

# Mjerenje utjecaja ovisnosti parametra RSSI o karakteristikama Bluetooth uređaja pri detekciji vozila

---

Jelkić, Mario

Master's thesis / Diplomski rad

2020

*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:119:983171>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-19**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Mario Jelkić**

**MJERENJE UTJECAJA OVISNOSTI PARAMETRA RSSI O  
KARAKTERISTIKAMA BLUETOOTH UREĐAJA PRI DETEKCIJI  
VOZILA**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2020.**

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **DIPLOMSKI RAD**

MJERENJE UTJECAJA OVISNOSTI PARAMETRA RSSI O  
KARAKTERISTIKAMA BLUETOOTH UREĐAJA PRI DETEKCIJI  
VOZILA

MEASURING DEPENDENCE OF THE RSSI PARAMETER ON THE  
CHARACTERISTICS OF BLUETOOTH DEVICES IN VEHICLE  
DETECTION

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra

Student: Mario Jelkić

JMBAG: 0135220290

Zagreb, rujan 2020.

Zagreb, 30. siječnja 2020.

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

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 5482

Pristupnik: **Mario Jelkić (0135220290)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Mjerenje utjecaja ovisnosti parametra RSSI o karakteristikama Bluetooth uređaja pri detekciji vozila**

### Opis zadatka:

Detaljno opisati komunikacijski protokol Bluetooth, navesti specifičnosti i klase uređaja s obzirom na izračenu snagu signala. Opisati razvoj uređaja i generacije Bluetooth komunikacijskih sustava. Napraviti pregled tehnologija za prikupljanje podataka u prometu. Analizirati način detekcije vozila i sudionika u prometu uporabom Bluetooth detektora. Provesti analizu prikupljenih podataka u cilju utvrđivanja ovisnosti parametara detekcije, poglavito snage primljenog signala, o karakteristikama Bluetooth uređaja.

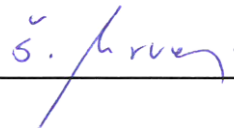
Mentor:



---

doc. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:



# **MJERENJE UTJECAJA OVISNOSTI PARAMETRA RSSI O KARAKTERISTIKAMA BLUETOOTH UREĐAJA PRI DETEKCIJI VOZILA**

## **SAŽETAK**

S ciljem prikupljanja podataka u prometu rabe se razne tehnologije kojima pripada i Bluetooth tehnologija. Pomoću Bluetooth tehnologije moguća je detekcija vozila i ostalih sudionika u prometu zbog sve veće prisutnosti Bluetooth tehnologije u novijim vozilima. Bluetooth ne prikuplja podatke o prometu, nego može otkrivati Bluetooth uređaje pomoću jedinstvene MAC adrese kao i samog proizvođača uređaja. U radu je opisan sustav prikupljanja podataka i prikazani su prikupljeni podatci iz detektiranih uređaja poput vremena i datuma detekcije, MAC adrese i jačine RSSI parametra. Prikupljeni podatci filtrirani su i analizirani kako bi se usporedilo postoji li razlika u jačini RSSI indikatora ovisno o proizvođaču Bluetooth uređaja. Klasa Bluetooth uređaja ne može se saznati pomoću podataka kao što su MAC adresa i RSSI indikator.

Ključne riječi: Bluetooth, RSSI, MAC adresa, prikupljanje podataka, Bluetooth detektor, radar

# **MEASURING DEPENDENCE OF THE RSSI PARAMETER ON THE CHARACTERISTICS OF BLUETOOTH DEVICES IN VEHICLE DETECTION**

## **SUMMARY**

For the purpose of collecting data in traffic, various technologies are used, including Bluetooth technology. With the help of Bluetooth technology, it is possible to detect vehicles and other road users due to the growing presence of Bluetooth technology in newer vehicles. As such, it does not collect traffic data, but has the ability to detect Bluetooth devices using a unique MAC address, as well as the device manufacturer itself. The thesis describes a system for data collection and presents the collected data from the detected devices, such as the time and date of detection, MAC address and the strength of the RSSI parameter. The collected data were filtered and analyzed to compare whether there was a difference in the strength of the RSSI indicator depending on the manufacturer of the Bluetooth device. The class of the Bluetooth device cannot be determined using data such as the MAC address and the RSSI indicator.

Keywords: Bluetooth, RSSI, MAC address, data collection, Bluetooth detector, radar

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ZNAČAJKE I FUNKCIONALNOSTI BLUETOOTH TEHNOLOGIJE.....	2
2.1. Tehničke karakteristike Bluetooth tehnologije .....	3
2.2. Prijenos podataka – FHSS modulacijskom tehnikom .....	4
2.3. Prednosti Bluetooth tehnologije .....	5
2.4. Nedostatci Bluetooth tehnologije .....	6
3. RAZVOJ UREĐAJA I BLUETOOTH TEHNOLOGIJE .....	7
4. PREGLED TEHNOLOGIJA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA U PROMETU .....	10
4.1. Intruzivni detektori prometnog toka .....	11
4.1.1. Induktivna petlja .....	11
4.1.2. Magnetski detektori .....	12
4.1.3. Piezoelektrički detektori .....	13
4.2. Neintruzivni detektori prometnog toka .....	14
4.2.1. Pasivni infracrveni detektori.....	14
4.2.2. Aktivni infracrveni detektori.....	14
4.2.3. Radarski detektori .....	15
4.2.4. Pasivni zvučni detektori .....	16
4.2.5. Ultrazvučni detektori.....	16
4.2.6. Videodetektori.....	17
4.3. Pokretna osjetila.....	18
4.3.1. Pokretna osjetila s GNSS lociranjem - FCD .....	19
4.3.2. Lociranje resursima pokretnih ćelijskih mreža .....	20
4.3.3. Automatska identifikacija .....	21
5. DETEKCIJA VOZILA I SUDIONIKA U PROMETU POMOĆU BLUETOOTH DETEKTORA .....	22
5.1. Dosadašnja istraživanja s primjenom Bluetooth tehnologije u prometu.....	23
5.2. Oprema korištena za prikupljanje Bluetooth podataka .....	26
5.3. Lokacija mjerenja .....	28
6. PRIKUPLJANJE I ANALIZA PRIKUPLJENIH PODATAKA .....	29
7. ZAKLJUČAK .....	39
LITERATURA .....	40
POPIS SLIKA .....	42
POPIS KRATICA .....	43

# 1. UVOD

Postoje razne vrste tehnologija za prikupljanje podataka u prometu, a jedna je od njih i Bluetooth. Upotrebom Bluetooth tehnologije u prometu mogu se prikupiti neki korisni podatci kao što su polazišno-odredišne matrice, ali i podatci o vremenu putovanja vozila, MAC adresa te jačina RSSI parametra. RSSI je relativna snaga primljenog signala u bežičnom okruženju te pokazatelj razine snage koju prijemni radio prima nakon antene i mogućeg gubitka kabela. Bluetooth je međunarodno priznati standard kojim se razmjenjuju informacije između elektroničkih uređaja kratkog dometa. Uređaji koji rabe Bluetooth tehnologiju veoma su prošireni te se nerijetko rabe. Danas gotovo svaki uređaj u kućanstvu posjeduje Bluetooth. Kako je ranije spomenuto, Bluetooth uređaji koji se koriste u prometu mogu zabilježiti MAC adresu koja je jedinstvena te se preko MAC adrese može saznati o kojem se proizvođaču Bluetooth uređaja radi.

Ovaj diplomski rad podijeljen je u sedam poglavlja:

1. Uvod
2. Značajke i funkcionalnosti Bluetooth tehnologije
3. Razvoj uređaja i Bluetooth tehnologije
4. Pregled tehnologija za prikupljanje podataka u prometu
5. Detekcija vozila i sudionika u prometu pomoću Bluetooth detektora
6. Analiza prikupljenih podataka u cilju utvrđivanja ovisnosti parametara detekcije o karakteristikama Bluetooth uređaja
7. Zaključak.

U poglavlju „Značajke i funkcionalnosti Bluetooth tehnologije“ opisane su tehničke karakteristike Bluetooth tehnologije te način na koji se vrši prijenos podataka. Navedene su prednosti i nedostaci Bluetooth tehnologije.

U poglavlju „Razvoj uređaja i Bluetooth tehnologije“ opisan je nastanak Bluetootha kao tehnologije te koje su sve do sada klase Bluetooth uređaja razvijene, same razlike između pojedinih klasa, odnosno poboljšanja.

U poglavlju „Pregled tehnologija za prikupljanje podataka“ prikazuje se što su detektori prometnoga toka i koje se sve tehnologije rabe u svrhu prikupljanja podataka u prometu.

U poglavlju „Detekcija vozila i sudionika u prometu pomoću Bluetooth detektora“ navedena su dosadašnja istraživanja koja su se provodila na temu prikupljanja podataka pomoću Bluetooth tehnologije. Objašnjeno je kako i što se to prikuplja pomoću Bluetootha te je navedena lokacija na kojoj su prikupljeni podatci potrebni za ovaj diplomski rad.

Na kraju su predstavljeni rezultati prikupljenih podataka te je objašnjeno postoje li razlike u RSSI signalu ovisno o proizvođaču Bluetooth uređaja.



## 2. ZNAČAJKE I FUNKCIONALNOSTI BLUETOOTH TEHNOLOGIJE

Bežične se tehnologije rabe za prijenos podataka na određene udaljenosti, i to raznim brzinama uz drukčiju kvalitetu. Tehnologija koja pripada ovoj skupini jest i Bluetooth standard koji definira prijenos raznovrsnih podataka na donekle nevelikim odstojanjima, odnosno do stotinu metara. Riječ je o standardu kojega razvija i definira *Bluetooth SIG* (eng. *Special Interest Group*), a tu organizaciju čine mnogobrojne organizacije u vezi s telekomunikacijom, računalstvom, mrežnim uslugama i elektronikom (*Ericsson Technology Licensing, Lenovo, Intel, Microsoft, Motorola, Nokia, Toshiba* i dr.), a prvi se put pojavio 1998. godine. Bluetooth tehnologija postaje sve rasprostranjenija i sve se više rabi i u svakodnevnom životu i nalazi se u gotovo svim uređajima poput mobilnih telefona, osobnih računala, perifernih uređaja kao što su miševi, tipkovnice, slušalice, zvučnici. Tehnologija je postigla golemi uspjeh te je u kratkom vremenu ostvarila veliku popularnost jer je postigla da traženi uređaji imaju nisku cijenu, da imaju male dimenzije, da imaju malu potrošnju energije i da ne budu komplicirani za upravljanje te da budu pouzdanima i sigurnima uz jednostavno povezivanje da bi se ostvarila mobilnost te da dostupnost bude široka [1].

Bluetooth je bežični protokol koji služi za razmjenu podataka na kratkim udaljenostima između fiksnih i/ili mobilnih uređaja. Pomoću Bluetootha moguće je povezati više uređaja (primjer je takvog povezivanja prikazan na slici 1.). Priložena slika 1. prikazuje mrežu gdje se povezuju uređaji na način da jedan je od njih glavni uređaj (eng. *master*) koji sinkronizira ostale. U navedenom primjeru glavni je uređaj osobno računalo, a ostali su „robovi“ (eng. *slaves*). Zasniva se na izgradnji PAN (*Personal Area Network*) mreže, a ona se rabi za komunikaciju osobnih aparata na nevelikim udaljenostima [1].



Slika 1. Povezivanje uređaja Bluetooth vezom, [1]

Na slici 1. Bluetooth uređaji stvorili su komunikacijsku pikomrežu (eng. *piconet*), što je bežična veza kratkog dometa. Nije potrebna nikakva formalna infrastruktura za uspostavljanje veze. Može se spojiti do osam Bluetooth uređaja unutar pikomreže, a pojedinačni uređaj ima mogućnost istodobnoga spajanja na sedam ostalih Bluetooth uređaja u pikomreži. Svaki pojedini uređaj ima svoju vlastitu MAC (eng. *Media Access Control*) adresu, koja je 48-bitna adresa fizičkoga sloja. MAC adrese postavlja Institut inženjera elektrotehnike i elektronike (eng. *IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers*) te su sačinjene od dvaju dijelova. U prvom 3-bitnom dijelu unikatni je organizacijski identifikator (eng. *OUI – Organizationally Unique Identifier*), a sastoji se od 24 bita te je ekvivalent unikatnom globalnom identifikatoru koji se može otkupiti od IEEE. Preostale znakove dodjeljuje proizvođač Bluetooth uređaja [5].

## 2.1. Tehničke karakteristike Bluetooth tehnologije

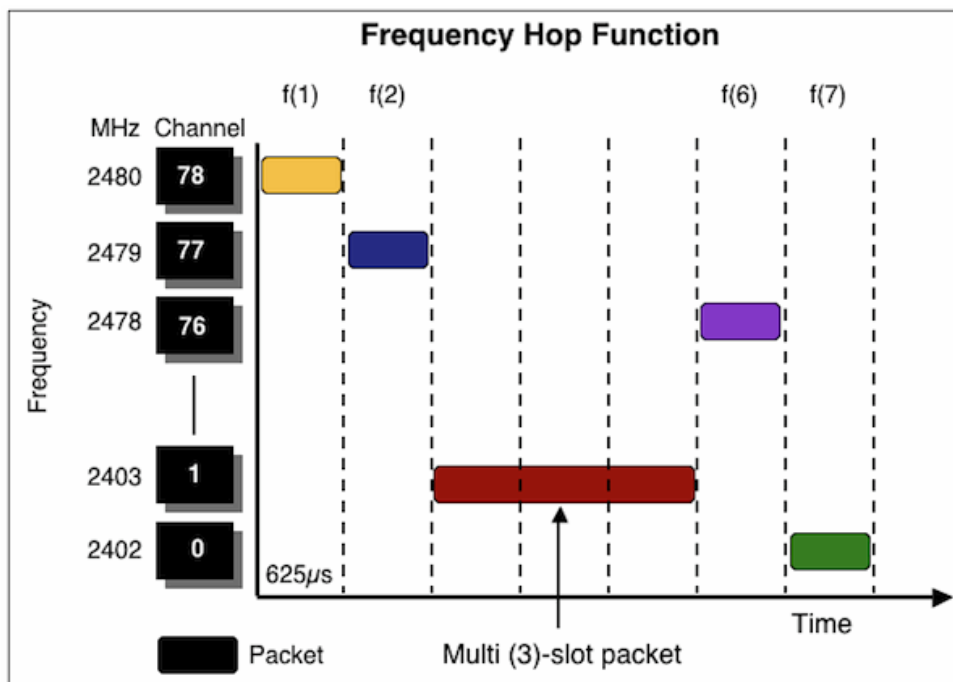
Bluetooth je originalno razvijen kao alternativa RS-232 (*Recommended Standard 232*) podatkovnim kabelima [1]. Bluetooth tehnologija koristi se jednim od ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) nelicenciranih pojasa radiofrekvencijskoga spektra. ISM slobodni su pojasevi radijskih frekvencija za industriju te medicinsku i znanstvenu upotrebu. Za rad uređaja u ISM pojasu nije potrebno posebno dopuštenje nadležnoga tijela ni plaćanje koncesije, no zato postoji ograničenje snage emitiranoga signala. Bluetooth tehnologija u ISM pojasu (2,4 GHz – 2,5 GHz) koristi se frekvencijskim rasponom od 2.402 GHz do 2.483 GHz. Navedeno je područje podijeljeno na sedamdeset devet kanala (i pripadajućih frekvencija) s udaljenošću od 1 MHz. Bluetooth uređaji rabe tzv. skokovitu promjenu frekvencije (eng. *AFH – Adaptive Frequency*

*Hopping*). Predajnik i prijamnik razmjenjuju paket podataka na jednoj frekvenciji, potom se skokovito prelazi na drugu frekvenciju da bi se razmijenio sljedeći paket podataka. Taj se postupak opetuje sve dok se ne pošalju potpuni podatci. Bluetooth slučajem skokovito mijenja frekvencije do 1600 puta u jednoj sekundi. Upotrebom navedene tehnike Bluetooth ostvaruje značajnu otpornost na možebitne interferencije radi prisutnosti ostalih aparata koji djeluju u ISM pojasu [2].

## **2.2. Prijenos podataka – FHSS modulacijskom tehnikom**

Kako bi došlo do smanjenja smetnji uzrokovanih drugim bežičnim i mikrovalnim uređajima, Bluetooth uređaji prenose poruke na pseudonasumičnom nizu različitih frekvencija te na taj način otkriva zauzete frekvencije kojima se koriste ostali uređaji te ih izbjegavaju u sljedećim prijenosima. Taj proces zove se skokovita promjena frekvencije.

Preskakanje frekvencije komunikacijska je shema koje se koristi na Bluetooth uređajima između odašiljača i prijemnika. Njegova je glavna svrha izbjegavanje smetnji između više uređaja koji koriste istu širinu pojasa i u neposrednoj blizini. Skakanje se manifestira kao prebacivanje frekvencija tijekom prijenosa. Uobičajeni oblik preskakanja frekvencije uključuje širenje izvornih podataka uskog opsega kroz širu propusnost nego što je potrebno za njegov prijenos. Zatim se dijeli signal na nekoliko kanala niže propusnosti u pseudoslučajnom slijedu ili obrascu, brzo mijenjajući frekvenciju nosača. To se naziva frekvencijski skočni spektar širenja FHSS (eng. *Frequency Hopping Spread Spectrum*). Podaci se dijele na komade određene veličine i zatim se prenose pomoću uzorka skakanja (skakanje među kanalima). Primjer takvog uzorka prikazan je na slici 2., gdje se podatci dodjeljuju raznim frekvencijskim kanalima. Mogu se primijeniti različite metode širenja spektra. Nosač i prijemnik moraju biti sinkronizirani na isti obrazac za skakanje kako bi signal bio ispravno poslan. Za korisnike koji nisu sinkronizirani (drugi uređaji u dometu, ali nisu dopušteni u pikomreži), obrazac skakanja prima se kao kratkotrajni impulsni šum. Ovo je redoslijed uzoraka što osigurava sigurnost prijenosa frekvencije. Neželjeni prijemnici ne mogu presresti signal jer ne znaju redoslijed. Prednosti skakanja frekvencija uključuju privatnost, smanjenu uskopojasnu smetnju i povećan kapacitet signala [3].



Slika 2. Primjer preskakanja frekvencije, [3]

### 2.3. Prednosti Bluetooth tehnologije

Bežični prijenos podataka između uređaja glavna je prednost i karakteristika Bluetooth tehnologije. Iznimno je dobra strana što danas velika većina uređaja sadrži Bluetooth tehnologiju, a s vremenom broj takvih uređaja postaje sve veći te tako dolazi do dostupnosti i kompatibilnosti različitih uređaja i platformi. Bluetooth tehnologija postala je standard, a prednost joj je i što nije komplicirana za korištenje. Uređaj koji sadrži kompatibilnu Bluetooth tehnologiju nema potrebe za posebnim softverima ili dodatnim uređajima, potrebno ga je jedino pokrenuti i povezati, odnosno nalaziti se u području pokrivanja drugog uređaja kako bi razmjena podataka bila moguća. Pomoću protokola za prepoznavanje koji otkriva uređaj pomoću MAC adrese može se ustanoviti ime uređaja te njegova klasa, ali i njegove usluge i tehničke informacije.

Zahtjev energije potrebne za ostvarivanje spajanja na Bluetooth zanemariva je. Bluetooth tehnologija posebno je korisna za sve one uređaje koji rade na baterije. Sva poboljšanja koja su učinjena što se tiče Bluetooth povezivosti odnose se na BLE (eng. *Bluetooth Low Energy*). Zahvaljujući ovome, Bluetooth troši manje energije kod svih Bluetooth uređaja, odnosno kod svih uređaja koji se za svoje spajanje i/ili način komunikacije koriste Bluetoothom [4].

## 2.4. Nedostatci Bluetooth tehnologije

Najveća je manjkavost Bluetooth tehnologije ograničeni domet, koji zavisi od klase odašiljača kojega rabi. Bluetooth opremu za prijenos možemo uvrstiti u tri skupine zavisno od razine snage koja je potrebna za slanje signala. Klasa 1 sadrži najveću dopuštenu snagu od 20 dBm ili 100 mW, a najveći je domet oko 100 metara. Klasa 2 ima najveću dopuštenu snagu 4 dBm ili 2,5 mW, uz domet od oko 20 metara. Klasa 3 odašilje pak najvećom dopuštenom snagom od 0 dBm ili 1 mW, a domet joj je oko 10 metara [2].

Potreba je Bluetootha za energijom mala, ali značajno iscrpljuje bateriju uređaja, posebno ako je Bluetooth uključen istovremeno s drugim uslugama i aplikacijama uređaja. Energetska učinkovitost zavisi od klase. Primjerice, klasa 1 pogodna je za stolna računala, klasa 2 pogodna je za prijenosna računala, dok je klasa 3 pogodna za mobilne i prijenosne uređaje. Uređaji smješteni u klasama s većom snagom imaju veću potrošnju energije i samim time mnogo više zagrijavaju uređaj i bateriju.

Jedan je od nedostataka Bluetootha relativno mala brzina prijenosa podataka, ako je poznato da Bluetooth 5.0 ima teoretsku brzinu prijenosa od 2 Mbit/s, a Wi-Fi ima čak do šest stotina Mbit/s. USB 3.0 može imati brzine prijenosa i do pet Gbit/s. Time vrlo lako možemo zaključiti kako je Bluetooth pogodan za prijenos video i audio sadržaja ili za strujanje podataka.

Sigurnost Bluetooth tehnologije jedan je od značajnijih problema. Jedne od glavnih mjera za očuvanje sigurnosti jesu: povjerljivost komunikacije, provjera autentičnosti i generiranje identifikacijskoga i sigurnog ključa algoritmom. No zbog kratkoga dometa hardverskih komponenata te nerijetko jednostavne enkripcije nekoliko je primjera najpoznatijih napada poput:

1. Bluejacking (napad koji se temelji na slanju neautentičnih poruka Bluetooth standardom drugim uređajima koji koriste Bluetooth tehnologiju)
2. Bluesnarfing (napad koji omogućuje neovlašteni pristup podacima na uređaju preko Bluetootha)
3. Bluesniping (pojavio se kao varijanta Bluesnarfinga, označuje jednostavno identificiranje uređaja koji prihvaćaju Bluetooth tehnologiju na širem rasponu od dopuštenoga)
4. Bluebugging (vrsta napada na Bluetooth uređaje; uglavnom dolazi zbog manjka odgovornoga ponašanja korisnika) [1].

Što se tiče kompatibilnosti, prisutna su neka ograničenja. Niskoenergetski Bluetooth 4.0 nije kompatibilan s ostalim Bluetooth verzijama koje nisu nisko energetske, odnosno BLE nije kompatibilan s klasičnim Bluetoothom.

### 3. RAZVOJ UREĐAJA I BLUETOOTH TEHNOLOGIJE

Bluetooth tehnologiju razvili su 1994. god. Jaap Haarsten i Sven Mattisson, djelatnici tvrtke *Ericsson Mobile Platforms* u Švedskoj [1]. Razlog široke primjene Bluetooth tehnologije udruživanje je tvrtki *Ericsson, IBM, Intel, Toshiba* i *Nokia*, koje su 1998. god. shvatile budućnost te koristi Bluetooth tehnologije. Navedene su tvrtke osnovale SIG, odnosno *Grupu od posebnog interesa*. Takvo je udruženje bilo izvrsno što se tiče uvođenja i razvijanja nove tehnologije poput Bluetootha. Njegine su članice tada bili proizvođači mobilnih telefona, računala i tehnologije za obradu digitalnih podataka. Cilj je grupe bio postaviti pravila i specifikacije u vezi s bežičnim povezivanjem kratkoga dometa.

Prva inačica Bluetooth tehnologije jest 1.0, a ona je vrlo brzo proširena izvjesnim dopunama na verziju Bluetooth 1.0B. Kako je bilo teškoća s omogućavanjem međusobne komunikacije, razvijena je inačica Bluetooth 1.1., koja je dobila oznaku IEEE standarda 802.15. Među ostalim, uvrštena je potpora za nekriptirane kanale i razvijeno je mjerenje RSSI (eng. *Received Signal Strength Indicator*) parametra, odnosno snage u prijamnom radiokanalu [1].

#### Bluetooth 1.2

Dolaskom verzije Bluetootha 1.2, koja je postala kompatibilna s verzijom 1.1, došlo je do određenoga napretka:

- anonimni način rada (moguće je sakriti adresu Bluetooth uređaja te se tako korisnik štiti od praćenja)
- adaptivna tehnologija frekvencijskog preskakanja; njome se stvara veća otpornost na interferenciju te se izbjegava emitiranje na višestruko zauzetim frekvencijama, tj. određenim se mehanizmima FHSS tehnika prilagođava slanju podataka kako bi izbjegla emitiranje signala na kanalima za koje pretpostavlja da nisu slobodni
- pronalazak i uspostavljanje veze između Bluetooth uređaja se smanjilo na 1 s
- podaci su se brže prenosili (u praksi 721 kb/s)
- uvedena je eSCO (eng. *Extended Synchronous Connections*) veza koja je poboljšala kakvoću govora tako da dopušta opetovano slanje pogrešno poslanih ili oštećenih paketa i procesiranjem signala te korištenjem raznih načina za kodiranje [6].

## Bluetooth 2.0

2004. god. SIG grupa objavila je novu verziju Bluetooth standarda, verziju 2.0 + EDR (eng. *Enhanced Data Rate*) od tri Mbps za ACL (eng. *Asynchronous Connectionless Link*) i SCO (eng. *Synchronous Connection Oriented link*) prijenos:

- brzina prijenosa veća do 3 puta (u ponekim slučajevima čak do deset puta)
- smanjena potrošnja energije
- poboljšana kakvoća prijenosa podataka (manji postotak neispravno prenesenih bitova (eng. *BER – Bit Error Rate*)).

Uz određena poboljšanja zadržana je kompatibilnost s Bluetooth uređajima zasnovanim na inačicama 1.1 i 1.2 [6].

## Bluetooth 2.1

Verzija 2.1 predstavljena je 2007. godine. Uskladiva je sa svim prethodnim inačicama, a ovo su njezina poboljšanja:

- *Extended inquiry response*: omogućuje se veća količina informacija za vrijeme upita pomoću kojeg se prepoznaje uređaj (ime, lista usluga koje uređaj nudi/podržava) prije nego što se stvori veza
- *Sniff subrating*: smanjena potrošnja rada u situacijama kad se uređaji nalaze u *sniff low power* načinu rada; ponajviše dobiti od *Sniff subratinga* imaju HID (eng. *Human Interface Devices*) uređaji (miševi, tipkovnice)
- *Encryption Pause Resume*: omogućuje osvježavanje enkripcije koja rabi ključ te zaštita može trajati „jedan Bluetooth dan“
- *Secure Simple Pairing*: poboljšava uspostavljanje novih veza između Bluetooth uređaja. Tijekom trajanja tog procesa uređaji međusobno razmjenjuju tajni ključ za autentikaciju veze (eng. *link key*)
- *NFC cooperation*: automatsko uspostavljanje sigurnih Bluetooth veza i NFC radio sučelja [6].

## Bluetooth 3.0

Inačica 3.0 uvedena je 2009. godine kao Bluetooth 3.0 + HS verzija. Ključna je značajka ove verzije brzi prijenos podataka uz brzine do 24 Mbit/s, ne upotrebljava se izravno Bluetooth veza, nego je ta konekcija uvedena za „pregovaranje“ i uspostavu dok se brzi prijenos odvija preko 802.11 veze. Napredak je ove verzije Bluetootha *Alternative MAC*, a to znači da se koristi Bluetoothom kako bi se otkrili uređaji i uspostavila veza, no za prijenos veće količine podataka, upotrebljava se alternativa MAC 802.11 + HS bežični standard. Bluetooth 3.0 uređaji bez sufiksa „+ HS“ ne pružaju prijenos većih brzina. Glavna prepreka ove verzije Bluetootha, uz kratki domet, Bluetooth tehnologiji bila je potrošnja energije. Bluetooth uređaji od verzije 1.0 do 3.0, koristili su veliku količinu energije mobilnih uređaja te je zato trajanje baterije bio dosta kraće [7].

## Bluetooth 4.0

Bluetooth 4.0 + LE četvrta je verzija, a predstavljen je 2010. godine te je podijeljen u dva komercijalna imena: *Bluetooth Smart Ready* i *Bluetooth Smart*. *Bluetooth Smart Ready* namijenjen je primarnim uređajima koji primaju podatke, kao što su npr. prijenosna računala, pametni telefoni i tableti. *Bluetooth Smart* za uređaje je koji prikupljaju podatke i šalju ih na *Bluetooth Smart Ready* uređaje, kao što su pametni satovi, *fitness trackeri*. Četvrta verzija Bluetootha sadrži klasične Bluetooth protokole, odnosno protokole koji pružaju brži prijenos podataka (24 Mbps) te protokole za smanjenje potrošnje energije. Bluetooth 4.0 zahtijeva vrlo malu potrošnju energije u odnosu na prethodne verzije, što omogućava većem broju uređaja da iskoriste Bluetooth tehnologiju. *Bluetooth 4.0* dizajniran je kako bi bio inteligentniji s uparenim uređajima, to znači da ako se prenose podatci ili je periodična sinkronizacija dovršena, veza ide u stanje mirovanja, dok su starije verzije Bluetootha služile za održavanje stalne veze i stalnog protoka podataka što je bio veliki trošak baterije [8].

Verzija 4.1 predstavljena je 2013. god. te se temeljila na softverskim poboljšanjima, dok su se prethodne verzije uglavnom zasnivale na fizičkim osobinama. Najvažnije karakteristike koje su uvrštene tom verzijom jesu: LLTD (eng. *Link Layer Topology Discovery*), protokol za otkrivanje mrežnih topologija. 802.11n PAL (eng. *Protocol Adoption Layer*), ograničavajuće vrijeme otkrivanja uređaja. U inačici 4.2, koja se pojavljuje 2014. god., uvrštene su novine koje se uglavnom zasnivaju na IoT-u (eng. *Internet of Things*). Najvažnije je ostvarenje manja potrošnje energije u sigurnim konekcijama [7].

## Bluetooth 5.0

Zadnja verzija Bluetootha, 5.0, koja je uvedena 2016. godine, donijela je poboljšanja koja uključuju veću brzinu (gotovo dvostruko) uz smanjeni opseg djelovanja Bluetooth signala proporcionalno povećanju brzine, SAM (eng. *Slot Availability Mask*) koji se koristi za sprječavanje interferencija na način da se izbjegne zauzeti LTE (eng. *Long Term Evolution*) kanal i na taj se način uklanja mogućnost gubljenja paketa [9].

Bluetooth verzija 5.0 troši manje energije kod svih Bluetooth uređaja, npr. bežične slušalice nisu mogle uspostaviti komunikaciju koristeći BLE mogućnost jer su trebale koristiti standardni način povezivanja preko Bluetootha koji uz to troši više energije. Bluetoothom 5.0 svi audiouređaji mogu komunicirati upotrebom BLE, što znači manju potrošnja energije i duži vijek trajanja baterije. Jedna od mogućnosti koja je korisnicima omogućena sa Bluetooth 5.0 verzijom je Dual Audio. Radi se o tome da korisnik može u isto vrijeme puštati glazbu na dva para Bluetooth slušalica odjednom ili, recimo, može puštati glazbu preko dva različita para zvučnika koji su odvojeni i nalaze se u dvjema različitim prostorijama [4].



## 4. PREGLED TEHNOLOGIJA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA U PROMETU

Bluetooth se koristi kao standard za bežičnu komunikaciju kratkog dometa. Nije namijenjen za prikupljanje podataka o prometu, ali Bluetooth uređaji koji se nalaze u vozilima služe kao sonde za otkrivanje podataka o protoku prometa. To omogućava prikupljanje korisnih podataka poput vremena putovanja i na temelju tih podataka se mogu izrađivati izvorišno-odredišne matrice. Analiza brzine Bluetooth sonde prvi je i neophodni korak za procjenu Bluetootha kao tehnologije za prikupljanje podataka o prometnom toku.

Tehnologije prikupljanja podataka u prometu koje omogućavaju upravljanje prometom mogu se razvrstati na tri vrste detektora. Prva su skupina detektora oni što detektiraju tek jednu točku pred sobom, druga su skupina detektira područje od točke do točke i treća skupina su detektori područja. Bluetooth tehnologija nema prisustvo kod svih sudionika u prometu, no statističkom se analizom može utvrditi ponašanje prometa pomoću sudionika s aktivnim Bluetooth uređajem.

Primjena Bluetooth tehnologije za prikupljanje podataka o prometu ima prednosti poput Bluetooth detektora s niskim troškovima, konstantni porast Bluetooth uređaja u prometu, loše vrijeme ne utječe na performanse detektora, te ovakav način prepoznavanja vozila u prometu je prihvatljiviji nego ALPR po pitanju privatnosti [10].

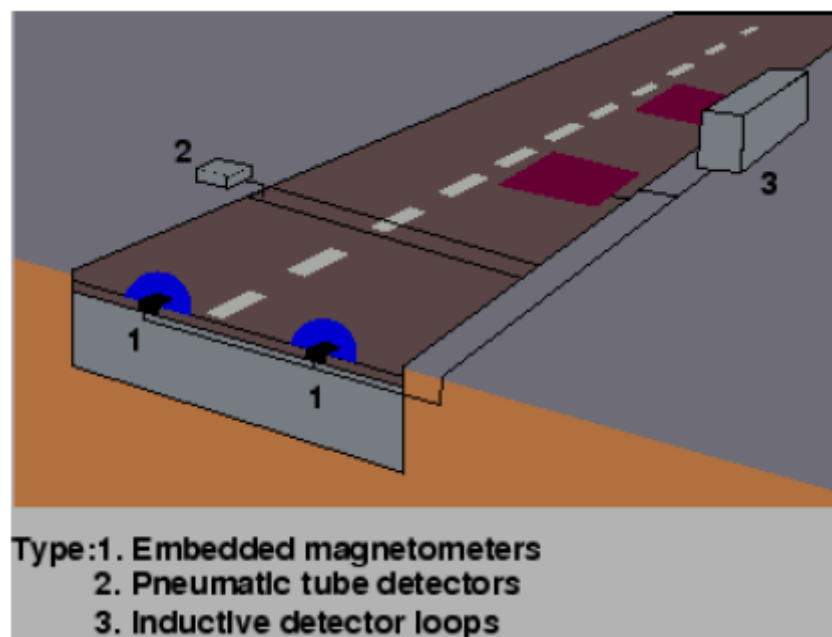
Važno je razlikovati dva osnovna pojma koja su vezana uz prikupljanje podataka i mjerenje prometnoga toka, a to su detektor i senzor. Detektorom se može otkriti prisutnost vozila, dok je senzor hardver i softver što nakon prepoznavanja prisutnosti vozila može tu informaciju pretvoriti u podatke o prometnome toku [11]. Za uređaje što daju podatke o prometnome toku, odnosno mjere parametre prometnih tokova koriste se razni nazivi: detektor, detektor prometnoga toka i brojilo prometa. Najispravniji bi naziv bio senzor prometnoga toka zato što uz to što detektira vozila, prikuplja i mjeri čitav niz parametara prometnoga toka. Detektori prometnog toka mogu se podijeliti na dvije temeljne kategorije:

1. intruzivni detektori prometnog toka
2. neintruzivni detektori prometnog toka.

#### 4.1. Intruzivni detektori prometnog toka

Intruzivni detektori ugrađeni su u cestu. Imaju visoku točnost, međutim visoki su izdatci za ugradnju i održavanje. Intruzivne detektore dijelimo na:

1. induktivne petlje
2. magnetske detektore
3. piezoelektričke detektore.



Slika 3. Intruzivni detektor, [12]

Prednost je intruzivnih detektora što se ova tehnologija već uvelike upotrebljava te je već u velikoj mjeri primijenjana te posjeduje veliku točnost što se tiče otkrivanja vozila. Postavljanje intruzivnih detektora je skupo te se prilikom samog postavljanja detektora ometa i usporava promet, isto tako prilikom održavanja ili popravka detektora dolazi do ometanja prometa [12].

##### 4.1.1. Induktivna petlja

Induktivna petlja jedan je od prvih detektora prometnoga toka. Najčešće je korišten detektor u svrhu upravljanja prometnicom, pogotovo u Europi i Sjevernoj Americi. Veličina i oblik induktivne petlje razlikuje se zavisno od svrhe detekcije, odnosno koju vrstu vozila može detektirati (automobil, bicikli, manja vozila, duža vozila, kamioni...).

Induktivna petlja funkcionira na osnovi indukcije ili pobude. Sastoji se od triju osnovnih elemenata:

- jedan zavoj vodiča ili više njih koji čine petlju, tj. senzorski element
- detektorska elektronička jedinica
- spojni kabel (povezuje vodiče petlje s detektorskom jedinicom).

Induktivna petlja radi na način da kada se vozilo zaustavi ili prijeđe preko nje, induktivitet u petlji pada. Uzrok tome su vrtložne struje koje inducira vozilo, a njihov magnetski tok suprotan je smjeru magnetskog toka petlje. To rezultira smanjenjem ukupnog toka, a time i smanjenjem induktiviteta. Smanjivanjem induktiviteta šalje se signal elektroničkoj jedinici koja registrira prolazak ili prisutnost vozila.

Induktivna petlja može ustanoviti nazočnost vozila i njihov prolazak, može brojiti vozila odnosno promet, isto tako mogu detektirati zauzeće prometne trake. Induktivne petlje nemaju mogućnost mjerenja brzine vozila, ali stavljanjem tzv. „klopke“ može se pratiti točno vrijeme prolaska vozila između dviju petlji na prethodno određenim udaljenostima. Temeljem udaljenosti i vremena između dviju pobuda može se posredno izračunati brzina vozila.

Induktivne petlje mogu imati razne oblike, a funkcija petlje utječe na oblik petlje. Osnovna je podjela na duge i kratke. Kratke petlje imaju malu detekcijsku zonu te im je glavna funkcija detekcija prolaska vozila. Duge petlje jesu petlje duljine preko 6 metara te su pravokutnog oblika. Također postoje i četveropolne petlje koje se koriste za bolju detekciju motocikala i bicikala [2], [12].

#### **4.1.2. Magnetski detektori**

Magnetski detektori ne stvaraju vlastito elektromagnetsko polje, nego detektiraju promjene zemljinog magnetskoga polja koje nastaju prolaskom vozila. Magnetski detektori sastoje se od sonde, spojnog kabela i detektorske elektroničke jedinice. Magnetski detektori rade na način da vozilo svojim prolaskom uzrokuje promjenu magnetskog toka te se na taj način inducira napon u zavojnici koji obrađuje elektronička jedinica i generira signal detekcije. Dvije su vrste magnetskih detektora: magnetski detektor s ispitnom zavojnicom te magnetometar.

Magnetski detektor s ispitnom zavojnicom detektira izmjene zemljinoga magnetskog polja izazvano željeznim svojstvima metalnih vozila. Kako bi magnetski detektor mogao detektirati vozilo, napon mora biti veći od određene razine, inače se ne može detektirati vozilo. Vozilo koje prolazi većom brzinom i bliže sondi izaziva veći poremećaj u magnetskom polju.

Magnetometar detektira vozila na način da mjeri smetnje u linijama magnetskoga polja induciranih promjenama u zemljinom magnetskom polju izazvane mobilnim željeznim

svojstvima metalnih vozila. Većina magnetskih detektora ne detektira zaustavljena vozila jer se vozilo treba kretati, tj. treba utjecati na promjenu svojih karakteristika tijekom određenoga vremena. Iz tog razloga potrebno je imati postavljeno više magnetskih detektora kako bi se mogli generirati podatci o prisutnosti vozila [2].

#### **4.1.3. Piezoelektrički detektori**

Piezoelektrički materijal generira napon kada vozilo prelazi preko detektora ovisno o težini vozila. Piezokabel je građen kao i koaksijalni kabel, a sastoji se od metalne jezgre, piezoelektričnog materijala i metalnoga omotača te je senzorski element piezoelektričnog detektora. Postoje dvije klase piezoelektričnih detektora. Klasa 1 detektira broj osovina i daje podatak o težini. Klasa 2 detektira jedino prijelaz osovine.

Piezoelektrični detektori daju podatke o intenzitetu prometa na osnovu broja osovina, težine vozila i brzine vozila. Kako bi bilo moguće izmjeriti brzinu, potrebna su najmanje dva senzorska elementa. Piezoelektrički detektori nerijetko se koriste za dinamičko mjerenje težine vozila u pokretu WIM (eng. *Weigh In Motion*). Isto kao kod induktivne petlje, kvaliteta prometne površine ima utjecaj na kvarove i životni vijek. Nedostatak piezoelektričkih detektora jest u tome što nabiranja i propadanje prometne površine smanjuju točnost prilikom mjerenja težine. Zbog nabiranja dolazi do pulsirajućeg pritiska pneumatika na podlogu što uzrokuje izostanak detekcije odnosno pogrešnu klasifikaciju vozila s obzirom na broj osovina.

## 4.2. Neintruzivni detektori prometnog toka

### 4.2.1. Pasivni infracrveni detektori

Senzorski elementi infracrvenih detektora osjetljivi su na zračenje u infracrvenom području elektromagnetskog spektra. Sustavom optike energija zračenja upućuje se na osjetljiv materijal, koji dobivenu energiju pretvara u električni signal. Što se tiče razlučivosti, ostvaruju se neslikovni i slikovni detektori. Neslikovni detektor ima maksimalno do pet odvojenih energetske elemenata, a slikovni ima dvodimenzionalno polje infracrveno osjetljivih elemenata (piksela) te stvara sliku u infracrvenome području [2].

Pasivni detektor djeluje na izmjene energije zračenja. Kad vozilo ulazi u detekcijsku zonu, dolazi do promjene energije zračenja jer se promijeni temperatura u vidnome polju detektora. Također nastaju i izmjene u reflektiranoj energiji u okolini.

Neslikovni pasivni infracrveni detektor posjeduje jedan senzor pomoću kojega detektira prolaz i prisutnost vozila uz to pruža informacije o gustoći prometa i zauzeću detekcijske zone. Pasivni detektor se sastoji od više senzora, tj. više detekcijski zona, uz analizu signala, intenziteta i zauzeća prometnice može prikazivati podatke o duljini vozila i brzini.

Infracrveni detektori postavljaju se iznad prometnice ili pak sa strane prometnice. Stupovi rasvjete znaju biti korisni kao nosiva konstrukcija. Najbolji je položaj detektora okomito iznad prometnice na visini od 5,5 m.

### 4.2.2. Aktivni infracrveni detektori

Aktivni infracrveni detektori ili *Laser Radar* detektori sastoje se od odašiljačkoga i prijamnoga dijela. Odašiljački dio upućuje kratke impulse elektromagnetskih valova u bliskom infracrvenom području, dok prijamni dio dobiva reflektirane impulse. Odašiljački dio sastoji se od izvora zračenja, optike te pripadajuće elektronike što upravlja stvaranjem infracrvenih zraka. Elektronika, tj. generator takta šalje start impuls modulu izvora zračenja. Aktivni infracrveni detektori sadrže iznimno točnu mehaniku te optiku, zato pripadaju najskupljim detektorima.

Višestruka zraka aktivnoga infracrvenoga detektora pruža mjerenje brzine ako je poznata geometrija (položaj detektora, kut zraka, visina postavljanja). Aktivni infracrveni detektori, proizvode trodimenzionalnu sliku objekta (npr. vozila), omogućuju podjelu u jedanaest kategorija vozila te se najčešće upotrebljavaju prilikom naplate cestarine na autocestama. Aktivni infracrveni detektori imaju mogućnost pružanja podataka o prisutnosti, volumenu, zauzeću, brzini i klasifikaciji vozila.

Blisko infracrveno zračenje slabije prodire ako je prisutna magla, kiša ili snježne padaline od dalekoga infracrvenoga zračenja i to je također razlog zašto se detekcijska zona aktivnoga

infracrvenog zračenja nalazi u blizini detektorskoga elementa. Poput pasivnih infracrvenih detektora aktivni detektori stavljaju se iznad prometnih površina, na stupove rasvjete ili ostale objekte na visinu od 6 do 9 m [2].

#### 4.2.3. Radarski detektori

Djelovanje radarskih detektora temelji se na slanju radiovalova mikrovalnoga područja i prijemu povratnoga signala. Obradom povratnoga signala mogu se dobiti podatci o prisustvu objekata, udaljenosti te brzini. Kako bi se dobili prometni parametri, za primjenu u prometu za fiksne detektore od interesa je X frekvencijski pojas 8 – 12 GHz. Vozilo će se detektirati ako je primljena snaga povratnog signala dostatna. Dobra je strana radarskih detektora to što radiovalovi X frekvencijskoga pojasa radiovalova prodiru kroz kišu, maglu i snijeg, a na preciznost nema utjecaj osvjetljenje kao ni temperatura.

Temeljne su vrste radara:

- radar s kontinuiranim odašiljačkim signalom (eng. *CW Doppler radar – Continuous Wave Doppler Radar*)
- radar s frekvencijskim moduliranim odašiljačkim signalom (eng. *FMCW radar – Frequency Modulated Continuous Wave radar*).

Doppler radar s kontinuiranim odašiljačkim signalom, zrači radiovalove konstantne frekvencije, prema području u kojem se želi detektirati vozilo. Prijamna antena dobiva reflektirane valove od vozila. Prema Dopplerovom efektu frekvencija dobivenog reflektiranoga signala povećava se u odnosu na poslani signal u slučaju da se vozilo približava, odnosno smanjuje se ako se vozilo udaljava. Doppler radar s kontinuiranim odašiljačkim signalom ima mogućnost otkrivanja brzine i prolaza vozila. Visina je postavljanja 4,5 – 9 m. Doppler radar detektorom ne može otkriti vozilo koje je zaustavljeno. Za detekciju je potrebna najmanja brzina od 5 do 8 km/h te također ne može odrediti ni udaljenost od vozila.

Radarski detektori s frekvencijskim moduliranim odašiljačkim signalom šalje radioval čija se frekvencija mijenja unutar nekoga radnoga frekvencijskog pojasa. Udaljenost vozila koje se nalazi u detekcijskoj zoni dobiva se mjerenjem vremena, protekloga od slanja signala do dobivanja povratnoga signala. Kako FMCW radarski detektor mjeri udaljenost od detektora do objekta, moguće je dobiti informaciju o nazočnosti vozila u zoni koja se detektira. Brzina se dobiva na dva načina: Dopplerovim frekvencijskim pomakom ili pak pomoću više detekcijskih zona. Postavljanjem jednoga detektorskog elementa uz prometnicu svi trakovi postaju pokriveni. Kada se postavljaju iznad prometnice, svaki trak zahtijeva poseban radar. Stavljanje radarskoga detektora uz prometnice brzo je te jednostavno, a ako dođe do kvara, pristup je lak i nema potrebe zaustavljati promet. FMCW radar ima mogućnost pružanja informacija o prisutnosti vozila (vozilo u pokretu i zaustavljeno vozilo), jačini prometa, zauzeću, brzini te može ograničeno klasificirati vozila [2].

#### 4.2.4. Pasivni zvučni detektori

Pasivni zvučni detektori koriste se zvučnim valovima za primanje informacija u vezi s veličinom prometnoga toka, odnosno primaju i analiziraju zvučne valove što ih proizvode vozila. S obzirom na to da je primarni izvor zvučnih valova buka nastala trenjem pneumatika s površine prometnice, poželjno je postavljanje pasivnih zvučnih detektora uz prometnice da bi polje mikrofona bilo usmjereno baš na pneumatike. Ako se ne radi o velikoj brzini, zvučni detektori slušaju i zvuk što ga stvaraju motori vozila.

Detektorski element sastoji se od dvodimenzionalnoga polja usmjerenih mikrofona. Ulaskom vozila u područje detekcije raste gustoća snage zvučnih valova, a dolazi također i do promjena u signalu generiranom poljem mikrofona. Algoritmi obrade signala prepoznaju promjene u signalu i generira se signal prisustva vozila. Pad gustoće snage zvučnih valova ispod neke granične vrijednosti znači da vozilo nije više u području detekcije. Zvučni valovi koji dolaze izvan područja detekcije prigušuju se.

Pasivnim zvučnim detektorima dobivaju se informacije u vezi s intenzitetom prometnoga toka, zauzećem, brzinom i klasifikacijom prometnoga toka. Brzina se može dobiti pomoću brzinske klopke, no tada ima više detekcijskih zona, ili na temelju pretpostavljene duljine vozila i izmjerenoga podatka o zauzeću. Klasifikacija je vozila pasivnim zvučnim detektorima ograničena. Može se prepoznati osobina vozila, tj. radi li se o lakom ili teškom teretnom vozilu. Klasifikacija se zasniva na komparaciji zvukova, odnosno odgovarajućih signala što ih generira vozilo u prolazu iz skupa poznatih zapisa različitih kategorija vozila.

Na preciznost pasivnog zvučnog detektora imaju utjecaj pojave koje imaju utjecaj na propagaciju zvučnih valova kao što su jaki vjetar, kiša ili gusti snijeg. Vozila koja stvaraju snažnu buku, npr. vozila iz suprotnoga smjera, uzrokuju neispravne detekcije. Kada je velika gustoća prometnoga toka i mala brzina, dolazi do degradacije kakvoće primljenih podataka. Položaj mikrofona u odnosu na prometnicu bitan je za oblikovanje detekcijske zone te kao bi se dobili istiniti podatci. Pasivni zvučni detektori stavljaju se na visinu od 6 do 12 m iznad prometnice ili uz prometnicu ili pak uz prometnicu na istim visinama. Zona pokrivanja pasivnoga detektora ima mogućnost obuhvaćanja više prometnih traka, s tim da se dobivaju informacije za svaki trak zasebno. Pasivni zvučni detektor u općim crtama nije prikladan za upotrebu u urbanim sredinama [2].

#### 4.2.5. Ultrazvučni detektori

Ultrazvučni detektori šalju zvučne valove frekvencija između 25 i 50 kHz. Ultrazvuk se reflektira od objekta prisutnog u zoni detekcije. Postoje impulsni ultrazvučni detektori i detektori s neprekidnim slanjem ultrazvučnih valova. Detektori s neprestanim slanjem ultrazvučnih valova koriste se najčešće za mjerenje brzine. Mjerenje brzine zasniva se na

Dopplerovu efektu, a primjenjuje se za mjerenje brzine na autocestama, a nije prikladno u urbanim sredinama koje imaju gusti promet, mnogobrojna zaustavljanja te čekanja u repu.

U svrhu detekcije vozila mjeri se vrijeme u detekcijskoj zoni, odnosno vrijeme koje je potrebno ultrazvučnom valu da prijeđe put od detektora do detekcijske zone i natrag. Primljeni ultrazvučni val pretvara se u električni signal i analizira u detektorskoj jedinici, detektorska jedinica se nalazi u istom kućištu ili je smještena u signalnom uređaju.

Ultrazvučni detektori postavljaju se iznad prometnice ili uz prometnicu. Ultrazvučni detektori imaju mogućnost pružanja podataka o intenzitetu prometnoga toka, prisustvu vozila, zauzetosti, klasifikaciji i brzini. Brzina se dobiva brzinskom klopkom, odnosno odašiljanjem dvaju ultrazvučnih valova pod različitim kutovima kako bi se dobile dvije detekcijske zone. Na istinitost prikupljenih informacija ultrazvučnih detektora utječu izmjene temperature i snažna strujanja zraka pod utjecajem vjetera ili pak zbog prolaska velikih vozila [2].

#### 4.2.6. Videodetektori

Videodetektori odnosno sustavi za snimanje i obradu slike, kojim se u konačnici prikupljaju podatci o parametrima prometnoga toka. Čine ih kamere ili više njih, mikroprocesora za obradu slike, programi za tumačenje slike i prikupljanje podataka o parametrima prometnoga toka. Profesionalne kamere za korištenje u sustavima upravljanja sastoje se od izdržljivih i kompaktnih kućišta da bi bile otporne na vremenske (ne)prilike. Mikroprocesor i druge elektroničke komponente za obradu slike smještene su u kućištu kamere ili u nosivom okviru koji se postavlja u ormarić signalnoga uređaja. Snimljeni videozapis čini niz slika i okvira.

Detekcija vozila, bez koje se ne mogu prikupiti podaci o parametrima prometnoga toka, temelji se na identifikaciji izmjena u grupama piksela između slijednih okvira. Postoji više načina analiziranja slike i odvajanja prometnih podataka: *Tripline*, CLT (eng. *Closed Loop Tracking*) i DAT (eng. *Data Association Tracking*). *Tripline* pristup omogućava korisniku definiranje konačnoga broja linearnih geometrijskih detekcijskih zona u kojima se detektira vozilo. CLT je ekstenzija *Tripline* postupka koje omogućuje detektiranje vozila na većim prometnim zonama. Dokle god se vozilo nalazi u vidnom području kamere, može se detektirati pomoću CLT-a. Kako bi se provjerila detekcija, upotrebljavaju se višestruke detekcije. Neprekidno se bilježe izmjene u pikselima koje izaziva kretanje vozila. Sama detekcija provjerava se konstantnim kontroliranjem stanja piksela kojima je na prvom mjestu detekcija i započela. DAT pristup nudi prikupljanje informacija o vremenskoj dužini boravka na dijelu prometnice, početno-odredišne informacije (u vidnome polju kamere). Vozilo se detektira izuzimanjem posebno spojene grupe piksela.



Važan utjecaj na pouzdanost videodetektora ima osvjetljenje, ali i razni objekti. Preko dana koriste se algoritmi koji prepoznaju konture i sjene vozila dok se noću vozila prepoznaju pomoću refleksije od prometne površine. Noću svjetla semafora, reklamna svjetla i razni odbljesci katkad rezultiraju netočnom detekcijom. Zračni vodovi napajanja ili zračni telekomunikacijski vodovi mogu uzrokovati pogreške (osobito kad se njišu dok puše vjetar i kad na njih padne snijeg ili se uhvati inje).

Videodetektor ima najveće mogućnosti kada je riječ o prikupljanju podataka koji se odnose na prometne parametre: nažočnost vozila, zauzetost, brzina, klasifikacija vozila, gustoća za dionicu koja je u vidnom polju kamere, vrijeme puta, duljina repa čekanja. Videodetektor ima mogućnost zamjene više induktivnih petlji.

Postavljanjem nedaleko od zaustavne crte na raskrižju videodetektor je povoljan za detekciju nazočnosti vozila. Detekcijska površina može biti duga od 6 do 20 m. Udaljenost detekcijskih površina može biti čak do 100 m. Pojedina istraživanja pokazuju prilična odstupanja u udaljenim detekcijskim površinama u mjerenju volumena prometa i zauzeća. U cilju dobivanja točnih parametara unutar detekcijskih površina razvijen je algoritam za udaljene detekcijske površine (*Advance Detector Algorithm*), koji povećava senzitivnost detekcijskih površina. Za povećanje pouzdanosti upotrebljavaju se i algoritmi koji detekcijske površine spajaju Boolovom algebrom (*Boolean Detector Modifier*), a to posebno povećava pouzdanost detekcije tijekom mogućega djelomičnog zaklanjanja detekcijske površine. U ponekim okolnostima povećanju pouzdanosti detekcije može pridonijeti i algoritam određivanja smjera vozila (*Directional Detector*) [2].

### 4.3. Pokretna osjetila

Temeljna zamisao pokretnih osjetila je primanje i odašiljanje podataka o vozilima koja su sastavni dio prometnoga toka i kreću se prometnom infrastrukturom. Pokretno je osjetilo ni više ni manje nego vozilo. Neophodan zahtjev koji mora biti ispunjen kod pokretnih osjetila jest da se zna pozicije vozila u određenim vremenskim trenucima. Sustav s pokretnim osjetilima ostvaruje se na ove načine:

- identifikacija vozila u određenim točkama mreže
- lociranje vozila resursima ćelijskih mreža
- lociranje vozila GNSS modulom u vozilu.

Prvi je način prepoznatljiv kao AVI (eng. *Automatic Vehicle Identification*), a preostali su načini prepoznatljivi kao AVL (eng. *Automatic Vehicle Location*). AVI zapravo identificira vozilo u zadanim točkama mreže, vozilo u pokretu je temelj podataka koje može biti evidentirano na raznim koordinatama mreže te može pružiti podatke koji se odnose na to što se zbivalo između tih zadanih točaka. AVL je u stručno-znanstvenoj literaturi poznatiji kao FCD (eng. *Floating Car Data*), pojam FCD obično se odnosi na upotrebu GNSS-a, odnosno pokretnoga osjetila

opremljenoga podsustavom za satelitsku navigaciju, lociranje i podsustavom za komunikaciju. U slučaju kad pokretno osjetilo nije vozilo, nego „pametni“ telefon, obično se upotrebljava kratica FPD (eng. *Floating Phone Data*).

FPD je zapravo prikupljanje podataka pomoću „pametnih“ telefona nezavisno od toga kako se saznaje mjesto telefona (GNSS lociranjem ili lociranjem uz pomoć mobilnih mreža). S obzirom na to da u današnje vrijeme skoro svi „pametni“ telefoni imaju modul za lociranje, pod FPD-om najčešće se podrazumijeva način gdje „pametni“ telefoni odašilju GNSS podatke. U slučaju da se za lociranje vozila upotrebljavaju resursi ćelijskih mreža, obično se rabi naziv CFCD (eng. *Cellular Floating Car Data*) [2].

#### **4.3.1. Pokretna osjetila s GNSS lociranjem - FCD**

Vozilo može biti opskrbljeno tek podsustavom koji pruža lociranje vozila pomoću programskog paketa za komunikaciju. Svi podaci koji se prikupe na ovaj način upućuju se u središnju postaju za obradu podataka. Kao pokretna osjetila uglavnom se upotrebljavaju vozila koja su dio neke flote vozila, npr. taksi službe, vozila javnoga gradskog prometa, vozila za distribuciju robe. Takva su vozila već opremljena dodatnim OBU (eng. *On-Board Unit*) uređajem koji sadrži navigacijski i komunikacijski modul te mu je svrha stalno praćenje vozila i komunikacija s centrom.

FCD sustav zasniva se na nekoliko podsustava različitih tehnologija. Temeljne informacije o prostorno-vremenskoj poziciji vozila generira GNSS modul. Komunikacijski modul u vozilu bežičnom mrežom šalje poruke u centar za obradu podataka. Kako bi se mogle obraditi i prezentirati lokacijski bazirane informacije, neophodan je GIS (Geografski Informacijski Sustav) s pripadajućim prometnim slojem. Podatke u vezi sa situacijom prometne mreže moguće je iskoristiti u različite svrhe: upravljanje, informiranje onih koji sudjeluju u prometu, logističke potrebe itd.

Temeljni podatci koji evidentiraju i prosljeđuju pokretna vozila identifikacijska su oznaka vozila (ID vozila), prostorna pozicija (koordinate) i trenutak zabilježene prostorne pozicije, tj. vremenska oznaka. Temeljni podatci najčešće sadrže brzinu i smjer kretanja vozila. Udio FCD vozila u ukupnome broju vozila u prometnom toku i učestalost slanja poruka glavni su čimbenici koji određuju kakvoću FCD podataka. Ako je udio FCD vozila prilično velik i ako je učestalost poruka također velika, to znači da je moguće što preciznije utvrditi stanje u prometu. Upotrebom FCD podataka moguće je utvrditi sljedeće temeljne varijable: vrijeme putovanja i brzinu kretanja vozila na segmentima prometnih površina te nivo zagušenosti.

Prednost je korištenja FCD-a je što omogućuje veću pokrivenost golemog prostora po niskim troškovima, definiranje okoline u prometnoj infrastrukturi i uz dostatan omjer FCD vozila omogućuje pouzdane podatke. Prikladni su za pribavljanje podataka u gradovima. Preobilnost informacija, situacije u vremenu i primjerice ispadanje jednog vozila iz kanala

nema značajnog utjecaja na kvalitetu rezultata. Nepogodne činjenice su što je analiza podataka poprilično zahtjevna, potrebna je prilagodba uredbama GDPR-a, još je mnogo prostora za istraživanje i razvoj, a čak i izdaci za transmisiju informacija i poruka nisu zanemarivi [2].

#### 4.3.2. Lociranje resursima pokretnih ćelijskih mreža

Lociranje vozila, odnosno prikupljanje podataka uz pomoć lociranja resursima pokretnih ćelijskih mreža nazivamo još kraticom CFCD. Lociranje mobilnih stanica u ćelijskoj mreži, zapravo je sastavni i neophodni dio usluge ćelijske mreže. Kako bi se omogućilo slobodno kretanje korisnika, mobilni sustav treba „znati“ o kojoj je mobilnoj stanici riječ te gdje se mobilna stanica nalazi. Samo lociranje za potrebe komunikacije u ćelijskoj mreži je grubo, dostatno je ustanoviti nalazi li se mobilna stanica u ćeliji. Za razliku od FCD-a kod CFCD-a svaka mobilna stanica na mreži ima mogućnost sudjelovanja u skupljanju podataka. Veliki je broj korisnika s terminalnim uređajima te je očito da skup podataka može u kratkom vremenu postati vrlo velik, pogotovo u gradskim područjima.

Izazovi karakteristični za CFCD jesu:

- povećanje preciznosti lociranja uz što manja ulaganja
- uklapanje sirovih podataka o lokaciji u digitalni zemljovid
- obrađivanje jako velike količine sirovih podataka
- prikupljanje podataka bez narušavanja privatnosti.

Lociranje vozila, odnosno mobilnih stanica u ćelijskim mrežama postiže se korištenjem postojećih resursa ili njihovom hardverskom i softverskom nadogradnjom. Dobra je strana to što nije potreban poseban sustav za lociranje vozila, nego sva potrebna mjerenja obavlja „mreža“ bez ikakvih posebnih nadogradnji mobilnih stanica.

Locirati je moguće na temelju identifikacije ćelije, određivanju kuta dolaska signala AoA (eng. *Angle of Arrival*) ili pak na mjerenju vremena razlike dolaska signala TDOA (eng. *Time Difference of Arrival*).

Lociranje temeljeno na identifikaciji ćelije najjednostavnija je metoda lociranja u ćelijskoj mreži. Poznati podaci su koordinate bazne stanice i područje ćelije. Bazna stanica sadržava podatke o mobilnoj stanici te se prema tome može se izvršiti gruba procjena pozicije mobilne stanice.

Lociranju koje se zasniva na identifikaciji ćelije nisu potrebne skoro nikakve modifikacije u infrastrukturi osim modifikacija obradi i zapisu podataka. Troškovi su minimalni. Loša je strana što točnost lociranja zavisi od veličine ćelija, zato je u gradu pogreška od nekoliko

desetaka metara pa do kilometra, u prigradskim područjima do desetak kilometara, a u ruralnim je područjima i više od desetak kilometara.

Lociranje zasnovano na određivanju kuta dolaska signala AoA podrazumijeva da bazne stanice sadrže posebne antene pomoću kojih se može odrediti kut dolaznoga signala mobilne stanice. Izmjerenim kutom dolaznoga signala u baznoj stanici i same bazne stanice određen je pravac na kojem se nalazi mobilna stanica, u principu dostatne su dvije bazne stanice kako bi se odredile pozicije mobilne stanice.

Lociranje koje se zasniva na mjerenju vremena razlike dolaska signala TDOA znači da se računa razlika vremena u dolasku signala poslanoga mobilnom stanicom do bazne stanice u čijoj se ćeliji nalazi i dolasku signala susjedne bazne stanice od prijama signala mobilne stanice u primarnoj baznoj stanici do prijama signala mobilne stanice u sekundarnim baznim stanicama. Načelo određivanja pozicije mobilne stanice određuje na temelju poznatih udaljenosti od poznatih točaka [2].

#### **4.3.3. Automatska identifikacija**

AVI, odnosno, automatska identifikacija vozila sadrži tehnologije pomoću kojih se može prepoznati vozilo na nekoj kontrolnoj točki mreže te je moguće utvrditi „privremeni“ ili „stalni“ identitet. Identifikaciju je moguće temeljiti na prepoznavanju dodijeljenoga identifikatora, identifikaciji značajaka ili uspostavljenoj komunikaciji između opreme vozila i opreme fiksne infrastrukture.

S gledišta skupljanja podataka sa svrhom određivanja parametara prometnoga toka i stanja mreže nije bitno prepoznavanje vozila u smislu određivanja identiteta korisnika, odnosno vrste vozila, nego je važno utvrditi pojavljivanje vozila na raznovrsnim kontrolnim točkama mreže. Vozilo posjeduje „privremeni“ identitet. Takva identifikacija i re-identifikacija pruža izravan izračun putovanja između kontrolnih točaka [2].

## 5. DETEKCIJA VOZILA I SUDIONIKA U PROMETU POMOĆU BLUETOOTH DETEKTORA

Temeljni sustav koji prikuplja informacije Bluetooth tehnologijom sastoji se Bluetooth detektora, host računala koje služi za prihvatanje i obradu podataka te komunikaciju. Bluetooth detektor je uređaj koji se postavlja na stupove pokraj prometnice, detektira druge Bluetooth uređaje koji prolaze, sprema podatke i šalje ih dalje. Bluetooth detektor sadrži sljedeće funkcijske dijelove:

- Bluetooth primopredajnik koji šalje informacije prema Bluetooth uređajima i prikuplja informacije od njih
- antena koja povećava detekcijske sposobnosti i domet detekcije ili da se zona pokrivanja Bluetooth detektora ograniči na manje područje
- računalo koje procesira informacije, npr. gdje se mogu uključiti postupci čišćenja dupliciranih podataka ili procedure za povećanje zaštite privatnosti
- izvor napajanja
- kućište za opremu i montažu.

Bluetooth detektori neprestano pretražuju okolni prostor u potrazi za aktivnim Bluetooth uređajima. Svaki Bluetooth uređaj koji je u mogućnosti odgovoriti na poslani zahtjev odgovorit će na upit detektora jedinstvenom MAC adresom i sinkronizacijskom informacijom. Ukoliko se Bluetooth uređaj detektira sa svojom MAC adresom na dvije kontrolne točke, uz poznatu udaljenost između tih kontrolnih točaka i vremensku oznaku, moguće je izračunati vrijeme putovanja i brzinu.

Na slici 4. prikazan je zapis Bluetooth detektora uz MAC adresu i vremensku oznaku u zapisu se nalazi i ime Bluetooth uređaja, tip uređaja CoD (eng. *Class of Device*) te je zabilježena razina snage koja se izražava indikatorom RSSI. CoD podatci sadržavaju podatak o kakvom je uređaju riječ (pametni telefon, slušalica, računalo), to donekle može pomoći u određivanju je li riječ o vozilima ili pješacima. Vrijednost indikatora RSSI izražava se u dBm. Izračun udaljenosti između detektora i uređaja koji se detektira na osnovi vrijednosti RSSI nije jednostavan i ovisi o više čimbenika: o klasi uređaja, o tome gdje se uređaj nalazi te o utjecaju okoline [2].

DB ID	Timestamp	MAC	ID	RSSI	CoD
45400	2012-05-16 16:18:12	00:26:7E:5F:3C:18	myCar	-72	Handsfree
78005	2012-04-20 12:59:27	D8:2A:7E:0E:C3:10	Tropic	-85	Smartphone

Slika 4. Primjer zapisa Bluetooth detektora, [2]

Informacije s Bluetooth detektora šalju se komunikacijskom mrežom na host računalo, komunikacija između detektora izvodi se na nekoliko načina. Bluetooth detektor šalje podatke na host računalo, odnosno u mreži je dovoljno da samo jedan Bluetooth detektor bude povezan na TK mrežu te na taj način može slati podatke i od drugih detektora sa kojima je povezan. Ovisno o veličini zone detekcije može doći do pogreške u određivanju pozicije vozila, što je zona pokrivanja veća, veća je i pogreška. Nakon obrade podataka mogu se odrediti prosječna vremena putovanja u vršnim opterećenjima prometnice.

Korištenjem Bluetooth tehnologije može se dobiti u znatnoj mjeri točno vrijeme putovanja, srednja brzina na segmentima prometnice te O-D (*Origin - Destination*) podatci, ali zato se ne mogu dobiti točni podatci o jačini prometa i o zauzeću prometnice te podatci o zastoju u smislu brzoga otkrivanja.

Prednost Bluetooth tehnologije za prikupljanje podataka jest u golemoj proširenosti uređaja, odnosno značajnoj vjerojatnosti da će Bluetooth uređaj biti detektiran Bluetooth detektorom.

Nedostatak je Bluetootha u tome što detektor ima područje pokrivanja reda veličine 10 – 100 metara, zato se događaju detekcije svih uređaja na tome području. Lociranje može imati relativno veliku pogrešku, zavisno od veličine zone pokrivanja detektora.

## **5.1. Dosadašnja istraživanja s primjenom Bluetooth tehnologije u prometu**

Bluetooth tehnologija u današnje je vrijeme iznimno često korištena metoda kojom se prikupljaju prometni podatci za različite primjene u prometu. Najveći broj istraživanja fokusiralo se na primjenu Bluetooth tehnologije za prikupljanje podataka i analizu vremena putovanja na autocestama i arterijskim cestama.

Prema Youngu praćenje prometa primjenom Bluetooth tehnologije pruža anonimno pribavljanje informacija visoke kvalitete u vezi s vremenom putovanja. Prikupljanjem MAC adresa na dvije različite lokacije omogućava se prikupljanje točnih podataka o vremenu putovanja, bez problema u vezi s privatnošću. Smatra se da je 500 - 2500 puta ekonomičnije prikupljati podatke na taj način negoli bilo kojom primjenom testnih vozila [13].

KMJ Consulting je proveo istraživanje o procjeni mogućnosti korištenja Bluetooth tehnologije za prikupljanje podataka o vremenu putovanja. Upotrijebljena Bluetooth tehnologija jest BlueTOAD, a za usporedbu korisnosti Bluetooth tehnologije koristili su se E-ZPass čitači oznaka koji su ekvivalent Elektroničke naplate cestarine (ENC) u Hrvatskoj. Provedeno istraživanje pokazalo je da se oko 4 % vozila koristi Bluetooth tehnologijom te da su izmjerena vremena putovanja upotrebom BlueTOAD-a i E-ZPass-a približno jednaka, a cijena je primjene BlueTOAD-a iznosila je oko trećine cijene korištenja E-ZPass čitača oznaka. Prednost BlueTOAD tehnologije je jednostavno postavljanje i jednostavna primjena. BlueTOAD sastoji se od detektora koji prikupljaju podatke o prometu, tj. prikupljaju podatke

u Bluetooth uređajima koji se kreću prometnicom i prikupljene podatke šalju na upravljačko računalo. Detektori su povezani na TK mrežu i mogu prosljeđivati podatke i od drugih detektora ako su povezani nekom bežičnom tehnologijom. Na upravljačkom računalu spremaju se i prikupljeni podatci, odnosno MAC adrese, vrijeme prolaska pored senzora, jačina RSSI signala [14].

Maria Martchouk je u svojem izvješću pisala o istraživanju vremena putovanja i analizi podataka između dvaju segmenata državne ceste 69 u Indianapolisu. U svom istraživanju je zaključila da se pomoću Bluetooth-a mogu prikupljati i analizirati dobiveni podaci o vremenu putovanja te se isto tako mogu dopunjavati podaci iz već postavljenih mikrovalnih senzora. Korištenjem triju statističkih modela uspostavila je vezu između vremena putovanja i poznatih prometnih parametara kao i mogućnost predviđanja prosječnoga vremena putovanja i varijabilnosti vremena putovanja s umjerenom točnošću [15].

U svojem članku Kim je komparirao raznovrsne tehnologije za prikupljanje podataka o vremenu putovanja. Prikupljeni su podatci pomoću TRANSMIT čitača, Bluetooth detektora i INRIX sustava, a tehnologija kojom su se uspoređivali dobiveni podatci GPS navigacija ugrađena je u vozila i CO-Pilot sustav. Zaključio je da su prikupljeni Bluetooth podaci najbliži GPS podacima u usporedbi sa drugim tehnologijama. Isto tako zaključio je da je potrebno analizirati Bluetooth podatke i detekcije pod različitim uvjetima u prometu kao što su: vremenske promjene, geometrija i udaljenost između detektora [16].

Malinovskiy je u svojem radu pisao o sustavu temeljenom na Bluetoothu, MACAD (Media Access Control Address Detection), koji se upotrebljava za očitavanje MAC adresa i uparivanje kako bi se dobili podatci o vremenu putovanja. Uspoređivao je MACAD s ALPR (Automatic License Plate Recognition) sustavom i zaključio je da su gotovo jednaki podatci dobiveni u oba sustava. MACAD sustav imao je prilično manji broj očitavanja (od 4 do 10 %) nego što je moguće dobiti ALPR sustavnom. Međutim, podatci su i nadalje bili u dostatnoj količini da bi se moglo prikazivati stanje u prometu. MACAD sustav može se upotrebljavati za mjerenje vremena putovanja kao alternativa ALPR sustavu, uz prilično niže troškove i manje komplicirano postavljanje opreme. Malinovskiy je došao do zaključka da MACAD sustav ima više koristi za kraće dionice zbog porasta broja grešaka u većim detekcijskim zonama te je predložio smanjenje detekcijskih zona [17].

Brennan je pak istraživao rješavanje teškoća prilikom prikupljanja Bluetooth podataka na duže vrijeme te uparivanje MAC adresa kako bi se izmjerilo vrijeme putovanja vozila. Problem s kojim se Brennan trebao suočiti bila su višekratna očitavanja MAC adresa istoga vozila u istoj detekcijskoj zoni. Uz to je istraživao postavljanje detektora na različite visine. Bluetooth tehnologija je pogodna za predviđanje vremena putovanja u naprednim sustavima informiranja sudionika prometa (eng. *Advanced Traveller Information System – ATIS*) i naprednim sustavima upravljanja prometom (eng. *Advanced Traffic Management Systems – ATMS*) [18].

Staszczuk i McGowen u svojem su izvještaju pisali o naprednim sustavima koji informiraju putnike o prikupljanju podataka. Jedna od metoda prikupljanja podataka jest prikupljanje podataka primjenom Blufax jedinice koja se koristi Bluetooth tehnologijom za detekciju MAC adresa Bluetooth uređaja unutar vozila u prometu. Takav sustav bilježi iznimnu preciznost u mjerenju vremena putovanja vozila, međutim kao nedostatak za dugoročna mjerenja pokazalo se napajanje koje je trebalo mijenjati svakih nekoliko dana. Zaključeno je da se takvi sustavi mogu upotrebljavati s ciljem prikupljanja podataka o prometu te da imaju primjenu u ATIS-u [19].

Barcelo je istraživao mogućnost prikupljanja podataka korištenjem Bluetooth tehnologije za primjenu u naprednim sustavima upravljanja prometom. Rezultatom istraživanja je došao do zaključka da je Bluetooth tehnologija dovoljno napredovala da bi mogla izmjeriti kvalitetne podatke o prosječnoj brzini i vremenu putovanja između više detektora. Takvi se detektori već upotrebljavaju na autocesti u Španjolskoj. Primjenom Kalmanova filtra moguće je predvidjeti vremena putovanja vozila. Osim za vrijeme putovanja Bluetooth se također upotrebljavao za prikupljanje podataka za polazišno-određišne matrice, uključujući procjenu izbora rute vozača s obzirom na zatvorene ceste te službene i neslužbene obilaznice [20].

Thouglava, Antonovs, Bingham i Hill u svojem su istraživanju ispitivali mogućnost izrade polazišno-određišnih matrica koristeći se Bluetooth tehnologijom. Glavna je zamisao da dok se induktivne petlje i videodetektori mogu rabiti za mjerenje protoka, Bluetooth tehnologijom utvrdili bi kretanje stanovnika te vrijeme putovanja unutar grada Worcestera [21].

Hainen je ispitivao mogućnost primjene podataka prikupljenih upotrebljavajući Bluetooth tehnologiju kako bi se utvrdile promjene u prometu prilikom neočekivanoga zatvaranja mosta. Bluetooth tehnologija uspješno je upotrijebljena kako bi se procijenila vremena putovanja na četiri alternativne rute. Temeljnomo analizom podataka, kada su se pojavljivali povremeni zastoji, došlo se do zaključka kako su zastoji uzrokovani lokalnim prometom, a ne zatvaranjem mosta. Isto tako, primjenom Bluetooth tehnologije utvrđeno je da je tek 9 % vozača putovalo službenom obilaznicom, 20 % hibridnom rutom službene i neslužbene rute, 57 % vozača koristilo se lokalnom rutom, a 14 % vozača koristilo se neslužbenom rutom. Tako se došlo do zaključka kako se može utvrditi izbor vozačeve rute za obilazak [22].



## 5.2. Oprema korištena za prikupljanje Bluetooth podataka

Detektor pomoću kojega su prikupljeni podatci jest *Houston Radar* model *SpeedLane Pro*. *SpeedLane Pro* radar funkcionira na frekvenciji od dvadeset četiri GHz u k-spektru, velika prednost ovog radara jest što je prenosiv te se na taj način uvijek mogu prikupljati podatci, ako se uzme u obzir da navedeni radar broji promet, a ima i mogućnost mjerenja brzine vozila. Radar je prikazan na slici 5 [24].



### Houston Radar SpeedLane® Pro

Slika 5. Radar korišten prilikom istraživanja, [24]

Bluetooth detektor koji se koristio DeepBlue Core detektor, R-model v2t (slika 6), koji koristi Ethernet ili 3G/CDMA, a ima mogućnost detekcije Bluetoothom ili bežičnom mrežom (WiFi). Korišteni Bluetooth detektor detektira sve Bluetooth standarde na više od pet stotina m udaljenosti osjetljivošću do -104 dBm, dok je područje sigurne operacije od -35 °C do +80 °C [23].



Slika 6. DeepBlue Core detektor, [23]

Korištena je *patch* antena proizvođača L-com, model RE09P za povećanje dometa s dobitkom od 8 dBi. Antena se može upotrebljavati u zatvorenom, kao i na otvorenom u ISM frekvencijskom području od 2.4 GHz, uključujući IEEE 802.11b i 802.11g, Bluetooth i za javnu bežičnu mrežu. Na slici 7 nalazi se primjer antene upotrijebljene u ispitivanju [25].



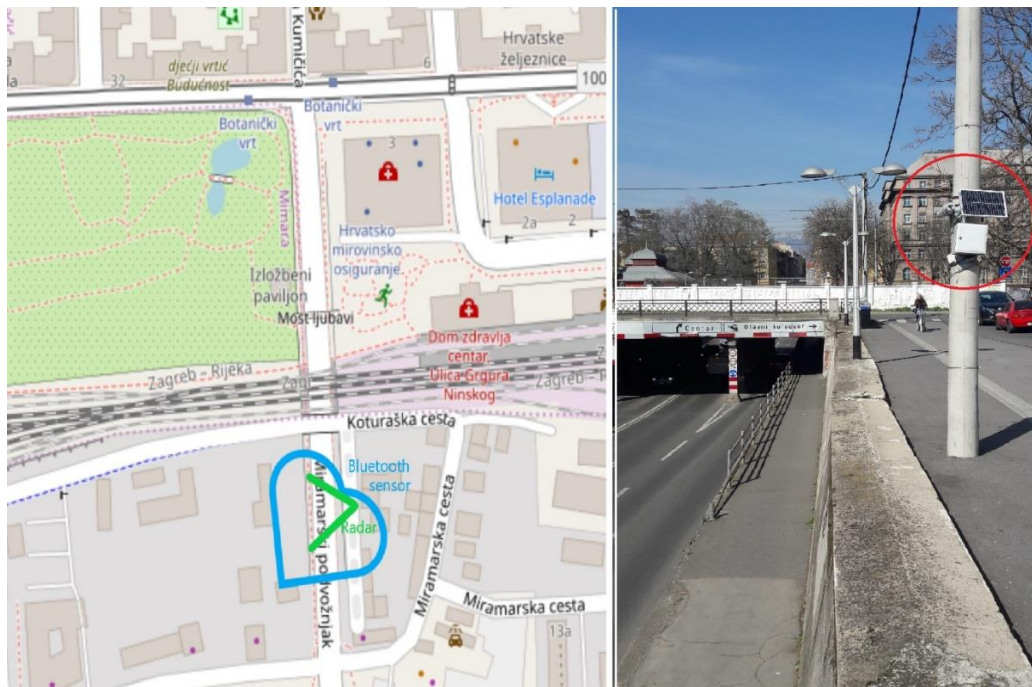
*Slika 7. Antena korištena u istraživanju, [25]*

Osim navedene opreme u istraživanju je za napajanje upotrijebljena baterija sa solarnim napajanjem bez eksternoga izvora energije. Fotonaponski sustav ima solarni panel, bateriju, tj. jedinicu za napajanje i kontroler napajanja.

Prikupljene se informacije mogu slati na server pomoću FTP, SSH i TCP sučelja ili je pak moguće pohraniti izravno na detektor i potom preuzeti na lokaciji. Detektor može pohraniti sirove podatke do godinu dana, a treba imati na umu da radi svakodnevno bez prekida.

### 5.3. Lokacija mjerenja

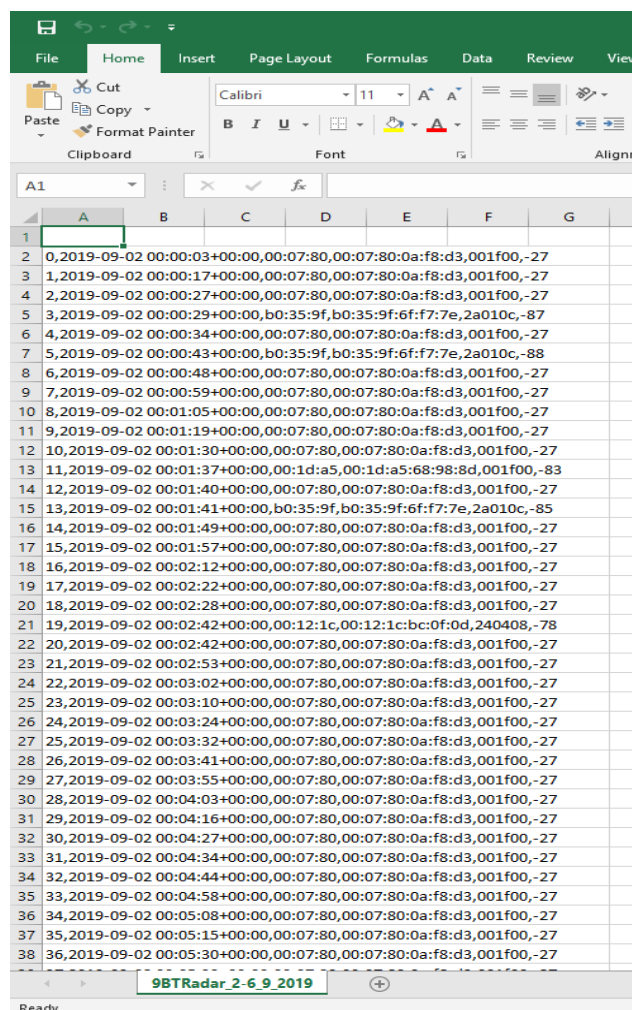
Mjerenje je provedeno u Zagrebu sa sjeverne i južne strane nadvožnjaka u Miramarskoj ulici. Oprema je postavljena na dvama rasvjetnim stupovima sa svake strane podvožnjaka. Na južnoj strani postavljeni su radar detektor prometnoga toka i Bluetooth detektor, a sa sjeverne strane postavljen je jedino Bluetooth detektor. Na slici 8 prikazana je lokacija radara detektora prometnoga toka i Bluetooth detektor.



Slika 8. Lokacija radara detektora prometnog toka i Bluetooth detektora, [23]

## 6. PRIKUPLJANJE I ANALIZA PRIKUPLJENIH PODATAKA

Bluetooth detektor prikuplja podatke tako da pretražuje svoje područje pokrivanja te dobiva podatke o aktivnim Bluetooth uređajima. Dobivene podatke pohranjuje u tablicu (slika 10). Iz navedene slike može se uočiti kako Bluetooth detektor prikuplja: datum, MAC adresu Bluetooth uređaja te iznos indikatora RSSI. Svaki put kada je uređaj detektiran naziva se pogodak (*eng. Hit*). Uređaj koji se duže zadržava u detekcijskoj zoni detektira se više puta, sve dok je uređaj u dometu.



	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	0,	2019-09-02	00:00:03+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
3	1,	2019-09-02	00:00:17+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
4	2,	2019-09-02	00:00:27+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
5	3,	2019-09-02	00:00:29+00:00,b0:35:9f,b0:35:9f:6f:f7:7e,2a010c,-87				
6	4,	2019-09-02	00:00:34+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
7	5,	2019-09-02	00:00:43+00:00,b0:35:9f,b0:35:9f:6f:f7:7e,2a010c,-88				
8	6,	2019-09-02	00:00:48+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
9	7,	2019-09-02	00:00:59+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
10	8,	2019-09-02	00:01:05+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
11	9,	2019-09-02	00:01:19+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
12	10,	2019-09-02	00:01:30+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
13	11,	2019-09-02	00:01:37+00:00,00:1d:a5,00:1d:a5:68:98:8d,001f00,-83				
14	12,	2019-09-02	00:01:40+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
15	13,	2019-09-02	00:01:41+00:00,b0:35:9f,b0:35:9f:6f:f7:7e,2a010c,-85				
16	14,	2019-09-02	00:01:49+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
17	15,	2019-09-02	00:01:57+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
18	16,	2019-09-02	00:02:12+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
19	17,	2019-09-02	00:02:22+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
20	18,	2019-09-02	00:02:28+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
21	19,	2019-09-02	00:02:42+00:00,00:12:1c,00:12:1c:bc:0f:0d,240408,-78				
22	20,	2019-09-02	00:02:42+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
23	21,	2019-09-02	00:02:53+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
24	22,	2019-09-02	00:03:02+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
25	23,	2019-09-02	00:03:10+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
26	24,	2019-09-02	00:03:24+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
27	25,	2019-09-02	00:03:32+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
28	26,	2019-09-02	00:03:41+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
29	27,	2019-09-02	00:03:55+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
30	28,	2019-09-02	00:04:03+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
31	29,	2019-09-02	00:04:16+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
32	30,	2019-09-02	00:04:27+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
33	31,	2019-09-02	00:04:34+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
34	32,	2019-09-02	00:04:44+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
35	33,	2019-09-02	00:04:58+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
36	34,	2019-09-02	00:05:08+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
37	35,	2019-09-02	00:05:15+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				
38	36,	2019-09-02	00:05:30+00:00,00:07:80,00:07:80:0a:f8:d3,001f00,-27				

Slika 9. Podaci prikupljeni Bluetooth detektorom

Tijekom istraživanja prikupljeno je ukupno 85.963 očitavanja Bluetooth detektorom. Podatci koji su analizirani u nastavku diplomskoga rada prikupljeni su u razdoblju od 2. rujna 2019. do 6. rujna 2019. za radne dane. Za daljnju analizu uzeti su podatci samo u vršnom opterećenju prometnice, tj. u razdoblju od 7 do 9 sati te od 15 do 17 sati. Na slici 11. prikazani su pročišćeni podatci.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	INDEX	DATE	TIME	MAC	X	RSSI	VENDOR		
2	2	2.9.2019	7:00:18	00:1e:3d:1e:de:76	340408	-73	ALPS ELECTRIC CO., LTD.		
3	5	2.9.2019	7:00:36	00:12:10:15:16:30	001f00	-76	WideRay Corp		
4	7	2.9.2019	7:00:44	d4:ca:6e:e9:49:4c	340408	-70	u-blox AG		
5	8	2.9.2019	7:00:47	e0:75:0a:d6:71:3c	340408	-73	ALPS ELECTRIC CO., LTD.		
6	10	2.9.2019	7:00:52	28:a1:83:ee:8c:20	340408	-60	ALPS ELECTRIC CO., LTD.		
7	11	2.9.2019	7:00:52	00:16:fe:43:b7:6e	340408	-68	ALPS ELECTRIC CO., LTD.		
8	12	2.9.2019	7:00:58	94:65:2d:a7:3c:c5	5a020c	-78	OnePlus Technology (Shenzhen) Co., Ltd		
9	15	2.9.2019	7:01:17	fc:62:b9:29:2b:49	340408	-73	ALPS ELECTRIC CO., LTD.		
10	23	2.9.2019	7:02:15	74:f0:7d:e1:7f:09	40680	-78	BnCOM Co.,Ltd		
11	24	2.9.2019	7:02:15	00:12:10:19:11:28	001f00	-81	WideRay Corp		
12	25	2.9.2019	7:02:19	00:12:10:19:11:28	001f00	-88	WideRay Corp		
13	26	2.9.2019	7:02:21	00:1f:de:09:75:4a	200404	-66	Nokia Danmark A/S		
14	27	2.9.2019	7:02:22	74:f0:7d:e1:7f:09	40680	-80	BnCOM Co.,Ltd		
15	32	2.9.2019	7:02:41	34:12:f9:9f:3e:21	5a020c	-78	HUAWEI TECHNOLOGIES CO.,LTD		
16	34	2.9.2019	7:02:45	04:b1:67:58:94:97	5a020c	-79	Xiaomi Communications Co Ltd		
17	35	2.9.2019	7:02:48	ac:c3:58:01:80:c3	340408	-71	Continental Automotive Czech Republic s.r.o.		
18	36	2.9.2019	7:02:51	00:12:07:17:30:41	001f00	-82	Head Strong International Limited		
19	38	2.9.2019	7:02:58	9c:2e:a1:d3:55:74	5a020c	-86	Xiaomi Communications Co Ltd		
20	39	2.9.2019	7:03:04	9c:2e:a1:d3:55:74	5a020c	-81	Xiaomi Communications Co Ltd		
21	41	2.9.2019	7:03:10	00:14:09:8d:5d:02	340408	-86	MAGNETI MARELLI S.E. S.p.A.		
22	44	2.9.2019	7:03:28	90:03:b7:92:8f:f2	240408	-83	PARROT SA		
23	45	2.9.2019	7:03:33	90:03:b7:92:8f:f2	240408	-57	PARROT SA		
24	46	2.9.2019	7:03:36	30:c3:d9:2d:1d:ce	360408	-88	ALPS ELECTRIC CO., LTD.		
25	48	2.9.2019	7:03:38	74:95:ec:0b:35:dc	340408	-80	ALPS ELECTRIC CO., LTD.		
26	49	2.9.2019	7:03:38	00:80:37:23:18:59	300408	-66	Ericsson Group		
27	50	2.9.2019	7:03:43	00:80:37:23:18:59	300408	-86	Ericsson Group		
28	51	2.9.2019	7:03:45	a8:54:b2:f0:2b:57	340408	-74	Wistron Neweb Corporation		
29	54	2.9.2019	7:04:04	f0:45:da:bb:60:f5	360408	-80	Texas Instruments		
30	58	2.9.2019	7:04:18	f0:45:da:bb:60:f5	360408	-66	Texas Instruments		
31	61	2.9.2019	7:04:46	f4:f5:db:cb:b4:90	5a020c	-83	Xiaomi Communications Co Ltd		
32	62	2.9.2019	7:04:49	64:d4:bd:69:6c:5b	340408	-62	ALPS ELECTRIC CO., LTD.		
33	64	2.9.2019	7:04:57	f4:f5:db:cb:b4:90	5a020c	-69	Xiaomi Communications Co Ltd		
34	65	2.9.2019	7:04:58	38:c0:96:31:eb:5e	340408	-73	ALPS ELECTRIC CO., LTD.		
35	67	2.9.2019	7:05:02	a8:c8:3a:c3:4e:48	5a020c	-83	HUAWEI TECHNOLOGIES CO.,LTD		
36	68	2.9.2019	7:05:04	00:19:78:0d:38:10	240408	-88	Datum Systems, Inc.		
37	70	2.9.2019	7:05:08	a8:c8:3a:c3:4e:48	5a020c	-84	HUAWEI TECHNOLOGIES CO.,LTD		
38	72	2.9.2019	7:05:21	00:26:7e:28:7e:e9	200408	-79	PARROT SA		

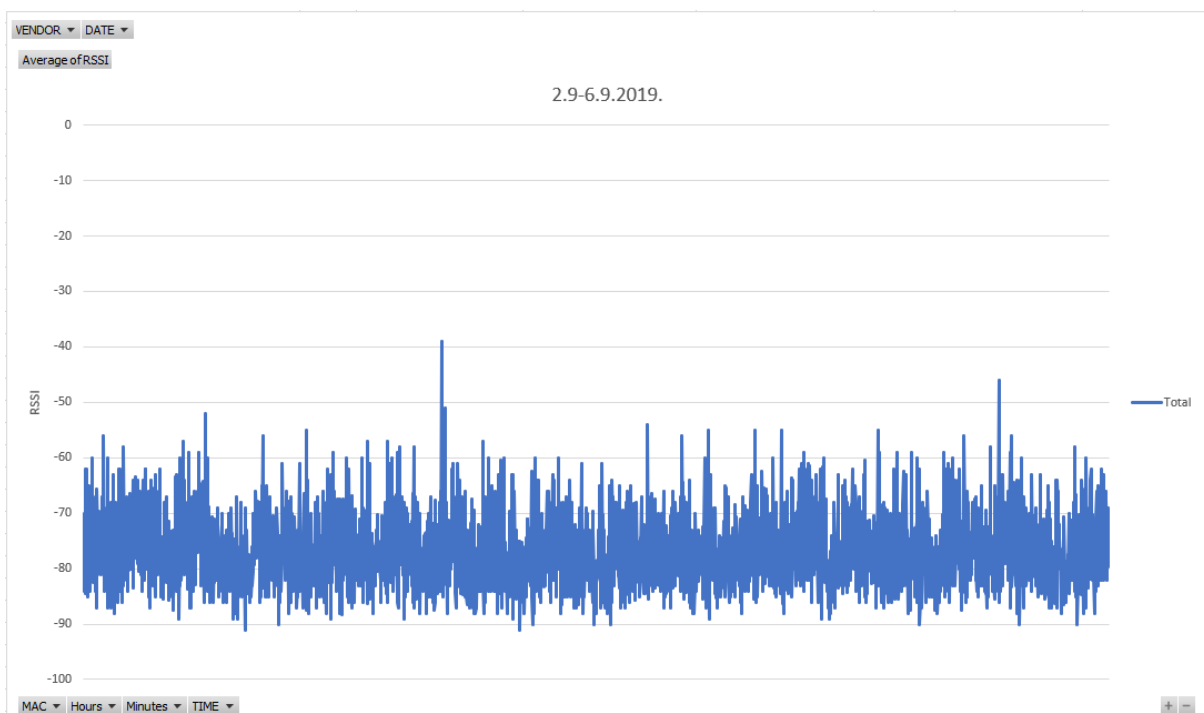
Slika 10. Pročišćeni podaci

U navedenom razdoblju prikupljeno je 4.740 jedinstvenih MAC adresa. Za svaku prikupljenu MAC adresu pomoću MA:CV:en:do:rs-a pronađen je proizvođač Bluetooth uređaja. MACVendors je API (eng. *Application Programming Interface*), odnosno sučelje za programiranje aplikacija, tj. dio programskoga koda koji ima mogućnost prepoznavanja o kojem se proizvođaču Bluetooth uređaja radi preko MAC adrese. Navedeni API proizveden je od tvrtke Nivel Technologies 2011. godine. Detektirano je 150 poznatih proizvođača Bluetooth uređaja te je 296 MAC adresa od nepoznatoga proizvođača.

Prikupljene podatke mogu podijeliti u tri skupine:

1. skupina – proizvođači mobilnih uređaja poput *Apple, Samsung, Xiaomi, Nokia*
2. skupina – proizvođači Bluetooth uređaja u autoindustriji: *Continental, Alps Electric CO., Harman/Becker Automotive Systems*
3. skupina – proizvođači Bluetooth uređaja i IT opreme kao što su *Wistron Neweb Corporation, Texas Instruments, Infineon AG.*

Iz prikupljenih podataka na slici 11. prikazan je odnos indikatora RSSI u razdoblju od 2. rujna do 6. rujna 2019. u vršnom opterećenju.



Slika 11. Odnos indikatora RSSI u razdoblju 2. 9. – 6. 9. 2019.

Sve su dobivene vrijednosti u dBm te ih je bilo potrebno pretvoriti u mW ovom formulom:

$$P_{(mW)} = 1 \text{ mW} * 10^{(P_{[mW]}/1mW)} \quad (1)$$

Za MAC adrese koje su očitane više puta izračunata je aritmetička sredina prema ovoj formuli:

$$x = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (2)$$

Dobivene iznose snaga pretvorene su u dBm prema ovoj formuli:

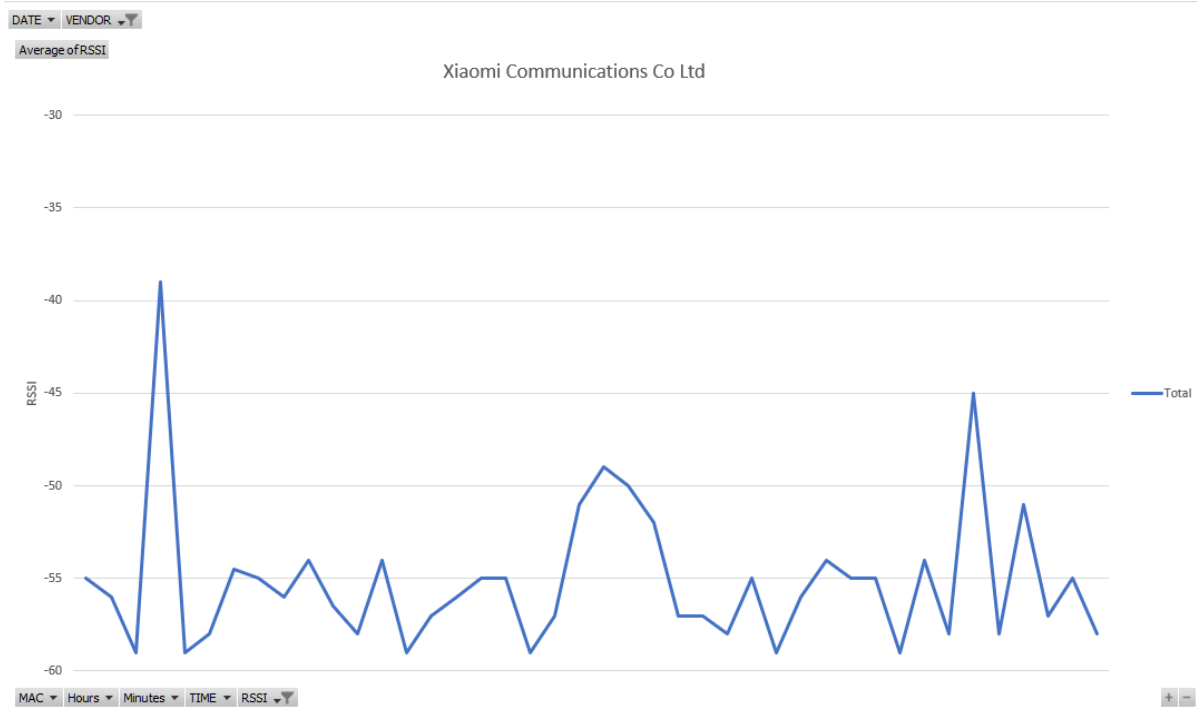
$$P_{(dBm)} = 10 * \log_{10}(P_{[mW]}/1mW) \quad (3)$$

Prema prethodno navedenim formulama prosječna vrijednosti RSSI-a iznosi -68,42 dBm, za sve detektirane Bluetooth uređaje.

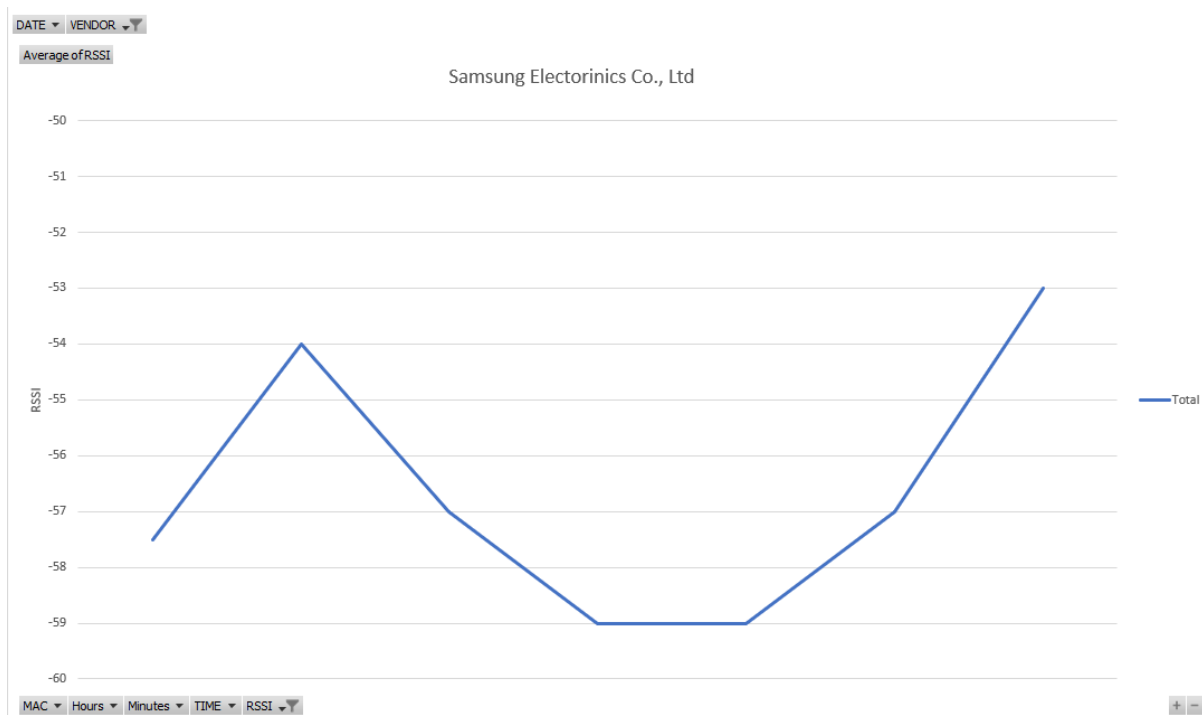
U daljnjoj analizi uzeti su podatci od proizvođača mobilnih uređaja *Xiaomi* i *Samsung* te su vrijednosti parametra RSSI podijeljene u tri skupine po jačini RSSI-a:

1. skupina od -39 do -59 dBm (jači uređaji)
2. skupina od -60 do -79 dBm (srednji uređaji)
3. skupina od -80 do -92 dBm (slabiji uređaji).

Uzeta je navedena podjela jer je -39 dBm najjača vrijednost koja je zabilježena te -92 dBm najslabija vrijednost koja je izmjerena. U nastavku su prikazani grafovi za cijeli tjedan od prethodno navedena dva proizvođača mobilne opreme koji prikazuju ukupan broj detektiranih uređaja. Na slici 12. i 13. prikazani su uređaji od -39 do -59 dBm.



Slika 12. Xiaomi od -39 dBm do -59 dBm

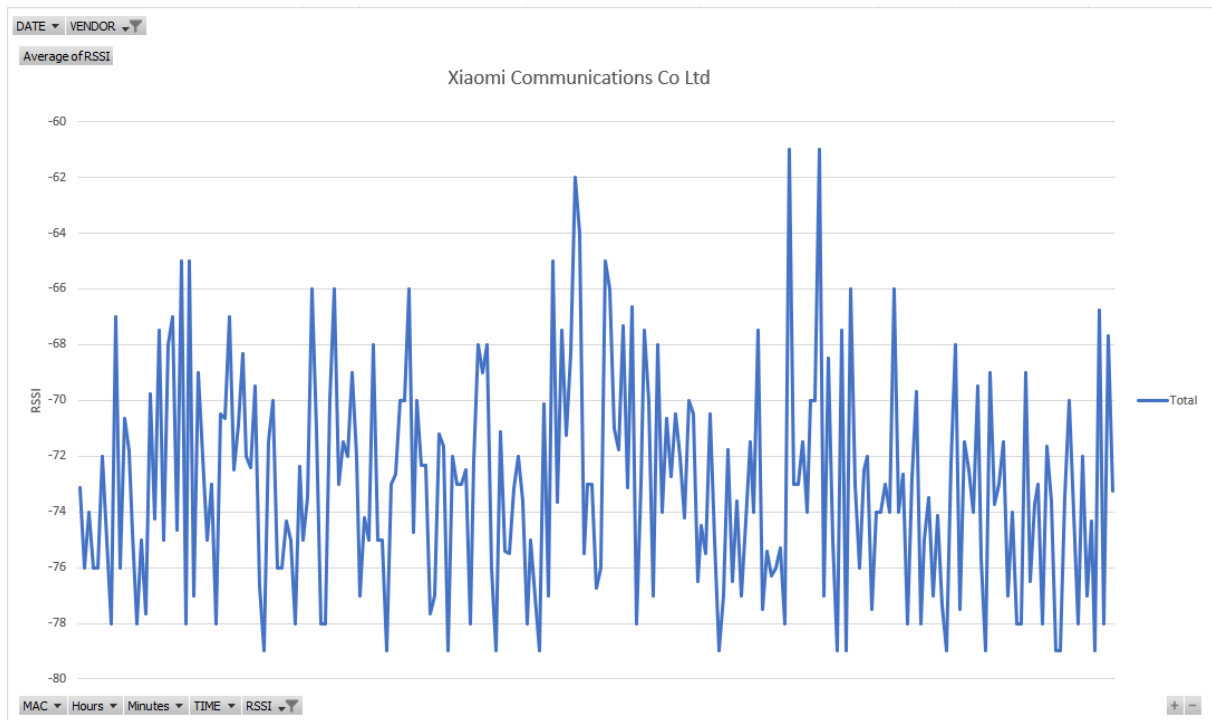


Slika 13. Samsung od -39 do -59 dBm

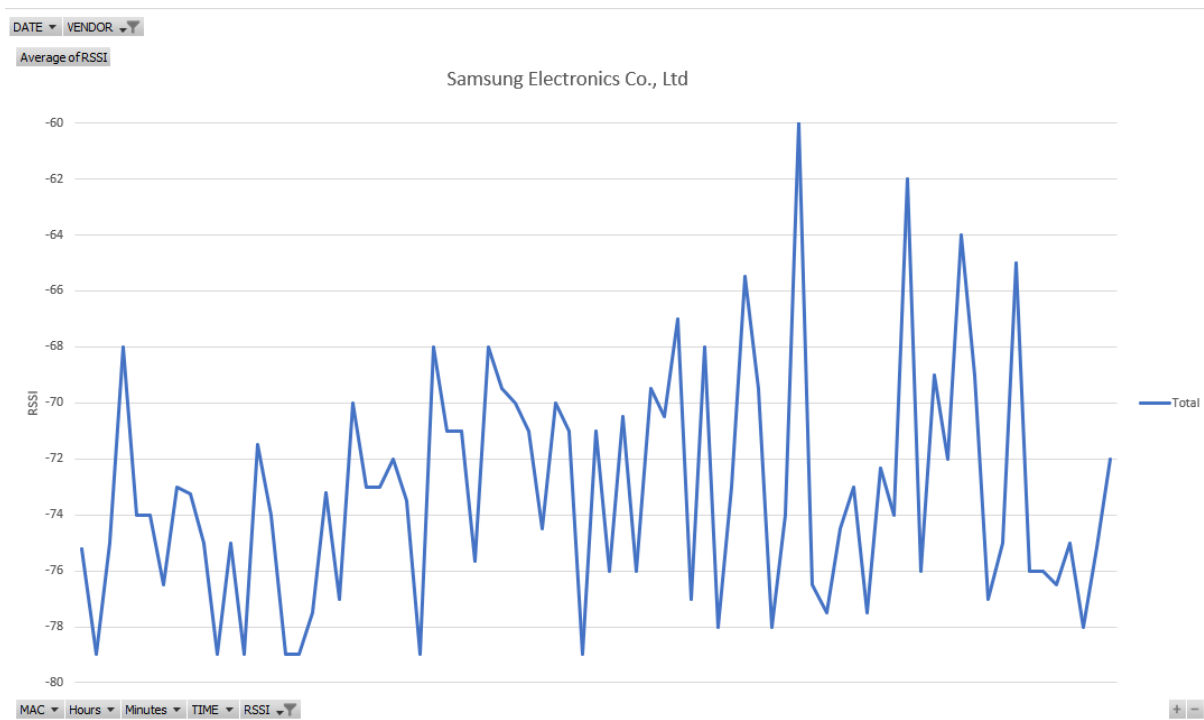


Odmah se može primijetiti kako je detektirano više Bluetooth uređaja proizvođača *Xiaomi*, čak njih 42, dok je Samsungovih zabilježeno samo njih sedam. Također, napomenuo bih kako u ovom rangu nije zabilježen nijedan Sonyjev uređaj.

U sljedećem rangu podjele od -60 do -79 dBm situacija je drukčija, odmah se može primijetiti kako je u ovom rangu izmjeren veći broj uređaja od navedenih proizvođača (slike 14 i 15).



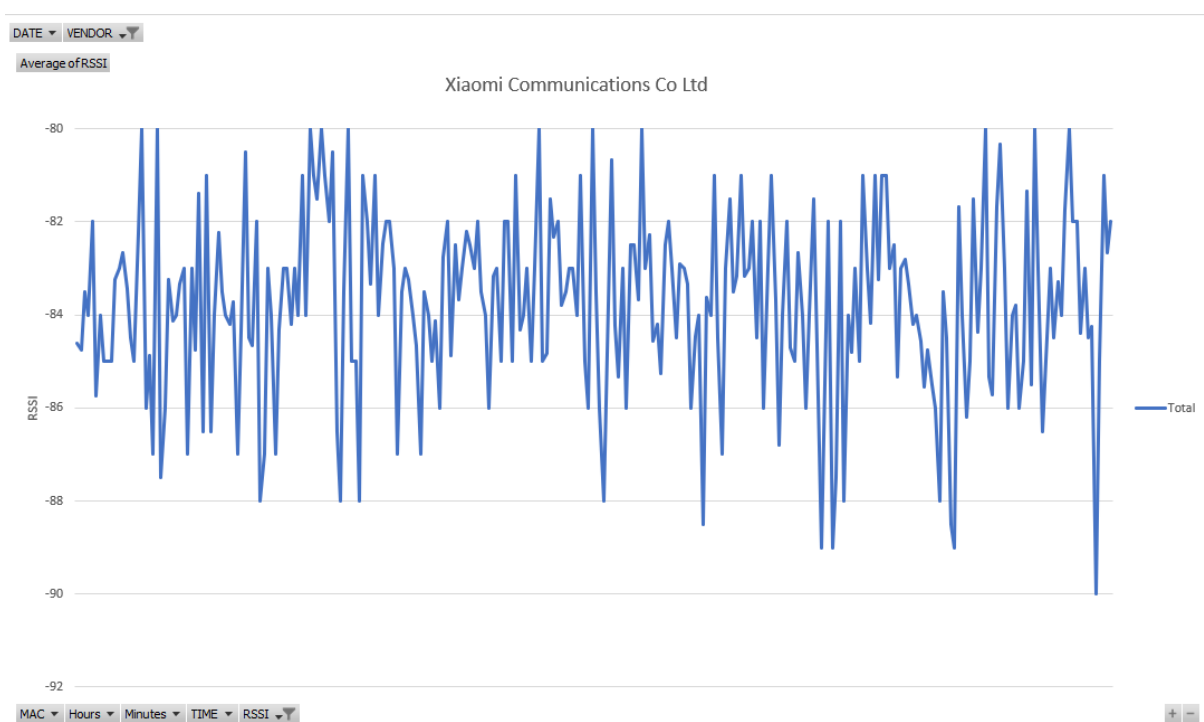
Slika 14. Xiaomi od -60 dBm do -79 dBm



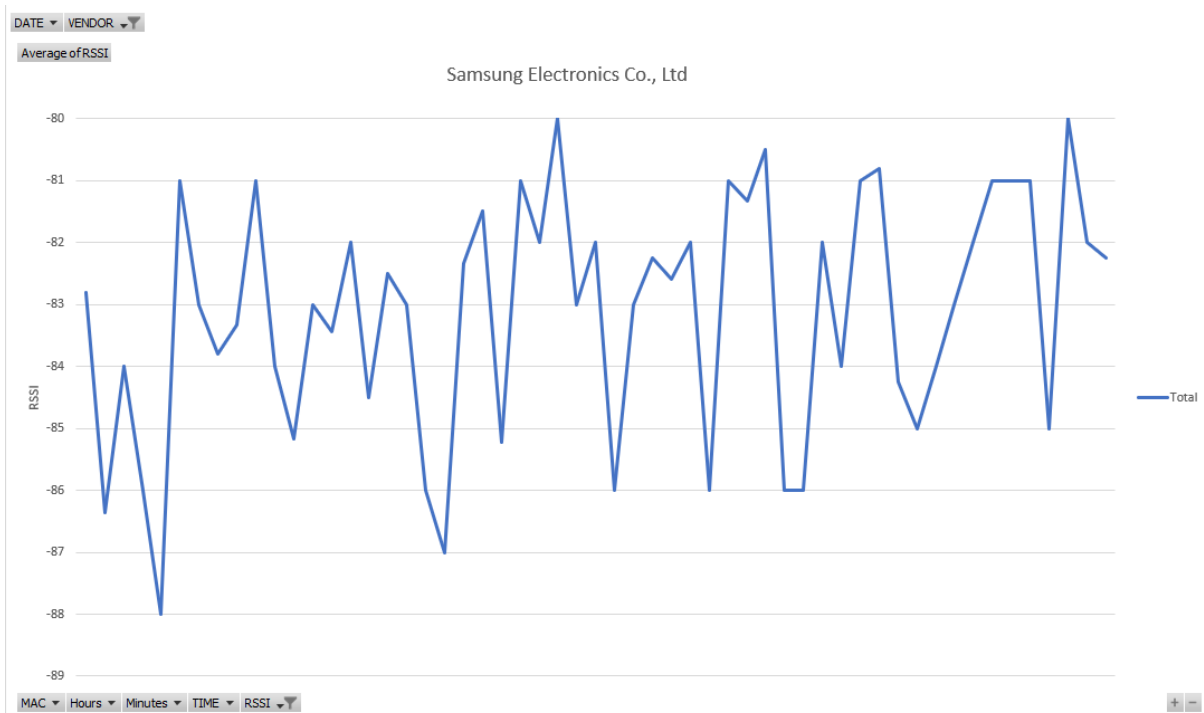
Slika 15. Samsung od -60 dBm do -79 dBm

Valja napomenuti kako je u ovom rangu zabilježeno četiri Sonyjeva uređaja i njihova prosječna vrijednost RSSI-a iznosila je -75,67 dBm.

U najslabijem rangu, odnosno od -80 do -92 dBm, situacija je sljedeća (slika 16 i 17):



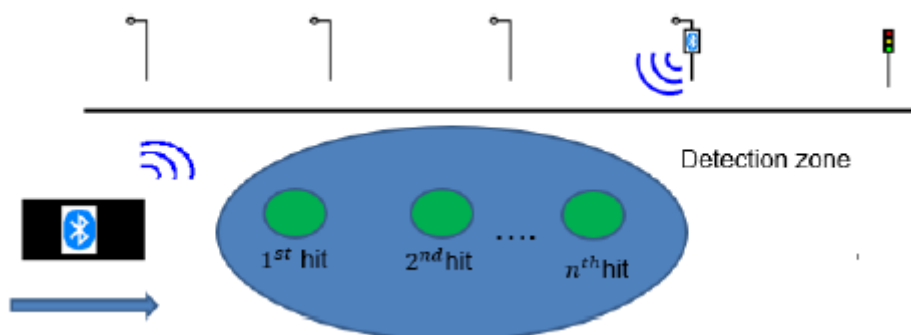
Slika 16. Xiaomi od -80 dBm do -92 dBm



Slika 17. Samsung od -80 dBm do -92 dBm

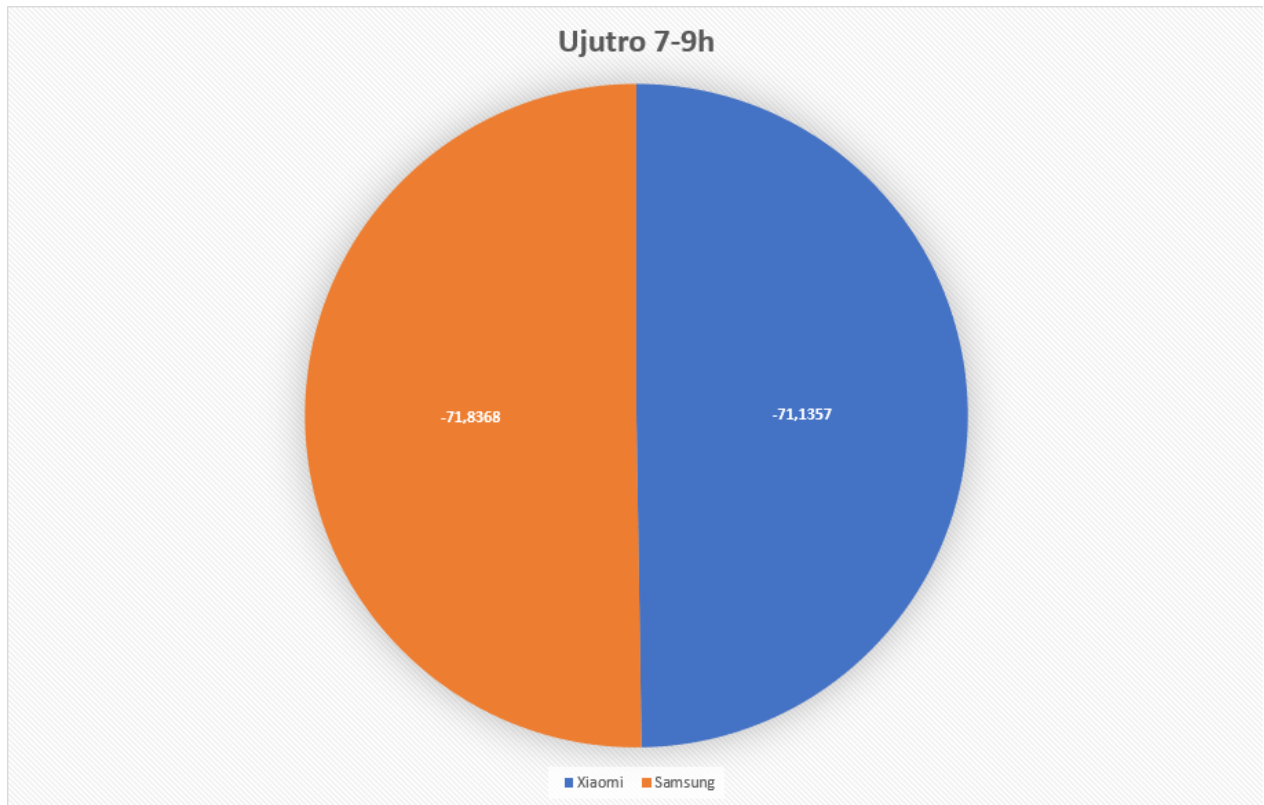
Iz priloženih slika i dalje se može zaključiti kako *Xiaomi* uređaji prevladavaju u zastupljenosti u ovom rangu čak 272 u odnosu na 55 Samsungovih uređaja.

U nastavku diplomskoga rada prikazat ću vrijednosti indikatora RSSI koje su dobivene u slučaju zagušenja, odnosno kada je Bluetooth uređaj detektiran više puta. Rezultati u nastavku dobiveni su pomoću broja pogodaka.  $N_{\text{Detekcija}}$  označava koliko je puta ( $k$ ) uređaj identificiran putem MAC adrese u jednoj detekcijskoj zoni. Na slici 18. prikazan je Bluetooth uređaj koji prolazi kroz jednu detekcijsku zonu u kojoj je njegova MAC adresa očitana više puta. Detekcija Bluetooth uređaja unutar detekcijske zone ovisi o brzini kretanja i frekvenciji uzimanja uzoraka.



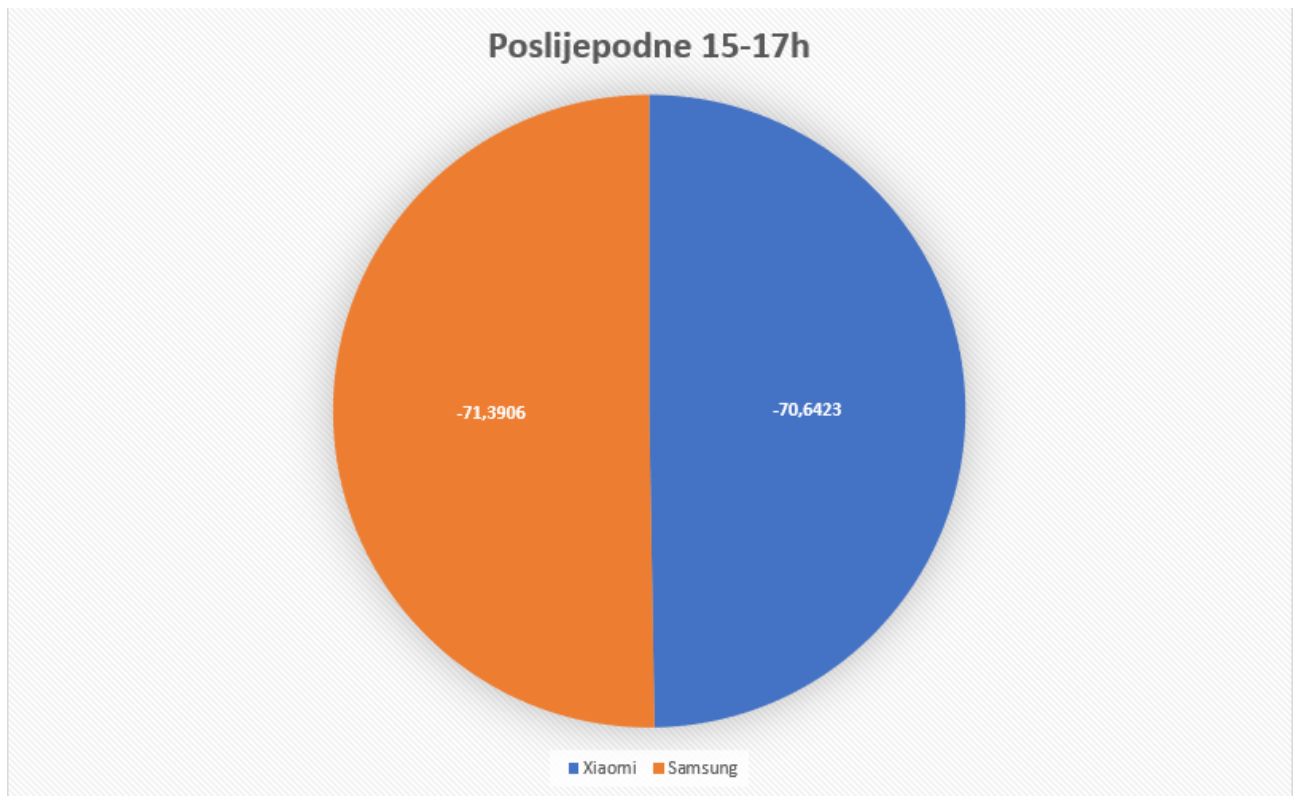
Slika 18. Ponavljajući pogodci u detekcijskoj zoni Bluetooth detektora [26]

Na slikama 19. i 20. prikazane su dobivene prosječne vrijednosti višestrukih detekcija. Rezultati su dobiveni pomoću prethodno navedenih formula, vrijednosti su računane samo za MAC adrese koje su detektirane dva i više puta. Sve su vrijednosti računane za vrijeme vršnoga opterećenja ujutro od 7 do 9 sati te popodne od 15 do 17 sati u danima od ponedjeljka do petka.



Slika 19. Prikaz prosječne vrijednosti indikatora RSSI u jutarnjem vršnom opterećenju

Detektirano je 106 *Xiaomi* uređaja i 26 Samsungovih uređaja; iako prevladavaju *Xiaomi* uređaji u jutarnjem vršnom opterećenju, možemo vidjeti kako su snage uređaja gotovo jednake.



Slika 20. Prikaz prosječne vrijednosti indikatora RSSI u poslijepodnevnom vršnom opterećenju

U poslijepodnevnom satima detektirano je 183 *Xiaomi* i 39 Samsungovih uređaja. U popodnevnom satima za *Xiaomi* uređaje snaga je nešto malo veća od Samsungovih uređaja. Prema ovakvoj podjeli na jutarnje i poslijepodnevno opterećenje mogu zaključiti kako prevladavaju *Xiaomi* uređaji, ali što se snage tiče, vidimo da je snaga između tih dvaju proizvođača mobilnih uređaja gotovo jednaka. Na slikama 19. i 20. prikazani su uređaji čija je MAC adresa očitana dva i više puta te su se logaritamske vrijednosti pretvarale u linearne nakon čega je izračunata prosječna vrijednost i nakon toga dobivene vrijednosti pretvorio sam u dBm. Izračun je rađen na temelju podataka u vršnom opterećenju za radne dane u tjednu od 2. do 6. rujna 2019.

Iz dobivenih rezultata mogu zaključiti kako za navedena dva proizvođača mobilnih uređaja ne postoje odstupanja u jačini RSSI indikatora. Ovom analizom može se vidjeti zastupljenost nekoga određenog proizvođača i njegova prosječna snaga. Uočeno je kako se pojavljuju tri skupine proizvođača Bluetooth uređaja, a to su proizvođači mobilnih uređaja, uređaji iz autoindustrije i proizvođači IT opreme. Pomoću MAC adrese može se saznati o kojem je proizvođaču Bluetooth uređaja riječ. Uočeno je kako nema odstupanja u jačini signala ovisno o proizvođaču Bluetooth uređaja te, nažalost, pomoću prikupljenih podataka ne može se saznati o kojoj je klasi Bluetooth uređaja riječ.

## 7. ZAKLJUČAK

Prikupljanje podataka u prometu može se odvijati pomoću različitih tehnologija kao što su induktivne petlje, infracrveni detektori, ali i Bluetooth, telekomunikacijski standard koji se rabi za razmjenjivanje podataka između elektroničkih aparata radiokomunikacijom kratkoga dometa. U današnje vrijeme Bluetooth tehnologija veoma je raširena pa je tako prisutna u mnogim uređajima kao što su pametni telefoni, računala, tableti, slušalice, a sve se češće nalazi i u vozilima kao radiouređaj i sl. Zbog toga Bluetooth tehnologija ima vrlo značajan potencijal kada je riječ o prikupljanju podataka o vozilima u kojima se ona rabi.

Cilj je rada mjerenje utjecaja ovisnosti parametra RSSI o karakteristikama Bluetooth uređaja pri detekciji vozila, a analizom zapisa ustanovljeno je kako nema značajnog odstupanja u jačini signala ovisno o proizvođaču opreme. Za potrebe analize korištena je usporedba dvaju poznatih proizvođača mobilne opreme *Xiaomi* i *Samsung*. Razinu parametra RSSI podijelio sam u tri jakosne skupine: 39-59 dB, 60-79 dB i 80-92 dB. Za svaku skupinu izračunata je prosječna vrijednost RSSI te za MAC adrese koje se pojavljuju više puta također je izračunata prosječna vrijednost RSSI-a i te se MAC adrese gledaju kao jedan pogodak. Isto tako napravljena je analiza kada se u obzir uzimaju svi pogodci i uočeno je kako nema odstupanja, tj. dobivena je ista vrijednost. Ovom analizom može se vidjeti zastupljenost nekoga određenog proizvođača i njegova prosječna snaga. Uočeno je kako se pojavljuju tri skupine proizvođača Bluetooth uređaja, a to su proizvođači mobilnih uređaja, uređaji iz autoindustrije i proizvođači IT opreme. Pomoću MAC adrese može se saznati o kojem je proizvođaču Bluetooth uređaja riječ. Na taj način napravljena je usporedba RSSI-a ovisno o proizvođaču. Uočeno je kako nema odstupanja u jačini signala ovisno o proizvođaču Bluetooth uređaja te, nažalost, pomoću prikupljenih podataka ne može se saznati o kojoj je klasi Bluetooth uređaja riječ.

Bluetooth tehnologija pokazala se veoma efikasnom u prikupljanju pojedinih parametara u vezi s prometnim tokom, a najveći je problem, odnosno nedostatak čišćenje podataka kako bi se dobili korisni podatci s kojima se može raditi. Bluetooth tehnologija pogodna je za upotrebu u prometu jer ima prihvatljivu cijenu i više-manje malenu energetska potrošnju. Također, golema je dobra strana mogućnost komunikacije upotrebom ostalih tehnologija poput WiFi ili ZigBee.

## LITERATURA

- [1] <https://www.cert.hr/wp-content/uploads/2019/04/NCERT-PUBDOC-2009-11-281.pdf> [Pristupljeno: siječanj 2020.]
- [2] Jelušić N, Telematička sučelja. Preuzeto sa: <http://files.fpz.hr/Djelatnici/njelusic/Niko-Jelusic-Telematicka-sucelja--nastavni-tekst.pdf> [Pristupljeno: siječanj 2020.]
- [3] Bluetooth, Kumar, H., and Ram, T., Indian Institute of Technology Hyderabad, [www.iith.ac.in/administration/ppts\\_final/B/Bluetooth.pptx](http://www.iith.ac.in/administration/ppts_final/B/Bluetooth.pptx) [Pristupljeno: siječanj 2020.]
- [4] PC CHIP. Preuzeto sa: <https://pcchip.hr/ostalo/tech/bluetooth-5-0-po-cemu-se-razlikuje-od-proslih-verzija-i-zasto-je-vazno-imati-ga/> [Pristupljeno: siječanj 2020.]
- [5] Box S. (2003) Arterial roadway traffic data collection using Bluetooth technology, Master thesis, Atlanta, Georgia Institute of technology
- [6] <http://spvp.zesoi.fer.hr/predavanja%202008/BT-skripta.pdf> [Pristupljeno: siječanj 2020.]
- [7] <https://www.bluetooth.com/about-us/> [Pristupljeno: siječanj 2020.]
- [8] <https://www.runtastic.com/blog/en/what-is-bluetooth-4-0/> [Pristupljeno: siječanj 2020.]
- [9] Bluetooth SIG working group, Bluetooth 5.0 core specifications, 2016.
- [10] 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.
- [11] Klein L. A. Sensor Technologies and Data Requirements for ITS, Artech House, Boston, London, 2001.
- [12] Bojić V., Mjerenje parametara prometnih tokova primjenom Bluetooth tehnologije, Diplomski rad, Zagreb, 2019.
- [13] Young S. Bluetooth Traffic Monitoring Technology - Concept of Operation & Deployment Guidelines, University of Maryland - Center for Advanced Transportation Technology, 2008.
- [14] KMJ Consulting. Bluetooth Travel Time Technology Evaluation - Using the BlueTOAD, KMJ Consulting, Inc., Haverford, PA, 2010.
- [15] Martchouk M., Mannering F. Analysis of Travel Time Reliability on Indiana Interstates, Purdue University, 2009.
- [16] Kim K., et al. Evaluation of Technologies for Freeway Travel Time Estimation: A Case Study of I-287 in New Jersey, Transportation Research Board 2011 Annual Meeting, Washington, D.C., 2011.
- [17] Malinovskiy Y., et al. Investigation of Bluetooth-Based Travel Time Estimation Error on a Short Corridor, 90th Annual Transportation Research Board Meeting, Washington, D.C., 2011.

- [18] Brennan T. M., et al. Influence of Vertical Sensor Placement on Data Collection Efficiency from Bluetooth MAC Address Collection Devices, *Journal of Transportation Engineering*. 2010;136(12): 1104-1109.
- [19] Staszczuk J., McGowen P. Deploying Portable Advanced Traveler Information Systems: Redding Deployment Evaluation, Western Transportation Institute, Berkeley, CA, 2009.
- [20] Barceló J., et al. Travel Time Forecasting and Dynamic OD Estimation in Freeways Based on Bluetooth Traffic Monitoring, 89th Transportation Research Board 2010 Annual Meeting, Washington, D.C, 2009.
- [21] Thogulava H., Antonovos V., Bingham S., Hill M. (2015) Developing origin-destination matrices using Bluetooth data for strategic transport models, European Transport Conference 2015, Frankfurt, Germany, 2015.
- [22] Hainen A. M., et al. Estimating Route Choice and Travel Time Reliability using Field Observations of Bluetooth Probe Vehicles, Transportation Research Board 2011 Annual Meeting, Washington, D.C., 2011.
- [23] <https://fpzhr-my.sharepoint.com/> [Pristupljeno: ožujak 2020.]
- [24] <https://houston-radar.com/products/radar-data-collectors/speedlane-pro-multi-lane-radar/> [Pristupljeno: svibanj 2020.]
- [25] <https://www.l-com.com/wireless-antenna-24-ghz-8-dbi-flat-patch-antenna-4ft-sma-male-connector> [Pristupljeno: svibanj 2020.]
- [26] Cvetek D., Horenc I., Muštra M., Jelušić N. Analysis of Correlation between Dwell Time Measured using Bluetooth Detector and Occupancy, International Symposium ELMAR, 2019, str. 31-34



## POPIS SLIKA

SLIKA 1. POVEZIVANJE UREĐAJA BLUETOOTH VEZOM, [1] .....	3
SLIKA 2. PRIMJER PRESKAKANJA FREKVENCIJE, [3] .....	5
SLIKA 3. INTRUZIVNI DETEKTOR, [12].....	11
SLIKA 4. PRIMJER ZAPISA BLUETOOTH DETEKTORA, [2].....	22
SLIKA 5. RADAR KORIŠTEN PRILIKOM ISTRAŽIVANJA, [24].....	26
SLIKA 6. DEEPBLUE CORE DETEKTOR, [23] .....	26
SLIKA 7. ANTENA KORIŠTENA U ISTRAŽIVANJU, [25].....	27
SLIKA 8. LOKACIJA RADARA DETEKTORA PROMETNOG TOKA I BLUETOOTH DETEKTORA, [23] .....	28
SLIKA 9. PODACI PRIKUPLJENI BLUETOOTH DETEKTOROM .....	29
SLIKA 10. PROČIŠĆENI PODACI.....	30
SLIKA 11. ODNOS INDIKATORA RSSI U RAZDOBLJU 2. 9. – 6. 9. 2019.....	31
SLIKA 12. XIAOMI OD -39 DBM DO -59 DBM.....	33
SLIKA 13. SAMSUNG OD -39 DO -59 DBM.....	33
SLIKA 14. XIAOMI OD -60 DBM DO -79 DBM.....	34
SLIKA 15. SAMSUNG OD -60 DBM DO -79 DBM .....	35
SLIKA 16. XIAOMI OD -80 DBM DO -92 DBM.....	35
SLIKA 17. SAMSUNG OD -80 DBM DO -92 DBM .....	36
SLIKA 18. PONAVLJAJUĆI POGODCI U DETEKCIJSKOJ ZONI BLUETOOTH DETEKTORA [26].....	36
SLIKA 19. PRIKAZ PROSJEČNE VRIJEDNOSTI INDIKATORA RSSI U JUTARNJEM VRŠNOM OPTEREĆENJU.....	37
SLIKA 20. PRIKAZ PROSJEČNE VRIJEDNOSTI INDIKATORA RSSI U POSLIJEPodnevnOM VRŠNOM OPTEREĆENJU .....	38

## POPIS KRATICA

ACL – Asynchronous Connectionless Link

AoA – Angle of Arrival

AFH – Adaptive Frequency Hopping

AVI – Automatic Vehicle Identification

AVL – Automatic Vehicle Location

API – Application Programming Interface

BER – Bit Error Rate

CFCD – Cellular Floating Car Data

CLT – Closed Loop Tracking

CoD – Class of Device

CW Doppler radar – Continuous Wave Doppler Radar

DAT – Data Association Tracking

EDR – Enhanced Data Rate

eSCO – Extended Synchronous Connections

FCD – Floating Car Data

FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum

FMCW radar – Frequency Modulated Continuous Wave radar

FPD – Floating Phone Data

GNSS – Global Navigation Satellite System

HID – Human Interface Devices

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IoT – Internet of Things

ISM – Industrial, Scientific and Medical

LLTD – Link Layer Topology Discovery

MAC – Media Access Control

NFC – Near Field Communication

OBU – On Board Unit

OUI – Organizationally Unique Identifier

PAL – Protocol Adoption Layer

PAN – Personal Area Network

RS-232 – Recommended Standard 232

RSSI – Received Signal Strength Indicator

SCO – Synchronous Connection Oriented link

SIG – Special Interest Group

TDOA – Time Difference of Arrival

WIM – Weigh in Motion

