

Detekcija pješaka u prometnoj mreži uporabom Bluetooth detektora

Novosel, Domagoj

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:119:838770>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Domagoj Novosel

**DETEKCIJA PJEŠAKA U PROMETNOJ MREŽI
UPORABOM BLUETOOTH DETEKTORA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

DETEKCIJA PJEŠAKA U PROMETNOJ MREŽI UPORABOM BLUETOOTH DETEKTORA

DETECTION OF PEDESTRIANS IN THE TRAFFIC NETWORK USING BLUETOOTH DETECTORS

Mentor: doc.dr.sc. Mario Muštra

Student: Domagoj Novosel
JMBAG: 0119012006

Zagreb, rujan 2020.

Zagreb, 2. travnja 2020.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 5916

Pristupnik: **Domagoj Novosel (0119012006)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Detekcija pješaka u prometnoj mreži uporabom Bluetooth detektora**

Opis zadatka:

Detaljno opisati komunikacijski protokol Bluetooth, navesti specifičnosti pojedinih generacije te klase uređaja s obzirom na izračenu snagu signala. Analizirati mogućnosti komercijalnih detektora Bluetooth signala i parametara koje ti uređaji mogu detektirati kako bi se provela klasifikacija korisničke opreme. Provesti prikupljanje podataka pomoći detektora instaliranih na području grada Zagreba. Odrediti značajke detektiranih signala kojima bi se mogli izdvojiti pješaci od drugih sudionika u prometu. Izraditi i validirati metodu za detekciju pješaka na temelju izdvojenih značajki iz primljenih signala.

Mentor:



doc. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:



DETEKCIJA PJEŠAKA U PROMETNOJ MREŽI UPORABOM BLUETOOTH DETEKTORA

SAŽETAK

Povećani broj uređaja u svakodnevnoj uporabi koji koriste neki oblik Bluetooth komunikacijskog protokola omogućava provođenje analiza kretanja sudionika u prometu praćenjem njihove jedinstvene MAC adrese uređaja. Signal se bilježi pomoću Bluetooth detektora te se analizira broj pojavljivanja jedinstvene MAC adrese u zoni detekcije kao i njezino vrijeme zadržavanja. Pri izradi ovog rada, prikupljeni podaci iz detektiranih uređaja su filtrirani i analizirani kako bi se moglo odrediti koji od sudionika prometa su vozila, a koji pješaci i/ili biciklisti. Promatrani parametri su broj detektiranih uređaja u zoni detekcije i vrijeme zadržavanja u zoni detekcije. Analizom dobivenih rezultata može se ustanoviti kako se Bluetooth tehnologija može efikasno koristiti za detekciju i kretanje pješaka u prometnoj mreži.

Ključne riječi: Bluetooth komunikacijski protokol, MAC adresa, detektor, pješaci

DETECTION OF PEDESTRIANS IN THE TRAFFIC NETWORK USING BLUETOOTH DETECTORS

SUMMARY

The increased number of devices in everyday use that use some form of Bluetooth communication protocol allow the analysis of movement of traffic participants by tracking their unique device MAC address. The signal is recorded using a Bluetooth detector and the number of occurrences of a unique MAC address in the detection zone as well as its retention time are analyzed. In this thesis, the data collected from the detected devices are filtered and analyzed in order to be able to determine which of the traffic participants are vehicles and which are pedestrians and/or cyclists. The observed parameters are the number of detected devices in the detection zone and the retention time in the detection zone. From the obtained results it is possible to conclude that Bluetooth technology can be effectively used for detecting and tracking pedestrians' movement in the traffic network.

Ključne riječi: Bluetooth communication protocol, MAC address, detector, pedestrians

Sadržaj

| | |
|---|----|
| 1. Uvod..... | 2 |
| 2. Komunikacijski protokol Bluetooth..... | 5 |
| 2.1 Prednosti komunikacijskog protokola Bluetooth..... | 6 |
| 2.2 Nedostaci komunikacijskog protokola Bluetooth..... | 7 |
| 2.3 Tranzicija komunikacijskog protokola Bluetooth u IoT..... | 8 |
| 3. Detektori za detekciju prometa korištenjem Bluetootha..... | 9 |
| 4. Prikupljanje i analiza prikupljenih podataka..... | 14 |
| 5. Određivanje markera za izdvajanje pješaka u ukupnom detektiranom prometu...18 | |
| 6. Izrada i validacija metode za detekciju pješaka na temelju obilježja primljenog signala..... | 21 |
| 7. Zaključak..... | 27 |
| Literatura..... | 28 |
| Popis slika..... | 30 |
| Popis tablica..... | 30 |

1. Uvod

Radi tehničke i tehnološke ograničenosti sva se pažnja usmjeravala na prikupljanje informacija o vozilima, dok su u velikoj mjeri pješaci i biciklisti ostali neistraženi. Uz klasičnu metodu ručnog brojanja u prometu, vozila su se pratila pomoću informacija kao što su prijeđeni kilometri, broj vozila na prometnici, vrijeme putovanja, potrošnja goriva i sl. Razvojem novih tehnologija otvaraju se nove mogućnosti te se tako sve više koriste detektori u svrhu praćenja svih sudionika prometa, a ne samo vozila.

Mogućnost bilježenja MAC adresa Bluetoothom (BT) povećala je broj ispitivanja o Bluetooth komunikacijskom protokolu, ali teme i izvedbe variraju. Bluetooth je zanimljiv radi sve većeg broja korisničkih mobilnih uređaja jer preko šezdeset posto globalne populacije već posjeduje jedan ili više mobilni uređaj [1]. Mobilni uređaji nisu postali samo mnogobrojni već i složeniji te generiraju sve više podatkovnog prometa, a njihova prisutnost u svakodnevnom životu konstantno generira nove mogućnosti i zahtjeve. Mogućnosti kao što su praćenje kretanja korisnika, praćenje trenda ponašanja, praćenje i bilježenje putovanja i dr. Navedene mogućnosti generiraju nova istraživanja i analize na javnim površinama ili u zatvorenim prostorima. [2]

U aspektu prometnog sustava, kretanje i broj pješaka je korisna informacija koja se može koristiti za optimizaciju prometne mreže grada, planiranje mreže, dodjeljivanja broja vozila na pojedine trase javnog gradskog prijevoza i druge [3]. Rezultati već provedenih istraživanja [4] - [7], o broju vozila ili vremenu putovanja, prikazala su dobre rezultate te tako otvorila mogućnosti za daljnjim istraživanjima. U ovom radu istražena je mogućnost primjene komunikacijskog protokola Bluetooth za brojanje pješaka.

Autor rada [8] kao cilj svojeg istraživanja ima poboljšanje pješačke infrastrukture u gradovima. Prikupljanje podataka se inače provodi ručnim brojanjem na godišnjoj bazi ili na nekom modelu procjene te je za veći obujam potrebno osmisliti bolji način. Navodi kako se detektori, kao što su infracrveni detektor ili kamere, koriste uglavnom u zatvorenim prostorima i javnim prijevozima, dok su Bluetooth detektori dosta neistražena opcija bilježenja sudionika prometa. Autor dalje navodi kako je sve više uređaja opremljeno Bluetooth i Wi-Fi modulom te tako kreiraju nove mogućnosti. Analizom je utvrđeno da je Wi-Fi detektor pogodniji za utvrđivanje pješačkog i biciklističkog prometa te kako se pomoću Wi-Fi detektora može efikasno napraviti

procjena broja stanovnika u urbanim sredinama. Glavni problem koji se spominje je odvajanje pješačkog prometa od vozila, a korištena mjera kako bi se smanjila pogreška očitano u odnosu na stvarno je razlikovanje uređaja u pokretu i stacionarnih uređaja.

Rad [9] navodi algoritme za filtriranje i grupiranje podataka koji su prikupljeni Wi-Fi i Bluetooth detektorima. Podaci su prikupljeni kroz dva mjeseca na tranzitnom terminalu te je postavljeno šest detektora. Predloženi algoritmi povećavaju kvalitetu detekcije te uklanjaju periodička i ciklička očitavanja. Autori tvrde kako je točnost algoritma u provedenom ispitivanju približno 90%. Time je utvrđeno da su neki ulazi češće korišteni te kako bi se mogla ugraditi vrata sa detektorom za bolji protok ljudi i optimizaciju pješačkog toka.

Dakle, korištenje Bluetooth i Wi-Fi detektora za detekciju pješačkog prometa prikladno je u urbanim sredinama. Tako su autori rada [10] provedenim mjerenjima odredili da je moguće povezati Bluetooth i Wi-Fi očitavanja prilikom filtriranja i analize te tako uskladiti rezultate. Korišteni su indikatori jačine primljenog signala ili RSSI (eng. *Received signal strength indication*) kako bi se odredio najbliži detektor te se odredila točnost podataka prema fizičkoj udaljenosti. Kao i kod rada [8], napravljena je analiza prema brzini kretanja kako bi se razlikovali modovi transporta, a autori su koristili brzinu od 7 km/h kao graničnu vrijednost za razlikovanje biciklista od pješaka. Problem koji navode je razlikovanje pješaka koji trče i biciklista koji se voze sporo jer se ne kreću unaprijed predviđenim i poznatim brzinama.

Prema autorima rada [11], dva problema koja su nastala prilikom prikupljanja ovakve vrste podataka su sigurnost i pristranost podataka. Privatnost i sigurnost narušava lakoća prikupljanja podataka, a pristranost podataka narušava činjenica da imućnija mlađa populacija često koristi više od jednog uređaja. Kako bi se povećala sigurnost, potrebno je koristiti enkripciju podataka i brisanje nakon nekog vremenskog perioda. Javlja se i problem vidljivosti uređaja u okolini, a autori su prikazali kako su uređaji više vidljivi u siromašnijim područjima. Ipak, zaključak je kako se Bluetooth može koristiti za praćenje i bilježenje trendova kretanja pješaka u urbanim sredinama.

Za ovaj rad provedeno je prikupljanje, filtriranje i analiza Bluetooth podataka pomoću Bluetooth detektora. U drugom poglavlju rada opisan je komunikacijski protokol Bluetooth i njegove karakteristike, specifikacije i funkcionalnosti uređaja koji ga koriste. Navedene su prednosti i nedostaci Bluetooth komunikacijskog protokola i

objašnjena je njegova svrha te načini implementacije i korištenja u svrhu prijenosa podataka.

Treće poglavlje sadrži opis detektora za detekciju prometa korištenjem komunikacijskog protokola Bluetooth i opisan je razvoj uređaja s Bluetooth mogućnostima te je povezan s razvojem mobilnih mreža i Wi-Fi-em. Opisani su načini prikupljanja podataka Bluetooth detektorima te svrhe za koje se ti podaci koriste u ovom radu.

Prikupljanje i analiza prikupljenih podataka su u četvrtom poglavlju, a prikazani su primjeri prikupljenih podataka prije filtriranja i analize te su opisane formule koje su korištene za filtriranje i analizu tih podataka. Opisan je postupak provedenog mjerenja i analize.

Nakon grupiranja prikupljenih podataka i njihove analize, u petom poglavlju prikazan je način određivanja markera za izdvajanje pješaka od ukupno detektiranog prometa.

U šestom poglavlju je opisan proces izrade i validacije metode za detekciju pješaka na temelju obilježja primljenog signala.

U sedmom poglavlju iznesena su zaključna opažanja.

2. Komunikacijski protokol Bluetooth

Komunikacijski protokol Bluetooth, uz Wi-Fi, postao je najviše korišten protokol. Oba protokola su iz skupine protokola IEEE 802 (eng. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*), a Bluetooth je standard 802.15.1. Iako je Bluetooth komunikacija kratkog dometa ima široku primjenu te ju koriste gotovo svi moderni korisnički uređaji za međusobnu komunikaciju. Primjene, među ostalim, uključuje i dijeljenje podataka između dva mobilna uređaja, povezivanje bežičnih slušalica i ostalih perifernih uređaja i sl. Razlog široke primjene su veće mogućnosti i dugotrajnost novih generacija mobilnih uređaja te razvoj Bluetooth 5.0 tehnologije koja je razvijena s idejom povećanja broja korisničkih uređaja i zahtjeva. Tako je 2018. godine registrirano preko 10 milijardi Bluetooth uređaja diljem svijetu [12].

Bluetooth se često koristi u kombinaciji s tehnologijom Wi-Fi kako bi riješio svoj problem s kratkim dometom i osigurao pristup Internetu. Mala potrošnja energije čini Bluetooth optimalnim rješenjem za korištenje u detektorima i ITS (eng. *Intelligent Transport Systems*) okruženju. Da bi se takva komunikacija mogla odvijati, svaki uređaj ima svoju jedinstvenu MAC adresu. Korištenjem navedene komunikacije moguće je prikupiti informacije kao što su karakteristike uređaja i mreže, a iz prikupljenih informacija mogu se raditi analize kretanja, trendova ponašanja, vremena putovanja, vremena zadržavanja u zoni detekcije i sl. Prednost korištenja Bluetooth detektora je u mogućnostima implementacije kod sustava i mreža koji nemaju prilagođenu infrastrukturu za ITS bez velikih ulaganja. Time se otvara prilika implementacije po gradskim središtima i prometnim mrežama koje su vrlo prometne ili gdje ne postoji mogućnost implementacije bez značajnih prometnih regulacija za vrijeme radova.

Kako bi se lakše razumjelo način na koji Bluetooth detektori bilježe sudionike prometa potrebno je navesti neke tehničke karakteristike protokola i uređaja koji se koriste. Svaki uređaj ima svoju jedinstvenu MAC adresu koja služi kao identifikator u komunikaciji, a Bluetooth i Wi-Fi moduli uređaja imaju svoje jedinstvene identifikatore. Prema tome, detektori detektiraju pojedine komunikacijske module te prikupljaju njihove jedinstvene identifikatore, podatke o vremenu u UNIX formatu, tip uređaja te snagu u dBm.

Bluetooth modul prenosi u ISM (eng. *Industrial, Scientific and Medical*) frekvencijskom području, na frekvenciji oko 2,4 GHz. ISM frekvencijsko područje služi komunikaciji i prijenosu podataka u medicini, znanosti i raznim industrijama, a izražena snaga je ograničena kako ne bi dolazilo do istokanalne interferencije između uređaja. Oprema koja se koristi u takvim uvjetima mora biti otporna na smetnje i tolerirati šumove koje generiraju ISM. [13]

Komunikacijski protokol Bluetooth koristi tehnologiju komunikacije u proširenom spektru sa skakanjem frekvencija ili FHSS kako bi izbjegao interferenciju. FHSS pruža mogućnost komunikacije u područjima visoke elektromagnetske interferencije. Frekvencijsko skakanje je do 1600 puta po sekundi, a koristi se i adaptivno frekvencijsko skakanje ili AFH, kao nadogradnja na skakanje proširenog spektra. Glasovna komunikacija odvija se preko tri kanala, a podatkovni prijenos doseže brzine do 2 Mbit/s.

Tehnologija i standard Bluetooth planirani su i dizajnirani kako bi osigurali sigurnost korisnicima. Zbog toga postoje i skupine koje se bave rješavanjem takvih problema, preko novih ažuriranja i korisničkih savjeta i naputaka. Preporuke su da se upotrebljavaju duge lozinke sa kombinacijama slova, brojeva i posebnih znakova te preporučaju oprez prilikom uparivanja uređaja i vidljivosti uređaja u javnosti. [14]

2.1 Prednosti komunikacijskog protokola Bluetooth

Velika prednost komunikacijskog protokola Bluetooth je bežični prijenos, a iako je mali domet često nedostatak može se smatrati prednost s aspekta sigurnosti i vidljivosti uređaja iako otežava detekciju. Uz to, Bluetooth uređaji se moraju upariti prije komunikacije, a time se omogućava bilježenje podataka kao što su lokacija, datum i vrijeme, identifikacija uređaja i dr. Zbog toga su vrlo pogodni za korištenje u nadzoru i upravljanju prometnom mrežom.

Mnogobrojnost uređaja je još jedna velika prednost jer gotovo ne postoji mobilni uređaj koji ne sadrži neku vrstu Bluetooth komunikacijskog protokola. Bluetooth je postao standard komunikacije kratkog dometa, a time će se i broj uređaja samo povećavati. Kako bi se ostvarila osnovna komunikacija dovoljno je imati samo uređaj podešen da bude vidljiv u svojoj okolini.

Energetska učinkovitost je nešto što je ovu tehnologiju uzdiglo još više. Zbog sve bolje energetske učinkovitosti uređaja i “*Bluetooth Low Energy-a*” (BLE-a) moguće ga je koristiti u malim prijenosnim uređajima bez velikim potrebama za energijom. Time je pogodan za detektore i ITS koncepte.

2.2 Nedostaci komunikacijskog protokola Bluetooth

Najveći nedostatak praćenja sudionika prometa korištenjem Bluetooth detektora je razlika između izmjerenog i stvarnog stanja. Neki sudionici često imaju više od jednog mobilnog uređaja te tako umjetno povećavaju izmjerene vrijednosti. Također, neki sudionici nemaju niti jedan uređaj ili isključuju vidljivost uređaja. Uz to, vrlo je bitan način filtriranja sudionika prometa, te je zato potrebno efikasno podijeliti vozila od pješaka i biciklista.

Bitan nedostatak je i domet, koji ovisi o klasi odašiljača. Pa tako klasa jedan maksimalno dozvoljene snage od 100 mW ili 20 dBm odašilje do otprilike sto metara, klasa dva maksimalne dozvoljene snage 2,5 mW ili 4 dBm odašilje oko deset metara, a klasa tri maksimalne dozvoljene snage od 1 mW ili oko 0 dBm odašilje oko jedan metar. [4] Uređaji koji imaju višu klasu imaju i veću potrošnju energije, a time su pogodniji za veće uređaje kao što su prijenosna i stolna računala. Uređaji treće klase pogodni su za male prijenosne uređaje i detektore zbog svoje energetske učinkovitosti.

Ograničenje brzina prijenosa podataka su teorijski 24 Mbit/s te su mala u odnosu na Wi-Fi (600 Mbit/s) ili USB 3.0 (5 Gbit/s). Prema tome Bluetooth nije pogodan za prijenos kvalitetnog video sadržaja ili vremenski osjetljivog sadržaja. Optimalan je za prijenos velike količine vremenski ne osjetljivih podataka kao što su tekstualne datoteke sa zapisima prikupljenim detektorima.

Još jedan nedostatak je sigurnost Bluetooth komunikacije. Prva inačica Bluetootha nije koristila nikakve mjere zaštite, te su se navedeni uređaji mogli upariti s drugim uređajima bez ikakvog prehodnog odobrenja. Kasnije je svaka novija inačica koristila sve bolje mehanizme zaštite kako bi povjerljivost komunikacije bila što veća. U sigurnosne propuste ulazi i ljudska pogreška, te je tako moguće slučajno odobriti uparivanje s drugim uređajima ili slučajno prihvaćanje datoteke od nepoznatog primatelja koja može biti zlonamjernog sadržaja. [15]

2.3 Tranzicija komunikacijskog protokola Bluetooth u IoT

Komunikacijski protokol Bluetooth pratio je uglavnom evoluciju mobilnih mreža i uređaja. Moderni Bluetooth udaljio se od originalne ideje, ali se prilagodio novoj tehnologiji i zahtjevima te time zaslužio svoju popularnost i rasprostranjenost. Prilagodba ipak nije bila trenutna te su u početku brzine i ograničenja bile veliki nedostatak. [16]

Prvi veliki iskorak bio je 2009. godine i Bluetooth 3.0, koji je povećao brzine prijenosa. Nedostatak Bluetootha 3.0 ipak je ostala značajna potrošnja energije koja je onemogućavala efektivno i dugotrajno korištenje u malim bežičnim uređajima. [16]

Taj problem je riješen vrlo brzo, samo godinu dana kasnije kada se strategija razvoja preusmjerila na IoT (eng. *Internet of Things*) te povezivanje i prijenos podataka između senzorske opreme. Tako je 2010. godine Bluetooth 4.0 predstavio “*Bluetooth Low energy*” ili BLE te time napravio još jedan veliki iskorak prema korištenju u IoT okruženjima. [17], [18] Tablica 1. prikazuje razvoj Bluetooth komunikacijskog protokola, mobilne generacije u vrijeme kada se koristio pojedini, godine u kojima su predstavljena poboljšanja te opis novih značajka.

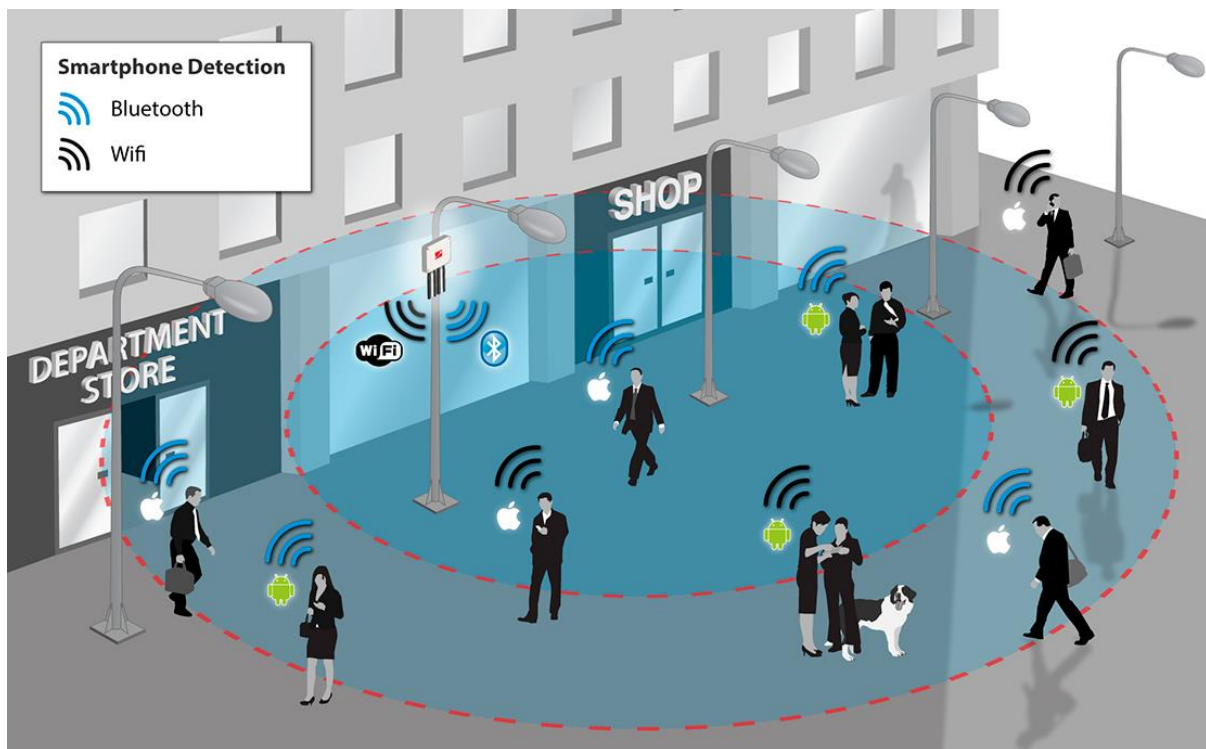
Tablica 1. Prikaz generacija Bluetooth komunikacijskog protokola [16] - [18]

| Bluetooth | Mobilna generacija | Uvedene značajke | Godina |
|------------------|---------------------------|---|---------------|
| 1.0 | 2G | Brzina prijenosa do 1 Mbit/s | 1999. |
| 2.0 | 2.75G | Brzina prijenosa do 3 Mbit/s (Enhanced Data Rate - EDR) | 2004. |
| 3.0 | 3.5G | Brzina prijenosa do 84 Mbit/s | 2008. |
| 4.0 | 4G | Brzina prijenosa ponovno do 1 Mbit/s, ali uveden “Bluetooth Low energy” BLE | 2010. |
| 5.0 | 4.5G | Brzina prijenosa do 48 Mbit/s, optimiziran BLE način rada | 2016. |

Razvoj tehnologije mobilnih mreža potakao je i razvoj Bluetooth komunikacijskog protokola. Pravovremena promjena u razvoju omogućila je održivost na tržištu i otvaranje novih tržišnih mogućnosti za Bluetooth.

3. Detektori za detekciju prometa korištenjem Bluetootha

Inteligentni transportni sustavi implementiraju se u sve većoj mjeri zbog povećanja prometa vozila i pješaka kao sustav optimizacije prometne mreže. Povećani broj sudionika u prometu svakodnevno opterećuje prometni sustav, a bez novih pametnih rješenja gotovo je nemoguće efikasno i optimalno organizirati transport i promet, osobito u velikim gradovima. Korištenjem raznih detektora u prometnoj mreži moguće je pravovremeno i točno distribuirati informacije kako bi se olakšalo upravljanje prometom. Te informacije mogu biti javne i dostupne korisnicima ili mogu biti namijenjene samo korištenju unutar ITS-a. Takav način upravljanja mora posjedovati određeni stupanj inteligencije kako bi mogao brzo i efikasno reagirati na promjene koje nastaju u prometu zbog njegove dinamične prirode. Slika 1. prikazuje kako se pomoću Bluetootha i WiFi-a prikupljaju podaci o uređajima u zoni detekcije koji se potom obrađuju, tako da se iz njih dobe korisne informacije.



Slika 1. Sustav brojanja pješaka korištenjem BT detektora [20]

ITS sustav upravljanja prometom koji se temelji na Bluetooth i Wi-Fi tehnologijama ne zahtijeva velike investicije i značajne radove kako bi se implementirao. Detektori su malih dimenzija te ne zahtijevaju veliku količinu energije za rad. Dovoljno je postaviti neku vrstu akumulatora i solarnu ploču ili pak spojiti žičano

na mrežu ako za to postoji mogućnost. Kod bežične izvedbe potrebno je paziti da je kapacitet akumulatora dovoljno velik kako bi detektor nastavio raditi u slučaju lošeg vremena. Kod dizajniranja ITS sustava za upravljanje prometom potrebno je paziti da je on točan, učinkovit, siguran te da ne utječe loše na ekologiju, vizualno, zračenjem i sl.

Kako je prikazano na slici 1. detektore je moguće postaviti na bilo koju višu poziciju koja ima pregledno željeno područje te se može koristiti više detektora kako bi se povećala zona detekcije. Ovisno o izvedbi detektora moguće je detektirati samo usku zonu ispred njega, zonu između dvije postavljene točke te veću zonu detekcije ovalnog oblika. [6] Svaki sudionik prometa ne posjeduje nužno uređaj koji se može detektirati, dok neki posjeduju više od jednog. Radi toga potrebno je prikupljene podatke filtrirati i analizirati, kako bi se mogli odvojiti uređaji koji se ponavljaju, vozila od pješaka i biciklista, kriva očitavanja i sl.

Kod provedenih mjerenja korišten je DeepBlue R-model v2t detektor koji ima mogućnost bilježenja Bluetooth ili Wi-Fi signala na udaljenosti do 500 metara na otvorenom sa osjetljivošću prijarnika od -104 dBm. [20] Povezuje se preko Ethernet porta ili 3G mobilne mreže, a podatkovni promet se odvija preko FTP, SSH TCP sučelja ili se pohranjuje na memoriju detektora. Može pohranjivati prikupljene podatke više od godinu dana bez prestanka. Lokacija detektora je podvožnjak u Miramarskoj ulici u Zagrebu, a postavljen je na visini od oko 5 metara iznad kolnika.

Detektor prikuplja podatke te ih prikazuje u tabličnom obliku. Prikupljeni podaci su Unix vremenska oznaka, MAC adresa, prvi dio MAC adrese koji označava proizvođača, kod tipa uređaja i snagu u dBm kao što je prikazano u tablici 2.

Tablica 2. Oblik tablice podataka iz DeepBlue detektora

| Vremenska oznaka UNIX | MAC adresa | Početak MAC adrese | Kod tipa uređaja | Snaga [dBm] |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------|
| 1568632271 | 00:07:80:0a:f8:d3 | 00:07:80 | 001f00 | -27 |
| 1568646506 | fc:19:10:aa:27:a3 | fc:19:10 | 5a0204 | -88 |
| 1568672331 | 9c:8d:7c:c0:55:1c | 9c:8d:7c | 340408 | -62 |
| 1568709900 | 00:03:19:85:3b:2d | 00:03:19 | 360408 | -80 |
| 1568736908 | 00:80:37:22:d8:c7 | 00:80:37 | 300408 | -84 |
| ... | ... | ... | ... | ... |

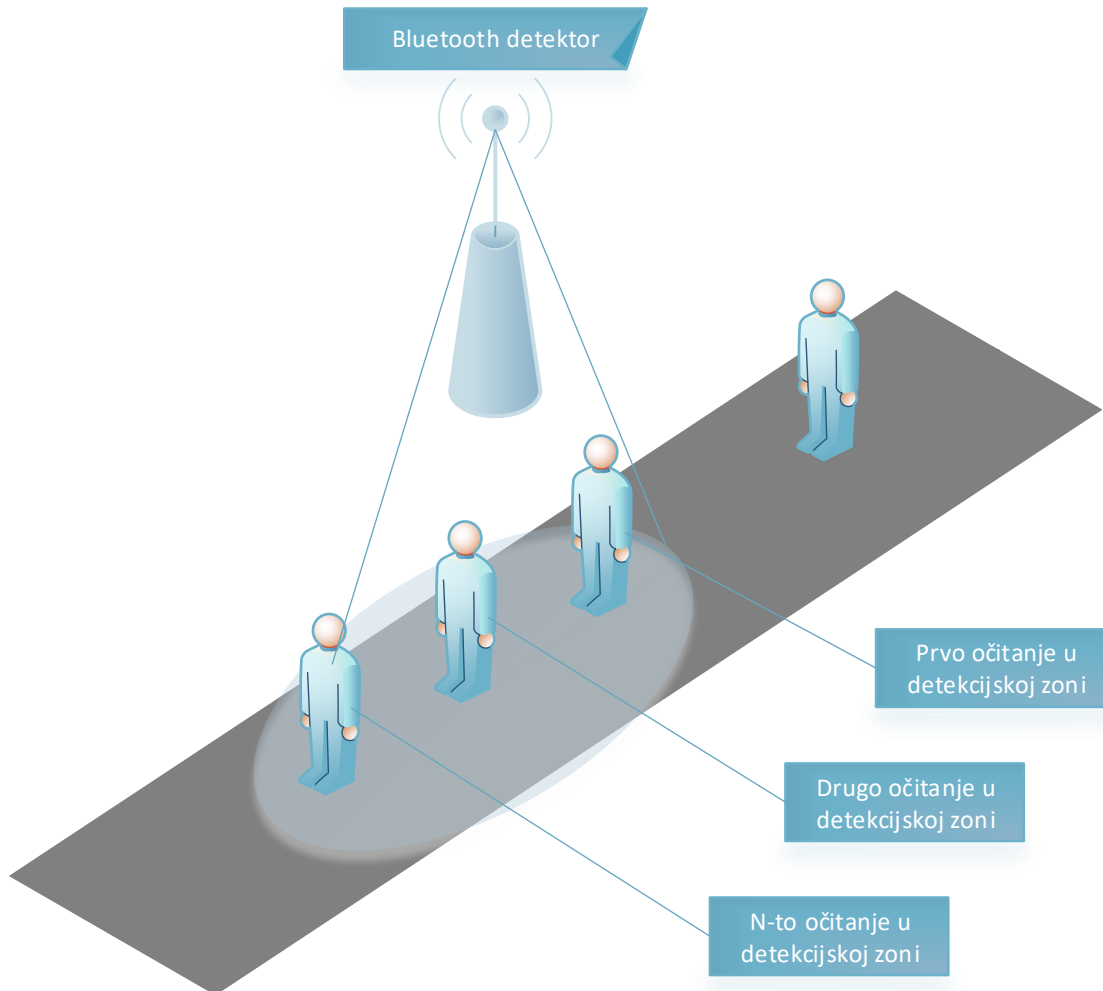
Ako je uređaj u dometu detektora, njegova MAC adresa zapisivat će se dok ne izađe iz zone detekcije. Uređaji čije se MAC adrese pojavljuju više puta zadržavaju se u zoni detekcije duži vremenski period, stoga ih je potrebno filtrirati tako da se analiziraju samo jedinstveni uređaji. Svaka pojedina detekcija naziva se pogodak (eng. *Hit*).

Na slici 2. je prikazan pješak koji prolazi kroz zonu detekcije Bluetooth detektora, te može biti više puta detektiran u odnosu na ostale sudionike u prometu s obzirom da se u odnosu na druge sporije kreće.

Formula koja se koristi za izračunavanje broja pogodaka označena je kao N_{pogoci} , a određuje se prema broju detekcija MAC adrese uređaja koji se kreću kroz zonu detekcije. Služi kako bi se odredio pojedini uređaj koji se pojavljuje više puta u

zoni detekcije što je prikazano na slici 2., jer što se pješak duže zadržava u zoni detekcije Bluetooth detektora, to je više puta detektiran.

$$N_{pogoci} = \sum_{i=1}^k MAC\ adresa_i \text{ [pogodak]} \quad (1)$$



Slika 2. Prikaz metode očitavanja jednog pješaka u zoni detekcije

Moguće je mjeriti i vrijeme putovanja između dva Bluetooth detektora promatrajući prvi pogodak jedinstvene MAC adrese na prvom detektoru i posljednji ili prvi pogodak na drugom. Može se napraviti analiza prema brzini kretanja, koja se određuje pomoću vremena putovanja između detektora. Tako se mogu određivati

trendovi kretanja te se mogu optimizirati prometni procesi ovisno o vršnim satima i sličnim parametrima.

Problem koji može nastati je ako se koristi samo jedan detektor jer je onda broj detektiranih vozila često veći od stvarnog. To se umanjuje kada se koriste dva detektora jer je moguće vršiti provjere i filtriranja prikupljenih podataka koji se ponavljaju ili su krivo detektirani. Uz to, nema svaki sudionik prometa Bluetooth uređaj ili ima više od jednog, te zato može nastati razlika u odnosu na stvarno stanje.

Dakle, veći broj detektora smanjuje pogrešku nastalu prilikom detekcije kroz analizu svih prikupljenih podataka. Tako se gotovo uvijek postavljaju mreže Bluetooth detektora duž prometne prometne infrastrukture kako bi se moglo bolje pratiti kretanje sudionika na većoj dionici. Mreža detektora pomaže u razumijevanju trendova kretanja i praćenju osnovnih prometnih parametara kako bi se moglo raditi predviđanje, dizajniranje i upravljanje prometnog sustava. Opširnije o vremenu putovanja je opisano u nastavku rada.

4. Prikupljanje i analiza prikupljenih podataka

Svi podaci o aktivnim Bluetooth uređajima su prikupljeni iz zone detekcije dva Bluetooth detektora postavljena iznad podvožnjaka u Miramarskoj ulici u Zagrebu. Lokacije i prikaz Bluetooth detektora prikazano je na slici 3.



Slika 3. Lokacije i prikaz Bluetooth detektora

Svrha analize je ispitati koliko je praktičan i efikasan Bluetooth detektor u praćenju pješaka u prometnoj mreži. Vremenski uvjeti nemaju veliki utjecaj na pouzdanost ili raspoloživost detektora i mjerenja, ali mogu utjecati na raspoloživost ako se koristi neka vrsta solarnog napajanja. Zbog oborina moguća su neka pogrešna očitavanja, ali ne bi trebala nepovoljno utjecati na završnu statistiku ukupnih mjerenja.

DeepBlue detektor generira prikupljene podatke u obliku prikazano prethodno u tablici 2. Podaci sadrže redni broj, datum, vrijeme, vremensku zonu, prvi dio MAC adrese detektiranih uređaja, MAC adresu detektiranih uređaja, kod tipa uređaja te snagu signala u dBm.

Prvi korak koji je potrebno napraviti nakon prikupljenih podataka, je pretvoriti UNIX vremensku oznaku u UTC (eng. *Coordinated Universal Time*) vremensku oznaku, kako bi se kasnije prikupljeni podaci mogli jednostavnije analizirati. Navedeno je prikazano u tablici 3.

Tablica 3. Oblik tablice s UTC vremenskom oznakom

| Vremenska oznaka UTC | MAC adresa | Početak MAC adrese | Kod tipa uređaja | Snaga [dBm] |
|-----------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------|
| 2019-09-16 11:11:11 | 00:07:80:0a:f8:d3 | 00:07:80 | 001f00 | -27 |
| 2019-09-16 15:08:26 | fc:19:10:aa:27:a3 | fc:19:10 | 5a0204 | -88 |
| 2019-09-17 16:15:08 | 00:80:37:22:d8:c7 | 00:80:37 | 300408 | -84 |
| 2019-09-20 18:19:09 | c0:ee:fb:db:d1:fd | c0:ee:fb | 5a020c | -77 |
| 2019-09-20 22:41:15 | b4:ec:02:4f:b3:a0 | b4:ec:02 | 360408 | -82 |
| ... | ... | ... | ... | ... |

Format datuma je godina, mjesec, dan, nakon čega je prikazano vrijeme detekcije. MAC adresa označava pojedini Bluetooth uređaj u zoni detekcije te se ista MAC adresa može pojavljivati više puta, ovisno o zadržavanju uređaja u zoni detekcije. Prvi dio svake MAC adrese označava proizvođača Bluetooth opreme te se pomoću nje može odrediti o kojem je proizvođaču riječ. Ispitivanja autora rada [4] pokazala su kako metoda određivanja proizvođača pomoću MAC adrese nije pouzdana te je potrebna detaljnija analiza kako bi se utvrdila pouzdanost informacija dobivenih tim putem. Kod tipa uređaja također nije pouzdan pokazatelj te za njega isto vrijedi navedeno. Oba podatka je moguće detaljnije analizirati kako bi se pokušala naći pouzdana korelacija i provjerila točnost rezultata. Posljednji parametar koji detektor bilježi je snaga u dBm, a varira ovisno o snazi odašiljača uređaja i njegovoj udaljenosti od detektorskog uređaja te smještaju u zoni detekcije. Kako bi se ovaj parametar koristio u analizi potrebno je obaviti detaljnu analizu te ustanoviti korelaciju između smještaja uređaja u zoni detekcije i snage njegovog odašiljanja. Problem nastaje jer neki uređaji generiraju snažniji signal od drugih, pa je tako teško odrediti udaljenost od detektora.

Obradu prikupljenih podataka potrebno je napraviti prije analize, kako bi se izdvojili samo željeni podaci i parametri. Prvo je potrebno izdvojiti pojedine uređaje pomoću MAC adresa, kako se ne bi ponavljali cijelo vrijeme zadržavanja u zoni detekcije. U tom postupku izbacuju se i podaci o uređajima koji se pojavljuju cijelo vrijeme provođenja mjerenja smatrajući ih greškom ili stacionarnim uređajima.

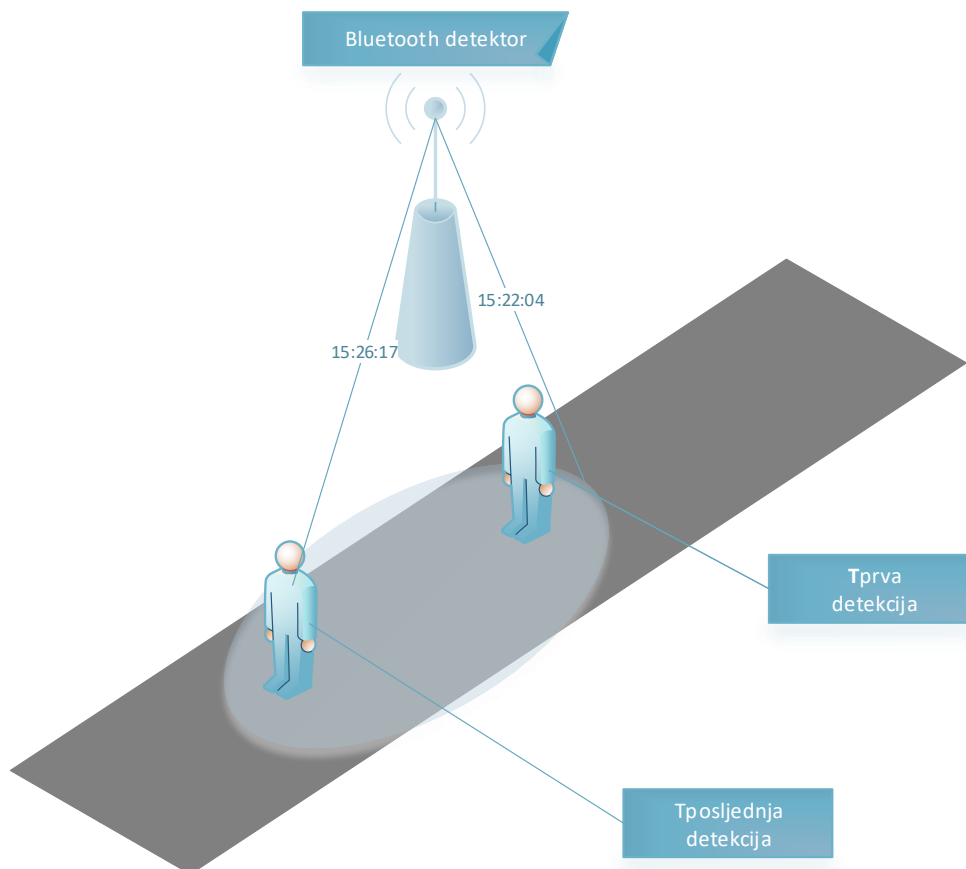
Datumi koji su uzeti u analizu su 5.9. (četvrtak), 16.9. (ponedjeljak), 17. 9. (utorak) i 20. 9. (petak). Zbog tehničkih poteškoća, nisu korišteni uzastopno dani od jednog tjedna, npr. od 16. 9. do 20. 9., i niti jedna srijeda. Razlog tome je jer u svakom tjednu ima nekoliko dana s pogrešnim očitanjem podataka Bluetooth detektora. Analizirajući sirove podatke vidljivo je da za pojedine dane nema podataka, ili su podaci polovični. Iz tog razloga su u analizi korišteni navedeni datumi jer analizirajući sirove podatke, kod njih se pojavljuju očitavanja tokom cijelog dana i svi imaju prosječan broj detektiranih uređaja.

5. Određivanje markera za izdvajanje pješaka u ukupnom detektiranom prometu

Nakon obrade prikupljenih podataka, potrebno je odvojiti pješački promet od automobilskeg. Izrada filtera je pojednostavljena zato što se može koristiti formula iz rada [4]. Autor rada [4] koristi formulu koja služi filtriranju automobilskeg prometa iz ukupnih detektiranih uređaja.

$$d_{wt} = T_{\text{posljednja detekcija}} - T_{\text{prva detekcija}} \text{ [s]} \quad (2)$$

Formula računa vrijeme zadržavanja u zoni detekcije iz vremenskih oznaka pojedinog detektiranog uređaja. Rezultat je razlika dobivena usporedbom prve vremenske oznake prilikom ulaska u zonu detekcije i posljednje prilikom izlaska, što je prikazano na slici 5.



Slika 5. Logički pregled izračuna vremena zadržavanja u zoni detekcije jednog pješaka

S obzirom da su u ovom radu korištena dva Bluetooth detektora, jedan od uvjeta je da pješak mora proći kroz zonu detekcije oba Bluetooth detektora. Ukupno vrijeme zadržavanja za pješake dobiveno je tako da je zbrojeno vrijeme zadržavanja unutar prvog Bluetooth detektora i vrijeme zadržavanja unutar drugog Bluetooth detektora.

Filtar je postavljen tako da se svi uređaji koji se zadržavaju u zoni detekcije manje od 3 minute smatraju automobilima i biciklistima, te se time odbacuju. Svi uređaji koji se zadržavaju dulje od 5 minuta, pretpostavka je da su oni statički te se oni također odbacuju iz ukupnog rezultata. Svi preostali detektirani uređaji smatraju se pješacima te su samo oni uzeti u obzir za daljnju analizu. Broj pješaka nakon filtriranja je 1.868 od 181.680 ukupno detektiranih uređaja. U tablici 5. je prikazana usporedba ukupno detektiranih uređaja sa svakim Bluetooth detektorom i brojem pješaka nakon filtriranja po danima.

Tablica 5. Prikaz broja detektiranih uređaja i broja pješaka nakon filtriranja

| Dani | Ponedjeljak | Utorak | Četvrtak | Petak |
|--------------------------------|--------------------|---------------|-----------------|--------------|
| 1. Bluetooth detektor | 21.918 | 22.197 | 17.342 | 25.471 |
| 2. Bluetooth detektor | 25.070 | 21.994 | 22.112 | 25.576 |
| Broj pješaka nakon filtriranja | 382 | 390 | 329 | 372 |

U tablici 6. su prikazani rezultati filtriranih podataka, odnosno MAC adrese od pješaka, vrijeme prve i posljednje detekcije, vrijeme zadržavanja unutar detekcijske zone Bluetooth detektora, te smjer kretanja pješaka.

Tablica 6. Prikaz tablice s filtriranim podacima

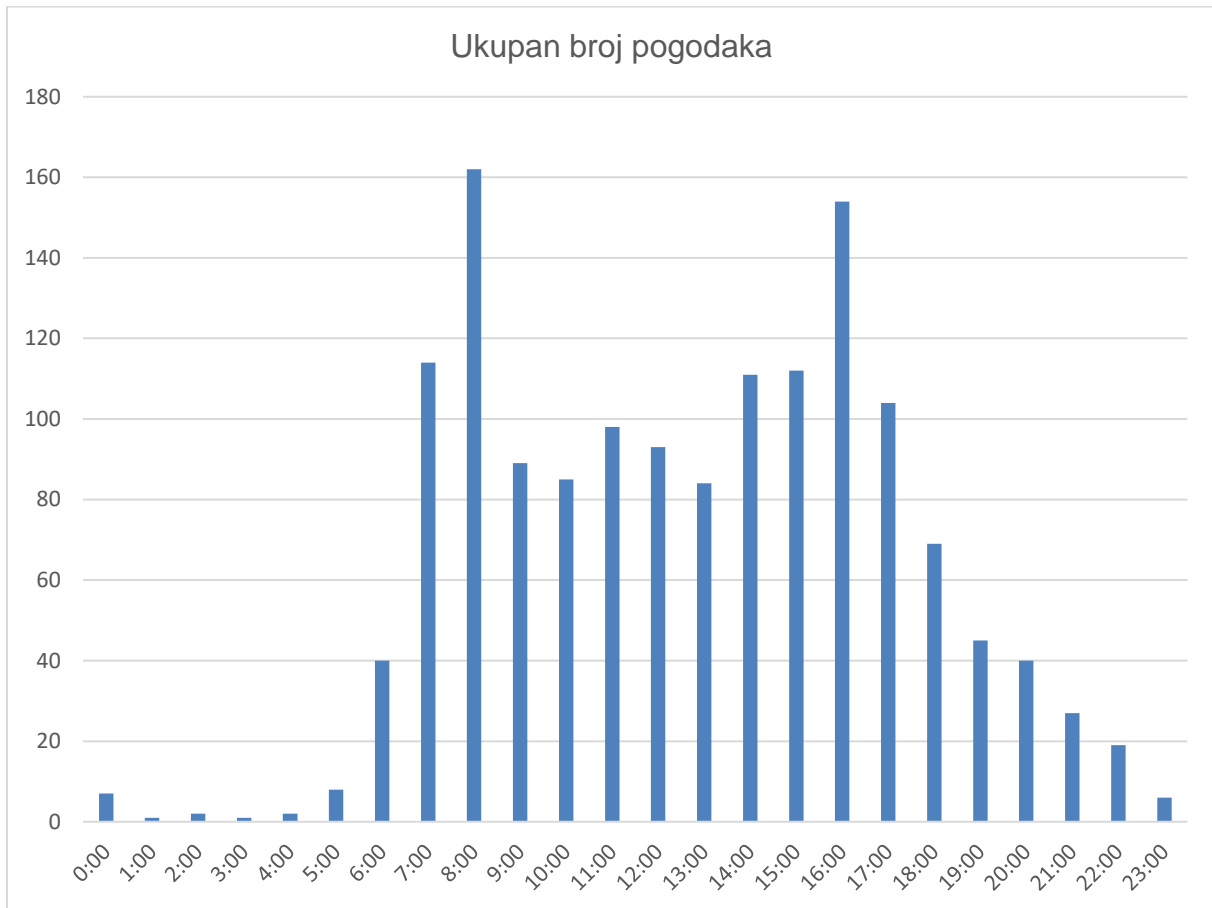
| Početak MAC adrese | Posljednja detekcija | Prva detekcija | Vrijeme zadržavanja [min] | Smjer kretanja |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|
| 98:5d:ad | 5.9.2019 07:15:33 | 5.9.2019 07:10:35 | 4,96 | sjever-jug |
| 9c:28:bf | 16.9.2019 09:31:59 | 16.9.2019 09:28:14 | 3,75 | sjever-jug |
| bc:75:36 | 16.9.2019 17:56:40 | 16.9.2019 17:53:04 | 3,6 | jug-sjever |
| 00:1e:42 | 17.9.2019 17:09:49 | 17.9.2019 17:06:04 | 3,75 | jug-sjever |
| 18:f0:e4 | 20.9.2019 11:29:07 | 20.9.2019 11:25:53 | 3,2 | sjever-jug |
| ... | ... | ... | ... | |

S obzirom na to da su u ovom radu za analizu korištena dva Bluetooth detekora, moguće je odrediti i smjer kretanja pješaka tako da se očita na kojem je Bluetooth detektoru pješak prvi put detektiran.

Svi dobiveni podaci su zatim korišteni za izradu grafičkog prikaza rezultata što je prikazano u sljedećem poglavlju.

6. Izrada i validacija metode za detekciju pješaka na temelju obilježja primljenog signala

Filtrirani podaci su analizirani i u ovom poglavlju su opisani rezultati. Prema prikupljenim podacima moguće je izvesti nekoliko različitih analiza, a jedna od njih je analiza broja pogodaka prikazana na slici 6.



Slika 6. Broj filtriranih pogodaka izmjeren Bluetooth detektorom

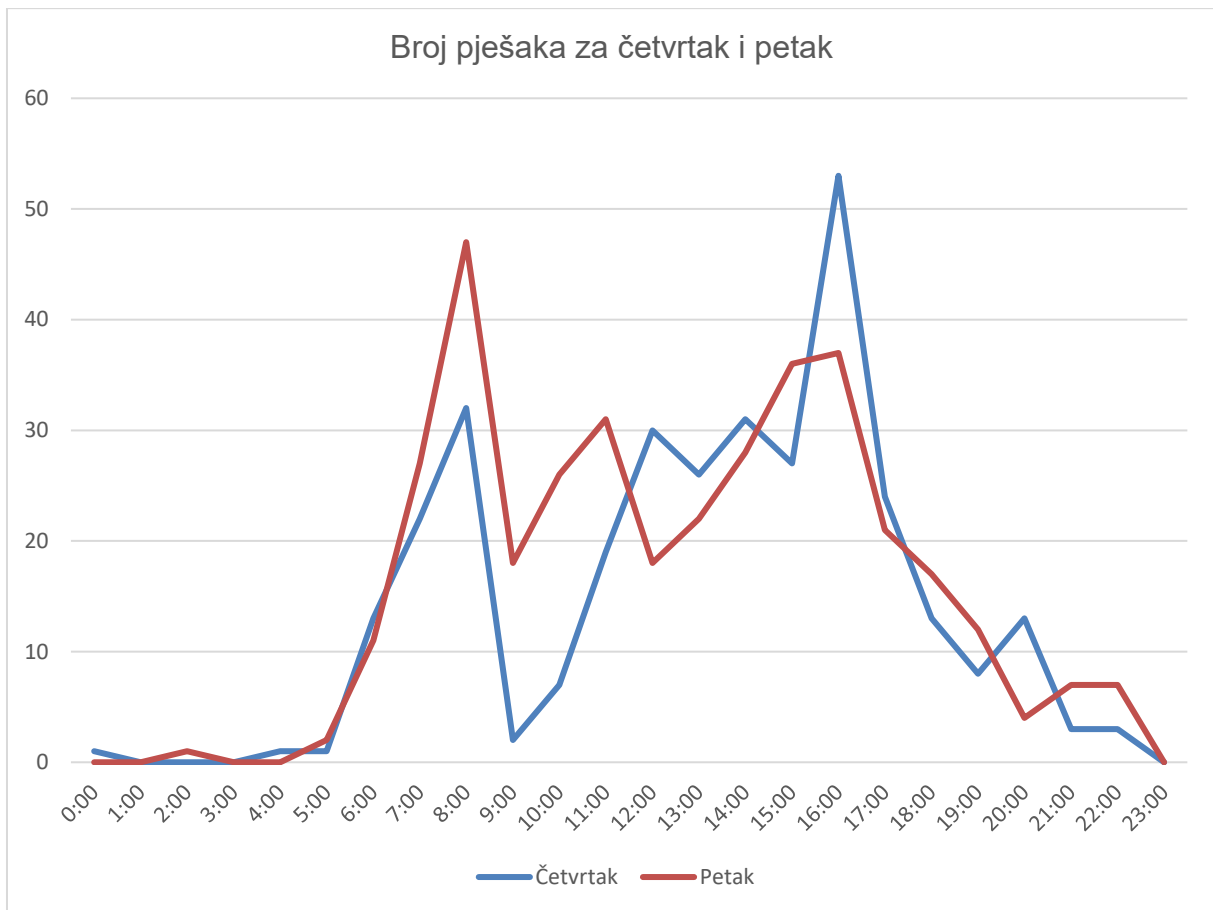
Slika 6. prikazuje broj filtriranih pogodaka, odnosno broj pogodaka pješaka koji se pojavljuju tokom promatranog mjerenja. Filtar omogućuje da se pogoci ne uzimaju za istog pješaka više puta u istom vremenskom intervalu, već samo jednom. Ako se isti pješak pojavi u nekom sljedećem vremenskom intervalu, tada se on ponovno uzima kao pogodak. Interval koji se koristi za pješake je objašnjen u prethodnom poglavlju. Tako je vidljivo s grafa kako je najčešći broj pogodaka u vremenskom razdoblju od 7:00-17:00 h. Slika 7. prikazuje broj pješaka za 16.9. (ponedjeljak) i 17. 9. (utorak), te je vidljivo kako se broj pješaka ponaša prema pravilu vršnih sati, tj. u tranzitnim satima kada ljudi idu ili se vraćaju s posla broj pješaka je veći. Isto tako vidljivo je kako je broj

pješaka relativno visok u razdoblju između vršnih sati, tj. za vrijeme radnog vremena. To može značiti da ima dosta ljudi kojima posao uključuje i određenu razinu kretanja gradom (čistači, dostavljači i sl.)



Slika 7. Broj pješaka izmjeren za ponedjeljak i utorak

Prema prikupljenim podacima vidljivo je kako se ljudi ponedjeljkom zadržavaju duže na poslu nego utorkom. Može se pretpostaviti kako ljudi ponedjeljkom kreću na posao kasnije u odnosu na utorak. Utorkom kreću ranije na posao, ali i ranije odlaze prema kući u odnosu na ponedjeljak.



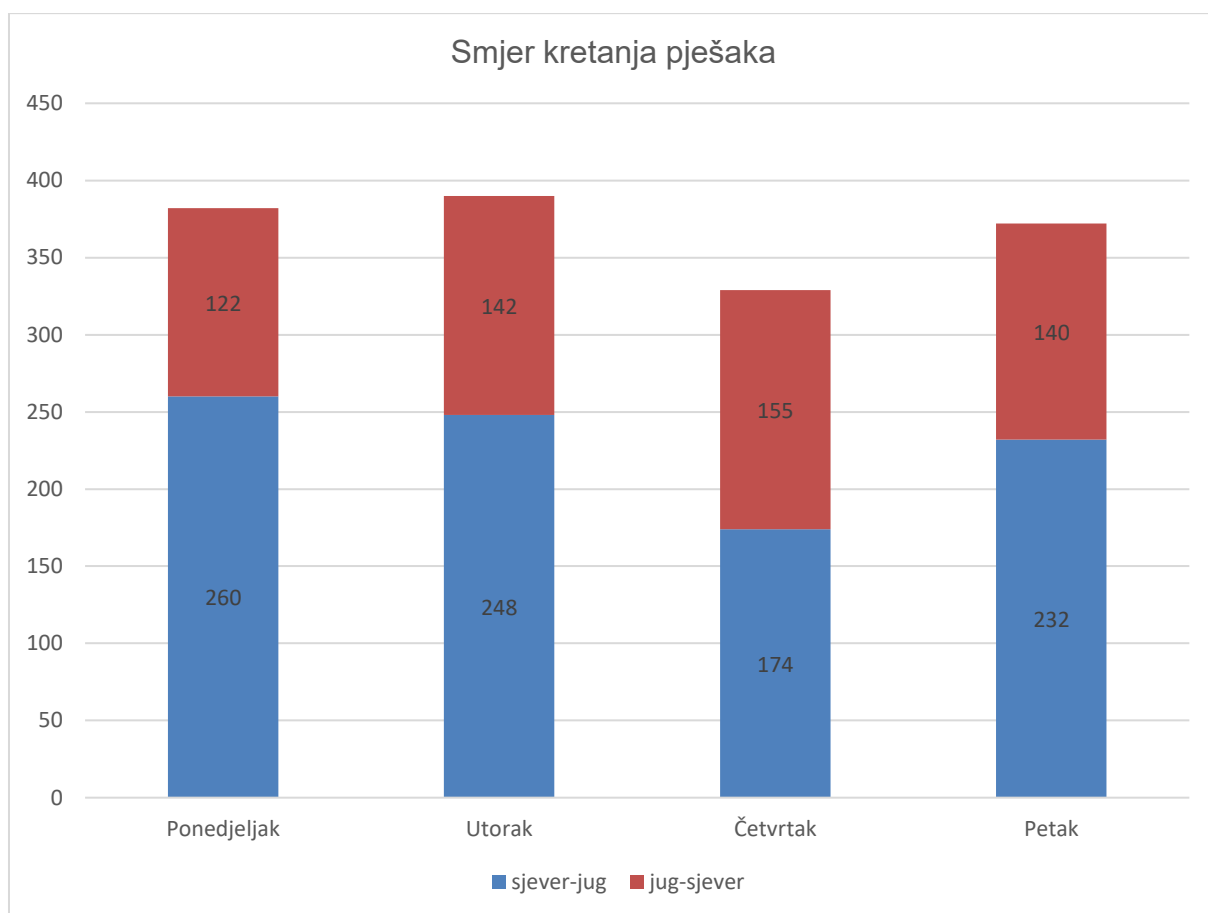
Slika 8. Broj pješaka izmjeren za srijedu i četvrtak

Podaci prikazani na slici 8. uspoređuju 5.9. (četvrtak) i 20.09. (petak). Petkom je povećan pješački promet u jutarnjim satima, najviše oko 8:00 h, ali je relativno slabiji u popodnevnim satima u odnosu na četvrtak. Četvrtkom je pješački promet u jutarnjim satima dosta manji u odnosu na petak, dok je u popodnevnim satima oko 16:00 h povećan.



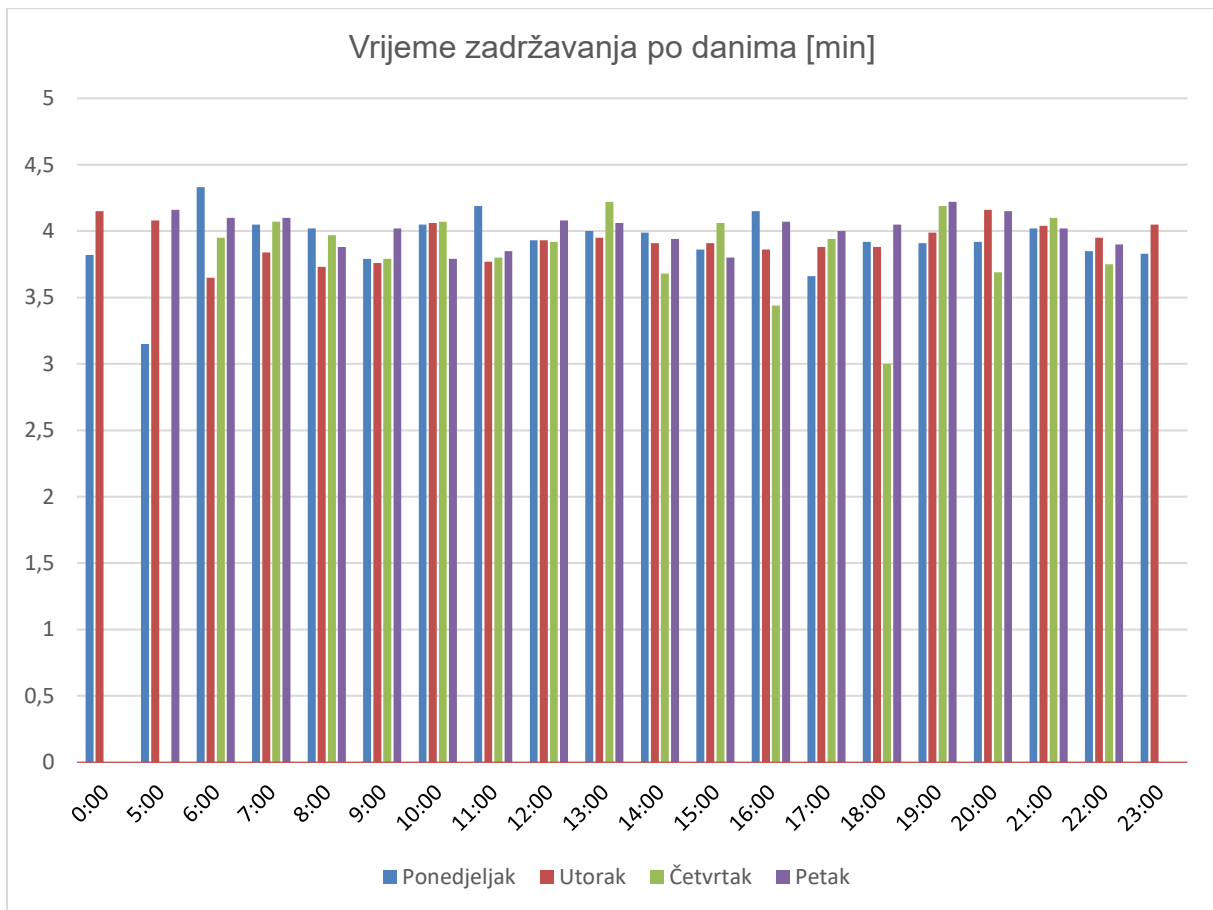
Slika 9. Broj pješaka izmjeren za ponedjeljak i petak

Na slici 9. uspoređeni su podaci za 16.9. (ponedjeljak) i 20. 9. (petak). Vidljivo je kako se pješački promet generira u gotovo istom razdoblju ujutro, ali je razlika tokom dana. Ujutro se može pretpostaviti kako ponedjeljkom ljudi kreću kasnije na posao jer je prvi radni dan nakon vikenda, a petkom kreću nešto ranije kako bi mogli ranije otići s posla jer je posljednji radni dan prije vikenda. Tako je vidljivo kako je petkom pješački promet već u 15:00 h povećan, a opada oko 17:00 h. Ponedjeljkom je pak pješački promet u 15:00 h smanjen te počinje rasti oko 17:00 h. Pretpostavka koju je moguće iz toga zaključiti je kako ljudi ponedjeljkom ostaju na poslu do kraja radnog vremena ili čak i duže, a petkom je povećan odlazak s posla već u 15:00.



Slika 10. Smjer kretanja pješaka

Na slici 10. je prikazana usporedba smjera kretanja pješaka u promatranim danima. Vidljivo je da je u svim danima smjer kretanja većinom od sjevera prema jugu Miramarske ulice.



Slika 11. Vrijeme zadržavanja po danima

Na slici 11 je prikazano vrijeme zadržavanja pješaka za promatrane dane, te je vidljivo kako je prosječno vrijeme zadržavanja u detekcijskoj zoni oko 4 minute. Za pojedine sate u danu nije prikazano vrijeme zadržavanja, jer u tim periodima nije detektiran niti jedan pješak. Za detaljniju analizu ponašanja pješaka potrebno je prikupiti podatke za pojedine dane u dužem vremenskom razdoblju tijekom cijele godine.

7. Zaključak

Svrha provedenog istraživanja je određivanje korisnosti analize podataka prikupljenih od Bluetooth uređaja pješaka kao sudionika u prometu. Podaci su prikupljeni pomoću dva Bluetooth detektora te je analiza bila orijentirana na broj pješaka u vremenskim periodima. Utvrđeno je kako se broj pješaka može pratiti pomoću ovakve analize te kako, u ovom slučaju, kretanje broja pješaka odgovara i broju vozila u istim vremenskim periodima, a oboje odgovaraju vršnim satima u danu kada se generira najviše prometa zbog tranzicije. Podaci su analizirani samo sa jednim ciljem koji je gore naveden, ali ih je moguće primijeniti u različite svrhe. Uz korištenje većeg broja detektora, na različitim lokacijama u gradu moguće je pratiti kretanje pješackog, biciklističkog i automobilskog prometa. Uz određene sigurnosne uvjete i implementaciju GDPR-a (eng. *General Data Protection Regulation*) moguće bi bilo i praćenje pojedinih MAC adresa te njihovo kretanje, navike i ponašanje.

Prema prikupljenim podacima iz prometa i detaljnom analizom kretanja moguće je osmišljati sustave za praćenje i upravljanje prometom koji bi reagirali na situacije u mreži u stvarnom vremenu te bi se tako izbjegla velika zagušenja ili gužve u vozilima javnog gradskog prijevoza. Omogućilo bi se upravljanje prometnom mrežom prema stvarnovremenim podacima te adaptaciju i optimizaciju prometnog sustava prema njima. Također je moguće zamisliti kako bi se pojednostavilo i optimiziralo dizajniranje i izgradnja prometne infrastrukture prema velikoj količini podataka o kretanju sudionika u prometu kao i regulacija prometa na već postojećoj infrastrukturi i upravljanje signalizacijom ovisno o uvjetima u prometu.

Neke od navedenih ideja se već provode i implementirane su u pojedinim svjetskim gradovima, ali ideja pametnih gradova je još daleko od realizacije zbog nepovezanosti različitih sustava te slabog korištenja velike količine informacija koje je moguće svakodnevno prikupiti.

Literatura

- [1] Naini F.M., Population Sampling Using Mobile Phones, Research Proposal, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, 2010.
- [2] Bullock D., Haseman R., Wasson J., Spitler J., Anonymous Bluetooth Probes for Measuring Airport Security Screening Passage Time: The Indianapolis Pilot Deployment, In Transportation Research Board 89th Annual Meeting, Transportation Research Board, 2010.
- [3] Kiukkonen N., Blom J., Dousse O., Gatica-Perez D., Laurila J., Towards Rich Mobile Phone Datasets: Lausanne Data Collection Campaign, International Confederation of Pervasive Services, 2010.
- [4] Juršić K., Prikupljanje podataka i određivanje prometnih parametara uporabom detektora Bluetootha signala, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu: Fakultet prometnih znanosti; 2019., Dostupno s: <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:1705> [srpanj 2020.]
- [5] Bojić V., Mjerenje parametara prometnih tokova primjenom Bluetooth tehnologije, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu: Fakultet prometnih znanosti; 2019., Dostupno s: <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:1706> [srpanj 2020.]
- [6] 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.
- [7] Cvetek D., Horenec I., Muštra M., Jelušić N., Analysis of Correlation between Dwell Time Measured using Bluetooth Detector and Occupancy; Faculty of Transport and Traffic Sciences, Zagreb, 2019.
- [8] Maximilian F. B., Digital based Pedestrian Counting; Norwegian University of Science and Technology - Department of Civil and Transport Engineering, Trondheim, 2016.
- [9] Kurkcu A., Ozbay K., Estimating Pedestrian Densities, Wait Times and Flows with Wi-Fi and Bluetooth Sensors; Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2644-2017, pp. 72–82, 2017.
- [10] Böhm M. F., Ryeng E., Haugen T., Wi-Fi and Bluetooth based sensors for pedestrian detection in urban areas; Proceedings of 7th Transport Research Arena, pp. 16-19, Beč, 2018.

- [11] Malinovskiy Y., Saunier N., Wang Y. N., Pedestrian Travel Analysis Using Static Bluetooth Sensors, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, Seattle, 2012.
- [12] <https://www.statista.com> Dostupno s: <https://www.statista.com/statistics/283638/installed-base-forecast-bluetooth-enabled-devices-2012-2018/> [lipanj 2020.]
- [13] Puy I. E-Business - Bluetooth. Dostupno s: <https://webuser.hs-furtwangen.de/~heindl/ebte-08ss-bluetooth-Ingo-Puy-Crespo.pdf> [lipanj 2020.]
- [14] Žagar M. Računala i procesi – Bluetooth zaslon. Dostupno s: https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/RIP07_BlueTooth_zaslon.pdf [lipanj 2020.]
- [15] <https://www.globalsign.com/>. Dostupno s: <https://www.globalsign.com/en/blog/top-5-bluetooth-security-vulnerabilities> [kolovoz 2020.]
- [16] <https://www.bluetooth.com/>. Dostupno s: <https://www.bluetooth.com/about-us/our-history/> [kolovoz 2020.]
- [17] Peraković D. Funkcionalnosti terminalnih uređaja. Dostupno s: [http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Terminalni_uredaji/Materijali/03 - Funkcionalnosti terminalnih uredaja.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Terminalni_uredaji/Materijali/03_Funkcionalnosti_terminalnih_uredaja.pdf) [kolovoz 2020.]
- [18] Muštra M. Mobilne komunikacije. Dostupno s: [http://e-student.fpz.hr/Predmeti /M/Mobilni komunikacijski sustavi/Materijali/04 Mobilne komunikacije.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/M/Mobilni_komunikacijski_sustavi/Materijali/04_Mobilne_komunikacije.pdf) [kolovoz 2020.]
- [19] Traffic Network Solutions S.L. Deep Blue V2t Sensor datasheet, Barcelona, 2019. Dostupno s: <http://deepbluesensor.com/wp-content/datasheets/DeepBlue%20R-model.pdf> [kolovoz 2020.]
- [20] <http://www.libelium.com/>. Dostupno s: <http://www.libelium.com/products/meshlium/smartphone-detection/> [kolovoz 2020.]
- [21] <http://www.timeanddate.com/>. Dostupno s: <https://www.timeanddate.com/weather/croatia/zagreb/historic?month=9&year=2019> [kolovoz 2020.]

Popis slika

| | |
|--|----|
| Slika 1. Sustav brojanja pješaka korištenjem BT detektora [20] | 9 |
| Slika 2. Prikaz metode očitavanja jednog pješaka u zoni detekcije | 12 |
| Slika 3. Lokacije i prikaz Bluetooth detektora | 14 |
| Slika 4. Vremenska prognoza za analizirane datume [21] | 17 |
| Slika 5. Logički pregled izračuna vremena zadržavanja u zoni detekcije jednog pješaka | 18 |
| Slika 6. Broj filtriranih pogodaka izmjeren Bluetooth detektorom | 21 |
| Slika 7. Broj pješaka izmjeren za ponedjeljak i utorak | 22 |
| Slika 8. Broj pješaka izmjeren za srijedu i četvrtak | 23 |
| Slika 9. Broj pješaka izmjeren za ponedjeljak i petak | 24 |
| Slika 10. Smjer kretanja pješaka | 25 |
| Slika 11. Vrijeme zadržavanja po danima | 26 |

Popis tablica

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Prikaz generacija Bluetooth komunikacijskog protokola [16] - [18] | 8 |
| Tablica 2. Oblik tablice podataka iz DeepBlue detektora | 11 |
| Tablica 3. Oblik tablice s UTC vremenskom oznakom | 15 |
| Tablica 4. Prikaz broja detektiranih uređaja po danima | 17 |
| Tablica 5. Prikaz broja detektiranih uređaja i broja pješaka nakon filtriranja | 19 |
| Tablica 6. Prikaz tablice s filtriranim podacima | 20 |



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

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

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

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada
pod naslovom **DETEKCIJA PJEŠAKA U PROMETNOJ MREŽI**

UPORABOM BLUETOOTH DETEKTORA

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 17.9.2020 _____

Student:

(potpis)