća od samog prikupljanja i analize prikupljenih podataka. Svaki takav sustav mora biti umrežen i povezan kako bi komunicirao međusobno, nekim udaljenim računalom i/ili serverom. Za to se najčešće koristi ZigBee ili WiFi [15].

Problemi mogu nastati kao pogrešna očitanja, pa tako neka istraživanja [28] stavljaju dnevnu stopu pogreške na oko 10%, ali taj postotak se smanjuje na 3,5% nakon već 3 tjedna. Dakle, u tri tjedna ona se smanjuje skoro trostruko. Također se javlja problem u mogućnosti zastarijevanja i prestanka upotrebe. Već danas se Bluetooth u uređajima pokušava bolje osigurati tako da se ograniči i smanji udaljenost na kojoj je uređaj vidljiv [28]. Zato je značajno bolje koristiti više tehnologija, kako bi se obogatili prikupljeni podaci te mogla koristiti ostala tehnologija ako jedna zakaže. Iako mogućnost zastare ili nemogućnosti korištenja tehnologije u tu svrhu postoji, Bluetooth se kao moderna tehnologija tek počela koristiti u svijetu senzorike.

Sve veći broj Bluetooth uređaja u svakodnevnom korištenju te u prometnim entitetima povećava potencijal Bluetooth tehnologije u upravljanju prometnim sustavima te integracije te tehnologije u inteligentne transportne sustave. Već se koristi kod inteligentnih transportnih sustava prilikom dizajniranja „pametnih“ gradova u zemljama u Aziji i nekim zemljama svijeta. Inteligentni transportni sustavi predstavljaju neizbježan dio „pametnih“ gradova te su kao sustavi upravljački i komunikacijski, a služe kao nadogradnja na postojeće prometne i transportne sustave [15].

Time se postiže znatno veća efikasnost i optimalnost upravljanja prometnim sustavima kao i znatno veća sigurnost, udobnost te optimalo vremena putovanja i utjecaj na okoliš. Glavna svrha inteligentnih transportnih sustava ipak je optimizirati vremena putovanja te osigurati što bolju sigurnost sudionicima prometnog sustava tako da oni taj prelazak ne osjete, ali da primijete razlike u gore navedenim značajkama i parametrima. Kako je teško reći da je nešto savršeno za sve, tako postoji velik broj različitih izvedbi sustava za praćenje i analizu prometa.

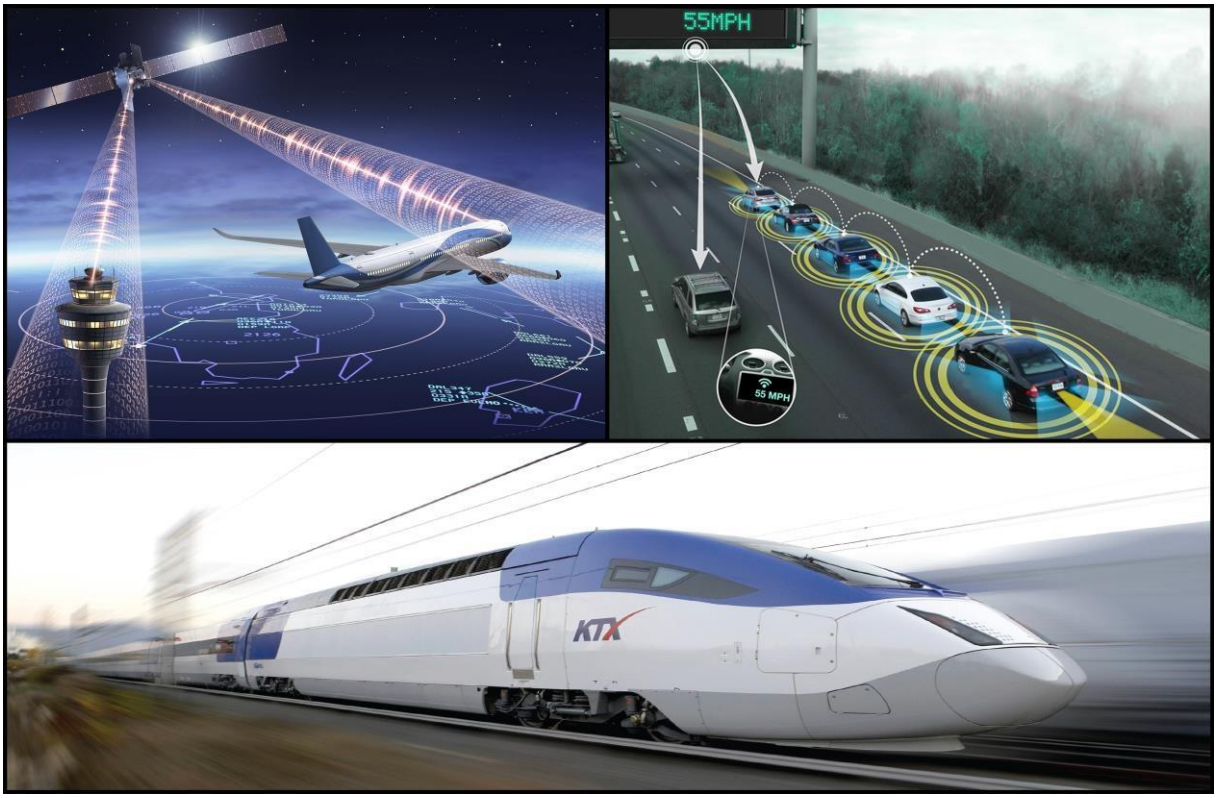


Slika 21. Načini upravljanja prometnom korištenjem ICT-a [15], [29], [30], [31]

Slika 21. prikazuje kako se različiti načini i izvedbe mogu koristiti kod upravljanja prometnim sustavom i infrastrukturom. Kod tradicionalnog prijevoza svaki od različitih vidova prometa djeluje zasebno i neovisno što vrlo često otežava globalno korištenje i interoperabilnost. Inteligentni transportni sustavi uključuju različite vrste komunikacijskih i navigacijskih sustava između vozila (npr. od automobila do automobila) te između vozila i infrastructure.

Danas ITS pokriva djelom cestovni, ali uvelike željeznički, vodni i zračni prometni sustav i njihovu interakciju. Prometni sustav koji je umrežen i popraćen senzorima omogućio je izgradnju globalnih čvorišta i putova, kao što su međugradske i internacionalne željezničke mreže, „pametne“ cestovne mreže, zaštićene biciklističke staze, zaštićene pješačke staze i integrirani javni prijevoz [32]. Zračni i željeznički sustavi danas u velikoj mjeri ne bi bili mogući da ne postoji velika količina senzora i tehnologije koja s njima upravlja.

Tako je na slici 22. dan primjer tehnologija i modova transporta u kojima se koriste. Zračni promet ima najveću količinu senzora i tehnologije, a gotovo je nemoguć bez satelitskog pristupa koji javlja kontroli leta gdje se pojedini let nalazi. Slično je i s pomorskim te željezničkim. Zapravo, cestovni promet je najkorišteniji u svakodnevnom životu, a ima najmanji stupanj tehnologije i kontrole. Kroz vrijeme to će se morati promijeniti.



Slika 22. Stupnjevi korištenja tehnologija u prometnim sustavima [33], [34], [35]

Obrada podataka u stvarnom vremenu i razvoj telekomunikacijskih sustava omogućili su nastanak i funkcioniranje pametnih transportnih sustava. Takav sustav optimizira kapacitete infrastrukture i putovanja prometnih entiteta. Dobar primjer su zrakoplovi ili vlakovi te sustav kontrole leta ili željezničke kontrole koji ih nadzire za optimalno vrijeme putovanja kao i da se izbjegnu nesretni slučajevi i/ili kolizije. Isto tako, ITS sustavi omogućuju putnicima da jednostavno odaberu različite modove i načine prijevoza prema svojim kriterijima (cijena, vrijeme putovanja, sigurnost, udobnost, utjecaji na okoliš i sl.)

Primjeri za koje se koristi pametna tehnologija u prometnom okruženju danas su senzori u vozilima, sustavi protiv proklizavanja, elektroničke naplate cestarina, automatizirane kontrole dokumenata u zračnim lukama i sličnim terminalima, mogućnosti korištenja aplikacija za kontaktiranje i odabir taksi službe, mogućnosti praćenja naručenog taksi vozila za vrijeme čekanja, praćenje paketa dostave i drugo. U svemu tome pomažu moderne tehnologije kao što su mobilni Internet, WiFi, RFID, Bluetooth i slično.

Razvoj komunikacijskih tehnologija i prateće infrastrukture doveo je do porasta korisničkih zahtjeva što je opet dovelo do razvoja komunikacijske tehnologije i infrastrukture. Ovaj zatvoreni ciklus je razlog sve bržeg razvoja tehnologije, a time dovodi do ponovnog povećanje korisničkih zahtjeva.

Izvori energije i napajanja uređaja također su se promijenili i poboljšali. Tako se uređaji više ne moraju toliko često puniti ili im se moraju mijenjati baterije. Veliki iskorak za senzoriku su održivi izvori energije, uglavnom solarne, ali nekada i energije generirane vjetrom. One su nešto što se često naziva i zelena ili obnovljiva, a uz današnje „pametne“ tehnologije nekad se naziva i „pametna“ energija. Održivi izvori energije se sve više koriste, ne samo jer imaju minimalan negativan utjecaj na okoliš za sada, već i zato što se u tom slučaju tehnologija može postaviti da bude samostalna te joj ne treba ljudska intervencija.

Primjer je Bluetooth detektor koji se uz pomoć solarne ćelije i dovoljno snažne baterije može postaviti na željenu lokaciju i više nema potrebe za ljudskom intervencijom osim ako ne dođe do kvara.

„Pametna“ energija je nešto širi pojam danas, a često se govori o njoj kao o „Internetu energije“. Temelj je „pametna“ proizvodnja energije kao i pohrana, transport i potrošnja. Zapravo, svaki izvor energije u kojem postoji „pametni“, informacijsko-komunikacijski, sustav može se smatrati „pametnim“ izvorom energije.



Slika 23. Koncept pametnog grada sa uređenim prometnim sustavom [36]

Slika 23. prikazuje samo jedan od koncepata pametnog grada te način na koji je zamišljeno da izgleda. Svaki uspješan grad mora imati funkcionalan i održiv prometni sustav, a „pametan" grada mora imati funkcionalan i održiv „pametan“ prometni sustav. Razlika je u mjeri u kojoj se koriste „pametne“ tehnologije u svakodnevnim aktivnostima.

Primjer takvog prometnog sustava je masovni brzi tranzitni sustav ili MRTS (eng. *Mass Rapid Transit System*). Zapravo bilo kakav „pametni“ i umreženi sustav transporta koji smanjuje zagušenja, a ubrzava vremena putovanja. Uz to bitna je naravno i sigurnost kao i udobnost sudionika. Također, u velikoj mjeri su bitne komunikacijske tehnologije koje bi trebale biti dostupne diljem cijelog grada (FTTH, WiFi, mobilni internet i sl.)

Mogućnosti Bluetooth tehnologije ipak ne staju samo na prometnim mrežama. Praćenje meteoroloških stanica, stanica za kontrolu zraka, sustavi za rano upozorenje na poplave ili požare, i slična kontrola okoliša kao i praćenje stanja prometne ili neke druge infrastrukture i sl. Pravi potencijal leži u umreženosti cijelog sustava te praćenju meteoroloških, prometnih i ostalih pojava i trendova ponašanja korisnika u stvarnom vremenu uz kontrolu i upravljanje prometom također u stvarnom vremenu. Stvarnovremenske informacije i reakcije sustava na njih su temelj gradova budućnosti, tj pametnih gradova.

8. Zaključak

Cilj istraživanja bio je izmjeriti prometne parametre te provjeriti njihovu povezanost i moguće upotrebe. Prikupljani su podaci iz prometa pomoću Bluetootha i radara te se njihovim filtriranjem pokušalo doći do rafiniranih podataka spremnih za analizu. Analiza je korištena kako bi veliku količinu podataka pretvorili u korisne informacije koje se mogu koristiti za predviđanje, nadzor i upravljanje prometom. Primjer informacija koje se mogu dobiti analizom podataka prikupljenih Bluetooth detektorom su O-D matrice, brzine kretanja vozila, vremena putovanja, vrijeme zadržavanja na prometnici, vremena stvaranja i trajanja prometnih gužvi i druge. U svrhu ovog rada nisu obrađene sve mogućnosti, ali su kroz rad spomenute.

Prikupljanje nekih od navedenih parametara čini Bluetooth tehnologiju vrlo zanimljivom kada je riječ o prometnom sustavu. Rezultati ispitivanja provedenog za ovaj rad ukazuju na vrlo jaku vezu, tj. pozitivnu korelaciju između podataka prikupljenih Bluetoothom i radarom. Koeficijent korelacije izražen je pomoću Pearsonovog i Spearmanovog koeficijenta korelacije te oba potvrđuju kako se Bluetooth detektor može koristiti kao dodatan, pa čak i primaran, izvor prometnih informacija. Idealan slučaj bio bi korištenjem neke radarske tehnologije kao primarnog izvora te korištenjem Bluetooth detektora kako bi se nadopunili i obogatili podaci prikupljeni radarom. Prema provedenom mjerenju i dobivenim rezultatima (0,71 za Pearsonovu i 0,82 za Spearmanovu korelaciju), Bluetooth detektor, kao primaran izvor informacija, može se koristiti za detekciju nastanka zagušenja. Pogodniji je od radara zbog znatno manje cijene detektora te bolje energetske učinkovistosti. Pruža i dodatne mogućnosti kao što su praćenje vremenskih uvjeta što može služiti kao dodatna informacija kako bi se potencijalno bolje razumjeli razlozi nastanka zagušenja.

Analizom podataka prikupljenih Bluetooth detektorom i onih prikupljenih radarom vidljivo je da radar ima puno veći broj detektiranih pogodaka od Bluetootha. To je zato što velik broj sudionika u prometu nema neku vrstu Bluetooth uređaja te ih kao takve Bluetooth detektor ne može detektirati. Dok radar detektira gotovo sve što mu prođe kroz detekcijsku zonu ovisno o unesenima parametrima, uz iznimke za vozila koja prođu pre brzo ili pre sporo. Kako bi se ustvrdilo koliko je vozila detektirano, tj. koliko je broj pogodatka na oba detektora korištene su Tukey-ova metode ograda i Median metoda. Gledajući rezultate obje metode vidljivo je se broj vozila koja su detektirana sa oba Bluetooth detektora kreće između 10% i 12%. To znači da je broj vozila koja imaju neku vrstu Bluetooth mogućnosti 10% do 12% u ukupnom broju vozila na prometnici. Iako taj postotak izgleda relativno malen, provedena korelacijska analiza ukazuje kako je dovoljan, precizan i stabilan kako bi se Bluetooth detektori mogli koristiti u budućim mjerenjima i ispitivanjima.

Dakle, mjerenjima i analizom provedenim u ovom radu ustanovljeno je da se Bluetooth tehnologija može efikasno koristiti kao senzor za prikupljanje podataka o prometu, a iako se u Zagrebu takve tehnologije još ne primjenjuju u velikoj mjeri, ovaj rad dokazuje kako je to moguće. Implementaciji ovakvih tehnologija u zemljama kao Hrvatska ili gradovima kao Zagreb, ali ipak će biti potrebno uložiti velika sredstva i resurse kako bi se to ostvarilo. Kroz vrijeme pametne tehnologije i sustavi postat će neizostavan dio svakog modernog grada.

Moderni gradovi sve se više oslanjaju na moderne tehnologije i informacijsko-komunikacijske sustave te se kao takvi nazivaju „pametni“. Kroz ovaj rad Bluetooth je pokazan kao jedna od tehnologija koja se može koristiti u takvom „pametnom“ okruženju, ali najveću važnost imat će mobilne mreže pete generacije i WiFi mreže, iako postoji još mnogo problema. Takva umreženost još se naziva i „*Internetom stvari*“, gdje je komunikacijska tehnologija integrirana u gotovo sve aspekte života. Ipak, danas još postoje mnogi problemi koji se moraju riješiti prije nego to postane svakodnevica. Tako recimo mobilne mreže pete generacije, u gradovima u kojima jesu implementirane, imaju jako male domete. Brzine dosežu iznose kao što su 1,5 Gbit/s, ali signal se prenosi na relativno malim udaljenostima i to većinom samo ako postoji optička vidljivost između uređaja i 5G „*node-a*“. Kroz nekoliko godina, kada se takvi problemi riješe, upotrebom i interoperabilnosti tih komunikacijskih tehnologija ITS sustavi postat će svakodnevna pojava. U okruženjima kao što su prometni sustavi koji reguliraju prometnu signalizaciju ovisno o stvarnovremenskim podacima ili sustavima u kojima stanovnici odabiru svoje odredište, a neki od integriranih sustava ih navodi prema stvarnovremenskoj situaciji na prometnicama i sl. U takvim okruđenjima Bluetooth ima veliku ulogu jer su informacije o nastanku zagušenja te vremenu putovanja najzanimljivije korisnicima te ih zanimaju najčešće.

Stoga, iz rezultata dobivenih provedenim mjerenjima, Bluetooth senzorska tehnologija za sada predstavlja optimalan alat za korištenje u ITS sustavima zbog svoje cijene te relativno male energetske potrošnje. Isto tako velika je prednost što je moguća komunikacija korištenjem drugih tehnologija kao što si WiFi ili ZigBee. Ipak, sve tehnologije, metode i pristupi navedeni u radu korištenjem informacijsko-komunikacijskih tehnologija su temelj ITS-a i modernih gradova. To su na primjer prometni sustavi koji se sami nadziru i upravljaju prometom, izvori energije koji su optimalni u svim procesima od proizvodnje do potrošnje, Internet tehnologije za dostavu svega što je potrebno prosječnom građanu na adresu, nosive tehnologije koje kontroliraju zdravstvena i psihička stanja te obavještavaju odgovarajuće službe, senzorski opremljeni parkovi i vrtovi, „pametne“ klupice i mnoge druge. Gradovi budućnosti su „pametni“ gradovi, a temelj svakog funkcionalnog grada je funkcionalni i održivi prometni sustav.

Literatura

[1] Hamedi M, Haghani A, Sadrsadat H, Sharifi E. Analysis of Vehicle Detection Rate for Bluetooth Traffic Sensors: A Case Study in Maryland and Delaware. Maryland: University of Maryland; 2011. Dostupno s: https://www.researchgate.net/publication/268128878_Analysis_of_Vehicle_Detection_Rate_for_Bluetooth_Traffic_Sensors_A_Case_Study_in_Maryland_and_Delaware [kolovoz 2019.]

[2] Nordentoft R. Smart City Solutions Using Vehicle Tracking. Patras: Smart Cities and Mobility as a Service International Conference; 2017.

[3] Puy I. E-Business - Bluetooth. Dostupno s: https://webuser.hs-furtwangen.de/~heindl/ebte-08ss-bluetooth-Ingo-Puy-Crespo.pdf [kolovoz 2019.]

[4] Jeren B, Pale P. Sustavi vođenja i praćenja procesa - Bluetooth. Dostupno s: http://bit.ly/2wejTci [kolovoz 2019.]

[5] http://www.eckey.unis.hr. Dostupno s: http://bit.ly/2genPG7 [kolovoz 2019.]

[6] https://www.statista.com Dostupno s: https://www.statista.com/statistics/283638/installed-base-forecast-bluetooth-enabled-devices-2012-2018/ [kolovoz 2019.]

[7] Žagar M. Računala i procesi – Bluetooth zaslon. Dostupno s: https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/RIP07_BlueTooth_zaslon.pdf [kolovoz 2019.]

[8] Jelušić N. Telematička sučelja. Dostupno s: http://files.fpz.hr/Djelatnici/njelusic/Niko-Jelusic-Telematicka-sucelja--nastavni-tekst.pdf?fbclid=IwAR0F_Ar_h9-nrPeTmBd3XJPWkw4LuZCwpFzx6sdFE65fNiU0Jk4ejjxvJaw [kolovoz 2019.]

[9] http://www.mischief-films.com. Dostupno s: http://www.mischief-films.com/media library/film_calling_hedy_lamarr/Calling%20Hedy%20Lamarr%20Presskit%20en.pdf [kolovoz 2019.]

[10] https://www.bluetooth.com/. Dostupno s: https://www.bluetooth.com/about-us/our-history/ [kolovoz 2019.]

[11] Mrvelj Š. Pokretne ćelijske mreže 2. i 3. generacije. Dostupno s: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija telekomunikacijskog prometa I/Materijali/9 predavanje.pdf [srpanj 2019.]

[12] Peraković D. Funkcionalnosti terminalnih uređaja. Dostupno s: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Terminalni uredaji/Materijali/03 - Funkcionalnosti terminalnih uredaja.pdf [srpanj 2019.]

[13] Muštra M. Mobilne komunikacije. Dostupno s: http://e-student.fpz.hr/Predmeti /M/Mobilni komunikacijski sustavi/Materijali/04 Mobilne komunikacije.pdf [kolovoz 2019.]

[14] Cvetek D, Bojić V, Jelušić N, Muštra M. Initial Bluetooth probe vehicle penetration rate analysis: A case study in the city of Zagreb. Zagreb: International Scientific Conference “Science and Traffic Development”; 2019.

[15] http://www.libelium.com. Dostupno s: http://www.libelium.com/vehicle_traffic_ monitoring_bluetooth_sensors_over_zigbee [kolovoz 2019.]

[16] https://gizmodo.com. Dostupno sa: https://gizmodo.com/473543387 [kolovoz 2019.]

[17] Traffic Network Solutions S.L. Deep Bluet V2t Sensor datasheet, Barcelona, 2019. Dostupno sa: http://deepbluesensor.com/wp-content/datasheets/Deep Blue%20R-model.pdf [kolovoz 2019.]

[18] Houston Radar LLC. Houston Radar SpeedLan Quick Start Guide, Stafford, 2015.

[19] Houston Radar LLC. Dual Radar Side-Fire Traffic Sensor and Collector User Manual and Installation Guide, Stafford, 2014.

[20] Hart-Bishop J. Advenaced Signal Control Using Bluetooth Detectors. Ontario: University of Waterloo; 2018. Dostupno sa: https://uwspace.uwaterloo.ca/ bitstream/handle/10012/13037/Hart-Bishop_Jordan.pdf?sequence=5&isAllowed =y [kolovoz 2019.]

[21] Boldrini S, Di Benedetto MG. Recognition of Bluetooth Signals Based on Feature Detection. Rome: University of Rome; 2010. Dostupno s: http://acts.ing.uniroma1.it/Archivio_tesi/boldrini/boldrini_tesi.pdf [kolovoz 2019.]

[22] Wang Y, Malinovskiy Y, Wu YJ, Lee UK. Error Modeling and Analysis for Travel Time Data Obtained from Bluetooth MAC Address Matching. Washington: University of Washington; 2011.

[23] Saeedi A, Park S, Kim DS, Porter JD. Improving Accuracy and Precision of Travel Time Samples Collected at Signalized Arterial Roads with Bluetooth Sensors; Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board. 2013.; 2380 (1); 90–98.

[24] Namaki Araghi B, Skoven Pedersen K, Tørholm Christensen L, Krishnan R, Lahrmann H. Accuracy of Travel Time Estimation Using Bluetooth Technology: Case Study Limfjord Tunnel Aalborg; International Journal of Intelligent Transportation Systems Research. 2015.; 13 (3); 166–191.

[25] Cvetek D, Horenec I, Muštra M, Jelušić N. Analysis of Correlation between Dwell Time Measured using Bluetooth Detector and Occupancy; Faculty of Transport and Traffic Sciences, Zagreb, 2019.

[26] Staszcuk J, McGowen P. Deploying Portable Advanced Traveler Information Systems: Redding Deployment Evaluation; Western Transportation Institute, Berkeley, 2009.

[27] Barceló J. Travel Time Forecasting and Dynamic OD Estimation in Freeways Based on Bluetooth Traffic Monitoring; 89th Transportation Research Board 2010 Annual Meeting, Washington; 2009.

[28] Perttunen M, Kostakos V, Riekki J, Ojala T. Urban Ttraffic Analysis Through Multi-modal Sensing, Personal and Ubiquitous Computing, London; 2014.

[29] https://www.researchsnipers.com/. Dostupno sa: https://www.researchsnipers.com/you-can-now-travel-smartly-with-the-help-of-traffic-sensors/ [kolovoz 2019.]

[30] http://www.globalcybersoft.com/. Dostupno sa: http://www.globalcybersoft.com/en/gcs-solutions/smart-traffic [kolovoz 2019.]

[31] https://phys.org/. Dostupno sa: https://phys.org/news/2017-03-big-analyse-images-video-human.html [kolovoz 2019.]

[32] Mohanty PS. Everything You Wanted to Know About Smart Cities; IEEE Consumer Electronics Magazine. 2016.; 10 (1109); 60-70. Dostupno sa: https://www.researchgate.net/publication/306046857_Everything_You_Wanted_to_Know_About_Smart_Cities [kolovoz 2019.]

[33] https://adalidda.com. Dostupno sa: https://adalidda.com/posts/QQ68YMjcLXerpyiEA/eu-s-call-for-proposals-egnss-applications-fostering-green [kolovoz 2019.]

[34] https://www.englishspectrum.com. Dostupno sa: https://www.englishspectrum.com/ktx-train-korea/ [kolovoz 2019.]

[35] BIS Research Emerging Technology Market Intelligence: Global Intelligent Transportation Systems Market, Analysis and Forecast: 2017 – 2022; (Focus on Advanced Traffic Management, Electronic Tolling, Smart Parking, Revenue Collection, Railway Crossing Management, Freight Management, & Tunnel Management), 2017.

[36] https://www.financialexpress.com/. Dostupno sa: https://www.financialexpress.com/photos/business-gallery/203574/what-is-smart-city-all-you-wanted-to-now-in-5-points/ [kolovoz 2019.]

Popis slika

Slika 1. Podrijetlo simbola za Bluetooth tehnologiju 3

Slika 2. Prikaz korištenja Bluetooth tehnologije u svim aspektima života..... 8

Slika 3. Ilustracija mobilnih generacija.....12

Slika 4. Sustav prikupljanja podataka o prometu korištenjem BT detektora.....14

Slika 5. Primjer udjela vozila koja imaju BT mogućnosti u ukupnom prometu.....15

Slika 6. Primjer određivanja vremena i brzine putovanja između 2 BT detekotra 16

Slika 7. Primjer očitanja Bluetooth detektora za 2 dana sa vremenskim uvijetima.....17

Slika 8. Lokacija i usmjerenost jednog usmjerenog Bluetooth detektora 18

Slika 9. Uzastopna očitanja u detekcijskoj zoni Bluetooth detektora.....21

Slika 10. Postavljeni radar i BT detektor na stupu kod Miramarskog podvožnjaka 23

Slika 11. SpeedLane radar te način usmjeravanja prema prometnici 24

Slika 12. Blok shema postupka analize zadržavanja vozila i zauzeća prometnice.....28

Slika 13. Koeficijent zauzeća prometrane prometnice u periodu vremena 29

Slika 14. Vrijeme zadržavanja na promatranoj prometnici u periodu vremena.....30

Slika 15. Grafički prikaz korelacije/rasipanja za dobivene razultate.....31

Slika 16. Prosječna duljina vozila kroz vrijeme 32

Slika 17. Broj pogodaka izmjeren Bluetooth detektorom 33

Slika 18. Broj vozila izmjeren u 5-minutnim intervalima za četvrtak i petak 34

Slika 19. Broj vozila izmjeren u 5-minutnim intervalima za subotu.....34

Slika 20. Broj vozila izmjeren u 5-minutnim intervalima za nedjelju 35

Slika 21. Načini upravljanja prometnom korištenjem ICT-a 38

Slika 22. Stupnjevi korištenja tehnologija u prometnim sustavima.....39

Slika 23. Koncept pametnog grada sa uređenim prometnim sustavom 41

Popis tablica

Tabela 1. Generacije Bluetootha i nove značajke koje su uvele 13

Tabela 2. Primjer sirovog oblika podataka iz Bluetooth detektora..... 19

Tabela 3. Primjer tablice proizvođača Bluetooth opreme ovisno o MAC adresi 20

Tabela 4. Prikaz rezultata korelacijske analize 31

Tabela 5. Broj vozila za radne i neradne dane..... 33

Tabela 6. Postotak vozila opremljenih Bluetoothom u ukupnom broju 35

Popis grafikona

Grafikon 1. Primjer FHSS-a u vremenu 4

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako 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 diplomskog rada pod naslovom Prikupljanje podataka i određivanje prometnih parametara uporabom detektora Bluetooth signala na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 27.8.2019

Student:
Franko Jurišić
(potpis)