

Bluetooth tehnologija kao pomoć slepim i slabovidim licima pri korišćenju javnog gradskog prevoza

Mihailo Žarković
Elektrotehnički fakultet
Univerzitet u Beogradu
Beograd, Srbija
mihailozar@gmail.com

Slobodan Isaković
Elektrotehnički fakultet
Univerzitet u Beogradu
Beograd, Srbija
slobodanvisakovic@gmail.com

Pavle Zečević
Elektrotehnički fakultet
Univerzitet u Beogradu
Beograd, Srbija
zecevicpavle@gmail.com

Abstract—Kroz razgovor sa slepim osobama identifikovana je nekolicina problema u javnom gradskom prevozu. Jedan od njih je situacija kada slepa osoba zna da je njen autobus pristigao na stanicu ali ne zna koji je on po redu, jer se na stanici nalazi više autobusa. S tim u vezi autori predlažu uvođenje *BLE beacon*-a u vozila, kako bi slepa osoba dobila informaciju o tačnoj poziciji autobusa. U ovom radu biće prikazani rezultati ispitivanja predložene tehnologije, sa ciljem, pronaći tehnologiju koja najviše može pomoći slepim i slabovidim osobama pri korišćenju prevoza. Ispitivanje je podeljeno u dva osnovna scenarija: između prijemnika i predajnika nema fizičke prepreke i između prijemnika i predajnika postoji fizička prepreka.

Ključne reči—*BLE beacons, RSSI, Bluetooth, IoT, Open Source, Eddystone*

I. UVOD

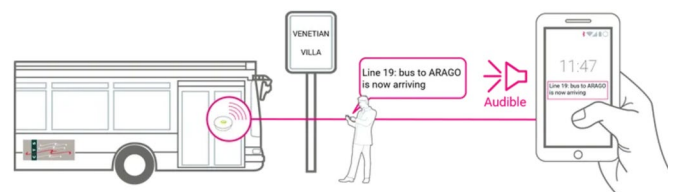
Osobe sa oštećenim vidom imaju velikih poteškoća pri kretanju. Slepe i slabovide osobe koje se kreću samostalno, to čine uz pomoć belog štapa, a često im je potrebna i dodatna infrastruktura kao što su taktilne staze, audio informacije ili zvučni semafori. Nažalost, postavljanje neophodne infrastrukture je skupo i gotovo je nemoguće to učiniti svuda gde je potrebno, a čak i kada je sve navedeno ispunjeno, slepim i slabovidim osobama fale dodatne informacije. Zbog toga oni neretko moraju da traže pomoć osoba u okolini, a kako uglavnom teže ka sve većoj samostalnosti, u poslednje vreme se sve češće okreću naprednim inovativnim tehnologijama. Sa velikom stopom korišćenja pametnih mobilnih telefona u *TalkBack* i *VoiceOver* tehnologije čitanja ekrana koje su ugrađene u dve najkorišćenije platforme, mobilni telefoni su najčešći kanal koji slepim osobama olakšava život. Ipak, za navigacione svrhe, pametni uređaji koriste GPS tehnologiju, koja u urbanim sredinama unosi grešku od 12 m što za slepe i slabovide osobe jednostavno nije dovoljno. U ovom radu biće reči o *BLE Beacon* tehnologiji i načinu na koji uz nju možemo da prevaziđemo ovu grešku.

Za samostalnu mobilnost u gradu, slepe i slabovide osobe uglavnom su okrenute javnom gradskom prevozu koji je novčano pristupačan i donekle dostupan. No, i tu se javljaju mnogi izazovi, kao što su pronalazak stanice, identifikacija dolazećeg autobusa i nedostatak informacija o tome na kojoj stanici treba da siđu. Sprovedeno je istraživanje uz anketu koja je uključivala 55 osoba sa oštećenim vidom u Beogradu i zaključeno je da samostalno, javni gradski prevoz koristi 66% ispitanika, a da se sa gore pomenutim izazovima suočava 40%, 87.5% i 90% ispitanika respektivno.

U ovom radu biće stavljen naglasak na rešavanje problema identifikacije dolazećeg autobusa koristeći *BLE beacon* (engl. *Bluetooth Low Energy Beacon*) tehnologiju uz eksperimentalno ispitivanje ponašanja uređaja i signala u različitim uslovima.

II. OPIS KORIŠĆENE OPREME

Razmatrani sistem za asistenciju, se sastoji iz dva dela. Hardverski deo, *BLE beacon* koji se nalazi u svakom vozilu javnog gradskog prevoza i mobilna aplikacija na uređaju osobe kojoj je potrebna pomoć. Ovakav tip hardverskog uređaja je namenski kreiran kako bi njegove dimenzije i cena bile što manje, a načini primene što različiti. Integracija sa mobilnim uređajima je jako jednostavna i podržana je kako od *Android* tako i od *IOS* platformi. Kako se *beacon*-i napajaju iz sopstvenih baterija uz višegodišnji životni vek, ne zahtevaju prisustvo dodatne infrastrukture, što je autorima bio važan kriterijum. Kada se sve sumira, cilj je kreirati nezavisno, jeftino, portabilno i skalabilno rešenje, a te kriterijume ova tehnologija ispunjava. Na Sl. 1 je prikazan realan primer upotrebe sistema za pomoć pri korišćenju javnog prevoza [1].



Sl. 1 Primer upotrebe sistema

A. BLE Beacons

Bluetooth je bežična tehnologija i koristi se za konekciju dva ili više uređaja omogućavajući njihovu međusobnu komunikaciju. Danas se može pronaći u raznim uređajima poput automobila, zvučnika, mobilnih telefona idr. Ova tehnologija postaje sve popularnija i pronalazi svoje mesto u mnoštvu različitih primena, posebnu pažnju privlači u *IoT* (engl. *Internet of Things*) konceptu [2]. Ideja o ovakvoj bežičnoj komunikaciji se pojavila 1994. godine, a danas je aktuelna verzija 5.3 iz 2021. godine. Značajno unapređenje se dogodilo 2010. godine kada je predstavljena verzija 4.0 po imenu *Bluetooth Low Energy*. Zahvaljujući efikasnoj potrošnji energije, baterije na uređajima su postajale reda veličine novčića, tako da su i sami uređaji bivali malih dimenzija. Te su svoju primenu našli u satovima,

narukvicama, četkicama za zube itd. Sa ovom verzijom došlo je i do povećanja dometa koji je sada iznosio do 100 m što je u poređenju sa prethodnim verzijama, čiji je domet bio do 10 m, veliki napredak. Sa verzijom 5.0 svi pomenuti benefiti su podignuti na još viši nivo.

Autori su eksperimente sprovedi koristeći *BC08-MultiBeacon* [3] kompanije *Blue Charm Beacons*, a on je prikazan na Sl. 2. Reč je o vodootpornom uređaju čiji je životni vek baterije oko 4 godine, podržava više formata poruka (*iBeacon*, *Eddystone TLM*, *Eddystone URL*, *Eddystone UID format*) i konfigurabilan je u pogledu opsega snage predajnika. Takođe, proizvođač je deklarirao njegov opseg vidljivosti do 90 m.



Sl. 2 BC08-MultiBeacon

B. Mobilna aplikacija

Za potrebe eksperimenta kreirana je jednostavna *Android* mobilna aplikacija sa osnovnom ulogom, audio i vizuelno obavestiti korisnika u momentu detektovanja signala poslanog od strane *beacon-a*.

Srž aplikacije predstavlja korišćena, *AltBeacon* [4] biblioteka otvorenog koda. Reč je o aktivnom projektu koji se neprestano unapređuje od strane zajednice. Potpuno podržava *Android 12* i sve ostale novije verzije, kao i *Edystone* format poruka. Moguće ju je koristiti i na starijim verzijama *Android-a*, s tim da je prvenstveno kreirana za pomenute verzije.

Edystone [5] je otvoreni *BLE beacon* format razvijen od strane *Google-a*, dizajniran za male pakete informacija koji se po principu reklamiranja predstavljaju svojoj okolini. Dobra strana ovog formata je to što se podjednako jednostavno može očitavati na različitim mobilnim platformama. Takođe moguće je integrisati razne bezbednosne segmente i enkripcije u ovaj format. Postoji više formata *Edystone* poruka:

- *Edystone-UID*: poruka sadrži jedinstveni identifikator pomoću kojeg se može svaki *beacon* u mreži identifikovati
- *Edystone-URL*: poruka može sadržati proizvoljan *url* (engl. *uniform resource locator*)
- *Edystone-TLM*: poruka sadrži telemetrijske podatke poput: stanja baterije, temperature...

Za potrebe eksperimenata autori su se odlučili za *Edystone-UID* format, kako bi se jednostavnije odredilo koja poruka kom *beacon-u* pripada. U budućnosti treba razmotriti i druge formate jer svaki od njih ima svoje prednosti, recimo *TLM* može pružiti

informaciju o nivou baterije, a *URL* paket može slati *url link*-ove što može biti korisno za potrebe *proximity marketing-a*.

III. OPIS EKSPERIMENTA

Cilj eksperimenta je upoznati karakteristike potencijalno korišćenih uređaja. Proizvođač nije najjasnije označio pod kojim uslovima su deklarirane karakteristike dobijene, niti da li one imaju praktično utemeljenje ili samo teorijsko. Ovakva informacija je od značaja jer *Bluetooth* tehnologija koristi, isti 2.4 GHz, frekventijski opseg koji je zajednički sa drugim bežičnim tehnologijama kao što su *Wi-Fi*, bežični telefoni i mikrotalasni uređaji. Kada je ovaj opseg preopterećen zbog velikog broja uređaja, može doći do frekventijske interferencije.

Imajući sve pomenute uslove u vidu osmišljena su dva scenarija:

- Između predajnika (*BLE beacon*) i prijemnika (mobilni uređaj) ne postoji značajna fizička prepreka koja bi prouzrokovala interferencije (Sl. 3)
- Između predajnika (*BLE beacon*) i prijemnika (mobilni uređaj) postoji značajna fizička prepreka (Sl. 4).



Sl. 3 Scenario 1



Sl. 4 Scenario 2

Prvi scenario predstavlja najjednostavniju postavku i služi ujedno i za testiranje komunikacije između mobilnog uređaja i *beacon-a*. Kao takav je podeljen u 2 faze:

- prijemnik i predajnik su stacionirani, gde je cilj posmatrati kako se menja jačina signala u zavisnosti od distance

• prijemnik je stacionaran, a predajnik se kreće, gde je cilj posmatrati kako se uticaj brzine oslikava na jačinu signala.

Drugi scenario ima za cilj da pokaže ponašanje signala kada se između predajnika i prijemnika nalazi značajna fizička prepreka, jer gradsku sredinu karakteriše mnoštvo betonskih površina koje mogu smanjiti snagu *Bluetooth* signala ili ga potpuno blokirati. S tim u vezi je poželjno rekreirati slučaj upotrebe kada se autobus nalazi žargonski rečeno “iza ugla”. Tačnije osoba na stanici ga ne vidi, a zapravo je vozilo blizu stanice.

Na strani predajnika, kao što je gore pomenuto korišćen je *BC08-MultiBeacon*, sa sledećim podešavanjem:

- *Edystone-UID* format poruka
- interval reklamiranja 100 ms
- *TxPower* 0 dBm

Na strani prijemnika korišćena su 3 različita mobilna uređaja:

- *Motorola g32*
- *Pixel 7*
- *Samsung j6*

Motorola i *Pixel* poseduju 5.2 verziju *Bluetooth*-a i *Andoird 14* operativni sistem, dok *Samsung* radi na 4.2 verziji sa *Andoid*-om 11.

Izračunavanje distance na kojoj je signal detektovan, za slučaj kada se predajnik kreće, sprovedeno je na sledeći način:

- tokom eksperimenta aplikacija beleži sve primljene poruke koje se sastoje od jačine signala i distance izračunate u korišćenoj biblioteci, tim podacima se pridruži trenutno vreme u milisekundama i od svih njih se formira zapis koji se skladišti u bazi podata
- kada se predajnik nađe paralelno sa prijemnikom potrebno je prekinuti snimanje
- distanca se računala kao proizvod brzine i proteklog vremena. Brzina je bila konstanta, dok se proteklo vreme računalo kao razlika između vremena prijema dve uzastopne poruke.

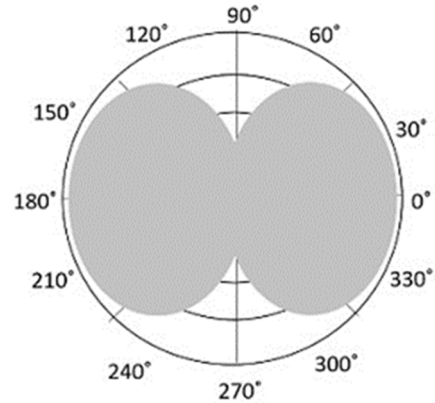
Za dodatnu verifikaciju moguće je eksperiment snimati dronom, potom analizirati frejmove video zapisa i jako precizno odrediti poziciju automobila u svakom trenutku.

IV. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Kako bi eksperimenti bili što ponovljiviji bilo je potrebno proveriti karakteristike antene. Izmerena je jačina polja oko uređaja pri konstantnoj udaljenosti i utvrđeno je da obrazovano polje oko uređaja nije kružnog oblika već je ta sfera delimično spljoštena na dva kraja, što se može videti na Sl. 5. Za potrebe istraživanja nije detaljnije analizirano polje već je bilo dovoljno proveriti grubim metodama njegov oblik.

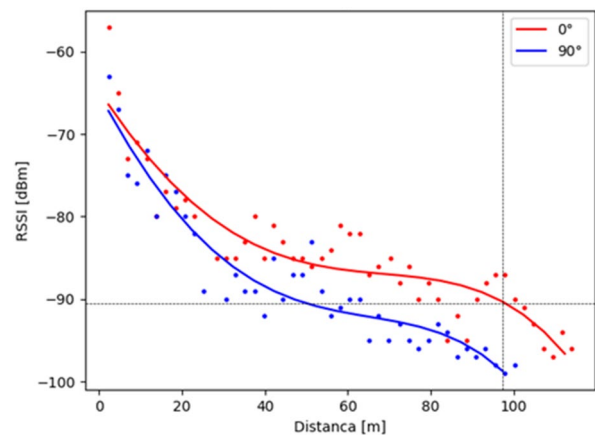
Dalji rad je podrazumevao implementaciju pomenutih scenarija. Imajući u vidu da jačina signala zavisi i od orijentacije uređaja sprovedena je prva faza scenarija jedan. Meren je maksimalni domet u zavisnosti od orijentacije uređaja. U jednom slučaju uređaj je pod uglom od 0 stepeni dok je u drugom slučaju pod uglom od 90 stepeni (pogledati Sl. 5). Dobijeni rezultati

prikazani su na Sl. 6. Kada je uređaj orijentisan u pravcu 0 stepeni domet signala je veći, kriva slabljenja je ravnija u srednjem opsegu dometa što je otprilike i opseg od interesa za pravovremeno detektovanje autobusa, prosečna jačina signala je veća za 3.4 dBm. Sve pomenuto sugeriše da je pri budućoj implementaciji sistema, u javni gradski prevoz, poželjno voditi računa o tome da uređaj bude postavljen tako da pravac od 0 stepeni odgovara pravcu kretanja autobusa.



Sl. 5 Oblik polja posmatrane antene

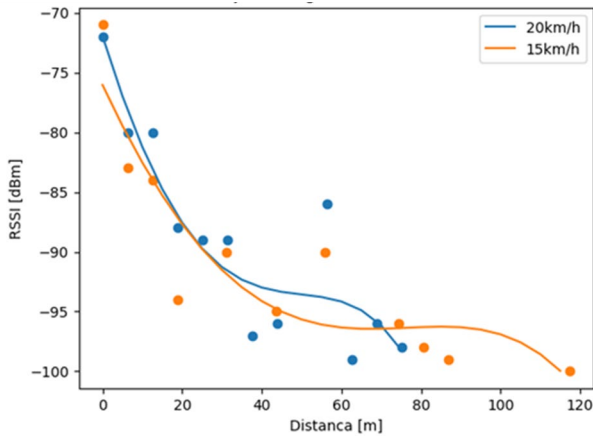
Druga faza scenarija 1 predstavlja snimanje jačine signala dok se predajnik kreće konstantnim brzinama pozicioniran tako da je orijentacija od 0 stepeni poravnata sa pravcem kretanja. Sa povećanjem brzine dolazi do smanjenja dometa uređaja što se može videti na Sl. 7, tačnije pošto se uređaj kretao ka prijemniku većom brzinom, smanjen je vremenski prozor u kojem je moguće detektovati signal. Posmatrane su brzine od 15 i 30 km/h jer je prosečna brzina autobusa u Beogradu do 20 km/h.



Sl. 6 Zavisnost jačine signala od distance

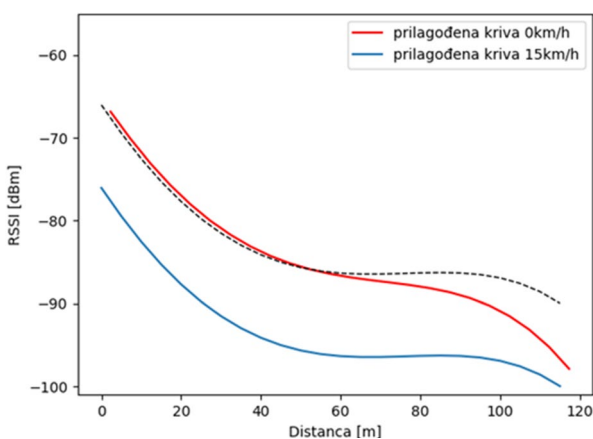
Brzina od 15 km/h se pokazala kao dovoljno mala jer oblik krive poprilično liči na oblik krive kada se predajnik ne kreće, što se može videti na Sl. 8. Ovaj slučaj se razlikuje od slučaja u prvoj fazi jer je uveden uticaj prednjeg vetrobranskog stakla na slabljenje signala. U teoriji slabljenje bi se moglo kretati od 5 do 20 dBm u zavisnosti od karakteristika stakla. Isprekidanom linijom je prikazana kriva koja odgovara kretanju i ona je pomerena za 10 dBm na y-osi. Time je i potvrđen uticaj stakla o kojem takođe treba razmišljati u slučaju realne implementacije sistema.

Za drugi scenario primećeno je da je betonska prepreka pod uglom od 90 stepeni nepremostiva i da je signal u svakom merenju detektovan tek onog trenutka kada automobil uđe u liniju optičke vidljivosti. Zaključeno je da je automobil morao značajno da zakoči svaki put kada ulazi u krivinu. Daljom analizom gradskog saobraćaja uočeno je da se i autobus, svaki put kada postoji značajna krivina koja uklanja optičku vidljivost, gotovo zaustavi, te mu za dolazak do stanice od tog trenutka treba izvesna količina vremena, koja je dovoljna da se slepa osoba obavesti da autobus dolazi.



Sl. 7 Zavisnost jačine signala od distance i brzine

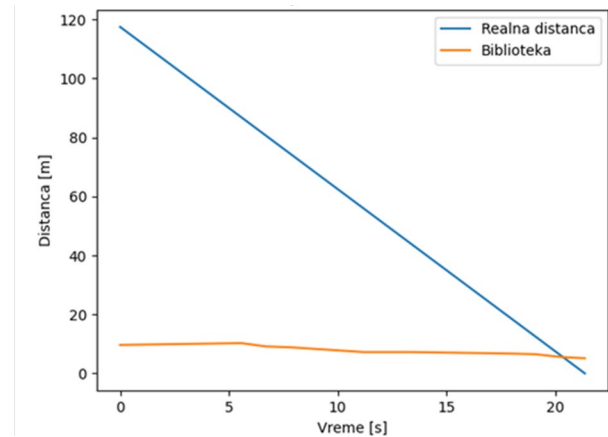
Na kraju sekcije 3 je opisan postupak izračunavanja distance i rećeno je da je u bazi čuvan podatak odistance dobijen iz biblioteke. Moguće je i na taj način odrediti distancu na strani prijemnika korišćenjem RSSI (egnl. *Received Signal Strength Indication*) algoritma [6]. Ovakav algoritam je implementiran u korišćenoj biblioteci ali je empirijski utvrđeno da na taj način dobijena distanca nije relevantna jer sadrži značajnu grešku (Sl. 9). Kasnijim analiziranjem koda biblioteke utvrđeno je da algoritam za izračunavanje poseduje neadekvatne parametre. Jedan od narednih ciljeva je poboljšati algoritam iz biblioteke i na taj način unaprediti pomenuti projekat otvorenog koda (engl. *Open Source*), a samim tim i podići vrednost proizvoda koji treba da pomogne osobama sa oštećenim vidom.



Sl. 8 Poređenje signala u pokretu i stacionarnom stanju

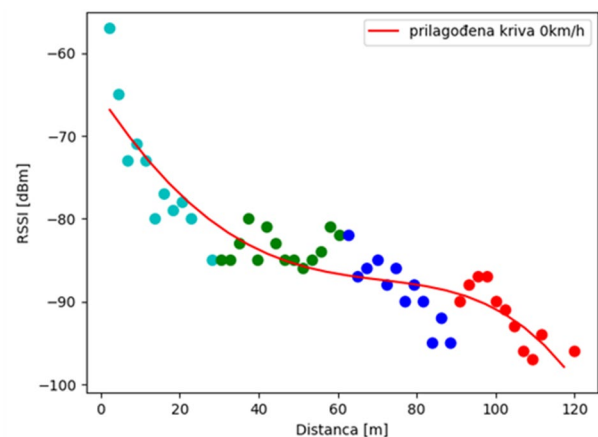
Poželjno je istražiti i druge pristupe za rešavanje ovog problema kao što je *fuzzy logic*. Ovaj pristup bi bio pogodan za ovu formu problema jer uvođenje bilo kakvog modela

mašinskog učenja podrazumeva i set podataka za treniranje, a napraviti set podataka koji bi sadržao snimljene signale iz realnog saobraća je gotovo nemoguće. Za svaki snimljeni signal bi bilo potrebno obrazložiti zašto ima baš tu vrednost jer je ova vrsta signala podložna interferencijama kojih u gradovima ima dosta. Motivacija za nastavak istraživanja i eventualnu promenu pristupa izračunavanja javila se pri jednostavnoj obradi podataka. Primenjena je najjednostavnija *K-means* klasterizacija sa 4 klastera i uočene su jasne grupe koje mogu biti polazna tačka za buduću implementaciju sistema na principu *fuzzy logic*-e (Sl. 10).



Sl. 9 Poređenje distanci dobijenih iz biblioteke i realnih distanci

Svi prikazani rezultati se odnose na podatke snimljene sa dva uređaja: *Motorola g32* i *Pixel 7*. Zapisi sa oba uređaja su gotovo preslikani što se može objasniti time da uređaji imaju istu konfiguraciju u pogledu verzije operativnog sistema i *Bluetooth* protokola. *Samsung j6* je uspevao da detektuje signal na nešto većim distancama ali pošto se radi o modelu telefona koji je star u ovom trenutku već 6 godina prikazani su rezultati aktuelnih uređaja. Može da postoji više faktora za manifestovanje ovakvog ponašanja što hardverskih što softverskih, pa je za relevantnije zaključke potrebno dublje proučiti razlike u implementaciji samog uređaja.



Sl. 10 Klasterizacija podataka

V. ZAKLJUČAK

Kako bi sistem bio pouzdan za korišćenje potrebno je pažljivo analizirati pozicije stanica u gradu, izdvojiti specifične

situacije i rekreirati ih za početak u eksperimentalnim uslovima. Osmisliti način raspoznavanja signala u scenarijima kada se saobraćaj odvija na više nivoa, na primer kada jedan autobus ide preko mosta, a drugi ispod mosta idr.

Autori će u budućnosti nastaviti sa izučavanjem tehnologije na sledeći način:

- sprovesti testiranje u realnoj situaciji kada su gužve na ulicama i stanicama. Tako dobijene rezultate uporediti sa rezultatima iz eksperimentalnih uslova i uočiti u kojoj meri se javljaju interferencije signala
- sprovesti testiranje sa različitim modelima *BLE beacon*-a i od različitih proizvođača. Uraditi komparativnu analizu i proceniti koji modeli predstavljaju najbolji odnos cene i kvaliteta za buduću implementaciju sistema.

ZAHVALNICA

Autori rada žele da se zahvale doc. dr Milošu Bjeliću i prof. dr Draženu Draškoviću na izuzetno korisnim savetima i diskusijama, kao i Inovacionom inkubatoru Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Rad je nastao u cilju verifikacije tehnologije tokom *startup* mentorskog programa *Route2Launch*, koji organizuje Fakultet organizacionih nauka u Beogradu u okviru projekta Preduzmi ideju.

REFERENCE/LITERATURA

- [1] [Using Beacons on Buses – BeaconZone Blog](#), pristupano april 2024.
- [2] J. Fürst, K. Chen, H. -S. Kim and P. Bonnet, "Evaluating Bluetooth Low Energy for IoT," 2018 IEEE Workshop on Benchmarking Cyber-Physical Networks and Systems (CPSBench), Porto, Portugal, 2018
- [3] [Quick Start Guide – BC08 iBeacon BLE 4.0/5.0 MultiBeacon – Blue Charm Beacons](#), pristupano april 2024.
- [4] <https://altbeacon.github.io/android-beacon-library/>, pristupano april 2024.
- [5] [GitHub - google/eddystone: Specification for Eddystone, an open beacon format from Google](#), pristupano april 2024.
- [6] Papamantou, C., Preparata, F.P., Tamassia, R. (2008). Algorithms for Location Estimation Based on RSSI Sampling. In: Fekete, S.P. (eds) Algorithmic Aspects of Wireless Sensor Networks. ALGOSENSORS 2008. Lecture Notes in Computer Science, vol 5389. Springer, Berlin, Heidelberg.

ABSTRACT

The paper presents preliminary (practical) testing of *BLE beacon* devices in the city traffic of Belgrade, for the purposes of an application that would help people with visual impairments have accurate information about arriving buses. Basic problems were detected on this occasion, which mainly relate to signal interference that can occur due to various situations in this environment, from optical visibility that can interfere with various barriers as well as other radiations in the same frequency range. Guidelines for further work and development of the system are also provided.

Bluetooth technology as assistance for blind and visually impaired individuals in using public urban transportation.

Mihailo Žarković, Slobodan Isaković, Pavle Zečević