

Primjene Bluetooth low energy (BLE) tehnologije u mobilnim aplikacijama

Lešković, Domagoj

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:342804>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Sveučilišni prijediplomski studij Računarstvo

**PRIMJENE BLUETOOTH LOW ENERGY
TEHNOLOGIJE U MOBILNIM APLIKACIJAMA**

Završni rad

Domagoj Lešković

Osijek, 2024.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zadatak završnog rada	2
2. TEHNOLOGIJA BLUETOOTH LOW ENERGY	3
2.1. Specifikacije BLE tehnologije	3
2.2. Topologija	4
2.2.1. PTP	5
2.2.2. PTM.....	6
2.2.3. Mrežasta topologija	6
2.3. Usporedba s Bluetooth Classic.....	7
2.4. Arhitektura BLE tehnologije	8
2.4.1. Aplikacijski sloj	8
2.4.2. Host sloj.....	9
2.4.3. Upravljački sloj	10
2.5. BLE beacons	11
2.5.1. Način rada.....	12
2.5.2. Eddystone	12
2.5.3. iBeacon	13
2.5.4. Konfiguracija.....	14
2.6. Primjene BLE.....	15
2.6.1. Medicina i zdravstvo	15
2.6.2. Promet	16
2.6.3. Lokalizacija i navigacija	18
2.6.4. Trgovina i oglašavanje.....	19
2.7. Sigurnost i privatnost.....	20
3. PROGRAMSKO RJEŠENJE KOJE RABI BLE BEACONS	23
3.1. Zahtjevi na programsko rješenje.....	23
3.2. Pregled rješenja s visoke razine	25
3.3. Implementacijski detalji i tehnologije	25
3.3.1. Android Studio	25
3.3.2. Jetpack Compose	26
3.3.3. Firestore	26
3.4. Način rada rješenja	26

3.4.1. Početni zasloni.....	26
3.4.2. Glavni zaslon.....	27
3.5. Obrada podataka	32
4. ZAKLJUČAK.....	35
LITERATURA	37
SAŽETAK.....	41
ABSTRACT	42
PRILOZI.....	43

1. UVOD

Razvojem *Bluetooth* tehnologije pojavio se značajan napredak pri bežičnoj komunikaciji dvaju ili više sudionika. Iako *Bluetooth* nije softversko rješenje nego hardversko, što znači da mora postojati fizička implementacija tehnologije u uređaju koji ju želi koristiti, prema [1], svaki mobilni telefon, tablet i laptop proizveden u novije vrijeme dolazi s *Bluetooth* tehnologijom ugrađenom u sebi. Također, većina bežičnih perifernih uređaja kao što su slušalice, pametni satovi, računalni miševi i dr. koriste *Bluetooth* kao odabranu tehnologiju prijenosa podataka. Imajući prethodno navedene podatke na umu, vidljivo je koliko je zapravo *Bluetooth* tehnologija značajna i rasprostranjena. Napretkom *Bluetooth* tehnologije pojavila se tehnologija koju će ovaj završni rad proučavati pod imenom *Bluetooth* niska energija (engl. *Bluetooth Low Energy*, BLE). BLE je tehnologija za razmjenu informacija između dva ili više uređaja uz malu potrošnju energije. U području Interneta stvari (engl. *Internet of Things*, IoT) *Bluetooth Classic* tehnologija i *Wi-Fi* tehnologija su bile jedine dvije mogućnosti koje su dolazile u obzir pri odabiru načina prijenosa podataka bežičnim putem. Prije pojave BLE tehnologije, postojao je problem biranja između velike brzine prijenosa podataka uz veliku potrošnju energije (odnosno *Wi-Fi*) i umjerene brzine prijenosa podataka uz manju potrošnju energije (odnosno *Bluetooth Classic*). Kako bih se riješio taj problem, *Bluetooth SIG* (engl. *Special Interest Group*, SIG) razvija BLE kao alternativnu metodu bežičnog prijenosa podataka. Ova tehnologija značajno olakšava odabir tehnologije korištene za bežični prijenos podataka u IoT svijetu jer spaja prednosti prethodno navedenih tehnologija u jednu. Naime, nastoji svakom novijom verzijom BLE tehnologije što izađe povećati domet rada i brzinu prijenosa podataka uz smanjivanje potrošnje energije. U novije vrijeme, BLE tehnologija može se pronaći u sustavima za praćenje količine robe unutar skladišta, sustavima za navigaciju u zatvorenom prostoru, uređajima za mjerenje medicinskih metrika (npr. razina šećera u krvi, krvnog tlaka) i sl. Cilj ovog rada je detaljno opisati BLE tehnologiju i predstaviti korisnost navedene kroz mobilnu aplikaciju koja koristi fizičke uređaje BLE *beacone* za primanje oglasa i aproksimaciju korisnikove udaljenosti od *beacona*.

U drugom poglavlju detaljno je opisana teorijska pozadina BLE tehnologije, te za što se koristi u IoT svijetu. Nadalje, dan je opis BLE *beacona* kao i njihova fizička implementacija ovisno o vrsti *beacona* i njihova upotreba u različitim sektorima izvan IT sektora. Također, u poglavlju je opisana sigurnost i privatnost protokola. U trećem poglavlju su detaljno objašnjene specifikacije praktičnog dijela rada, opis rada aplikacije, način postavljanja *beacona* uživo za pravilan rad aplikacije, te obrada podataka prikupljenih tijekom rada aplikacije. U posljednjem poglavlju predstavljen je zaključak rada kao i problemi tijekom razvoja aplikacije praktičnog dijela rada,

ograničenja trenutne verzije aplikacije i plan za dodatnim unapređenjem aplikacije kroz budućnost.

1.1. Zadatak završnog rada

U teorijskom dijelu rada opisati *Bluetooth low energy* tehnologiju te njene primjene, a naglasak staviti na BLE *beacone*. Poseban osvrt dati na mogućnosti primjene unutar mobilnih aplikacija. U praktičnom dijelu rada ostvariti programsko rješenje koje koristi mogućnosti BLE *beacona* za pružanje usluge zasnovane na lokaciji i prikladno ga testirati.

2. TEHNOLOGIJA BLUETOOTH LOW ENERGY

Bluetooth je bežična tehnologija stvorena za komunikaciju dva uređaja na maloj udaljenosti. Prednost tehnologije je ta što za komunikaciju ne treba postojati komunikacijska infrastruktura kao npr. bežični usmjerivač niti točka pristupa uređajima [2]. Organizacija zadužena za nadgledanje razvoja *Bluetooth*-a i izdavanje licenci je *Bluetooth SIG*. Ime tehnologije predložio je jedan od osnivača, Jim Kardach, uzimajući inspiraciju iz imena Švedskog kralja Heralda *Bluetooth* [2]. *Bluetooth* tehnologija pojavljuje se prvi put na tržište 1999. godine pod imenom *Bluetooth 1.0* [3]. Prva verzija tehnologije bila je nestabilna te je zbog toga imala poteškoća pri širenju svojeg utjecaja na tržište. Uz to, prva verzija je imala najveću udaljenost prijenosa od 10 metara i mogla se koristiti samo za bežičnu komunikaciju između dva uređaja. U 2005. godini pojavio se veliki napredak u povećavanju dometa komunikacije na 30 metara kao i povećavanje brzine prijenosa informacija koja je varirala između 2.1 Mbit/s i 24 Mbit/s ovisno o udaljenosti uređaja uvođenjem novog načina rada po kojem je i ova verzija poznata, a to je EDR (engl. *Enhanced Data Rate*, EDR) [3]. Ova verzija dobila je ime *Bluetooth 2.0*. Nakon nje dolazi *Bluetooth 3.0* koji je predstavljen 2009. godine. S njime se znatno povećala brzina prijenosa informacija s varijabilne brzine ovisno o udaljenosti na konstantnu brzinu od 24 Mbit/s. Iako je postizanje konstantne brzine prijenosa bio veliki uspjeh u napretku *Bluetooth*-a, u konačnici je *Bluetooth 3.0* ukinuta zbog velike potrošnje energije pri korištenju [3]. U 2010. godini mijenja se način izvedbe tehnologije. Naime, pošto je prethodna verzija bila energetska zahtjevnija, od verzije 4.0 pa nadalje pojavljuje se novi naziv za *Bluetooth*, a to je *Bluetooth smart* odnosno *Bluetooth niska energija* koji se (kao što i ime kaže) fokusira na poboljšanje performansa tehnologije uz zahtjev male potrošnje energije.

2.1. Specifikacije BLE tehnologije

Pojavom BLE tehnologije, otvorio se niz novih mogućnosti koje se prije nisu mogle ostvariti. Prije BLE tehnologije, *Bluetooth Classic* i *Wi-Fi* tehnologije su bile jedine dvije tehnologije koje su dolazile u razmatranje za bežični prijenos informacija između uređaja. *Wi-Fi* tehnologija nudi brzi prijenos podataka, ali uz veću potrošnju energije dok *Bluetooth Classic* nudi sporije brzine prijenosa uz bolju energetska efikasnost. BLE tehnologija razvijena je s ciljem da uvelike riješi problem odabira tehnologije korištene za bežični prijenos podataka jer dozvoljava podjednaku brzinu prijenosa podataka kao i *Bluetooth Classic* uz puno bolju energetska učinkovitost. *Bluetooth Classic* tehnologija se probala koristiti za uređaje ograničene fizičkim dimenzijama jer nudi prihvatljivu brzinu prijenosa podataka, ali se zbog načina implementacije tehnologije nisu mogli ostvariti zadovoljavajući rezultati. Uređaji su u prosjeku radili jedan dan prije negoli im se

ispraznila baterija. BLE tehnologija nudi brzinu prijenosa između 1Mb/s i 2Mb/s. Potrošnja energije ovisi o odabiru brzine prijenosa. Uređaji koji se koriste ovom tehnologijom za prijenos podataka mogu raditi između jedne i deset godina bez potrebe za promjenom baterije. Uz to, troškovi izrade i ugradnje BLE tehnologije u uređaje su mali. BLE se u novije vrijeme koristi za fitness narukvice (engl. *fitness trackers*), pametne kuće (engl. *smart homes*), aplikacije za dojavu dolaska javnog prijevoza, aplikacije za zdravstvene svrhe (senzori za mjerenje krvnog tlaka i šećera u krvi) i dr. Glavni nedostaci BLE tehnologije su ti što ne nudi veliku brzinu prijenosa podataka kao *Wi-Fi*, prijenos podataka ograničen je na najviše 200 metara u radijusu uređaja i utjecaj prepreka na kvalitetu signala (ako uređaji komuniciraju između zida ili bilo koje druge prepreke, kvaliteta signala opada). Za vrijeme pisanja ovog rada, najnovija verzija BLE tehnologije je verzija 5.4, pa su specifikacije pisane prema njoj. Prema [4] i [5], za BLE tehnologiju vrijede sljedeća svojstva:

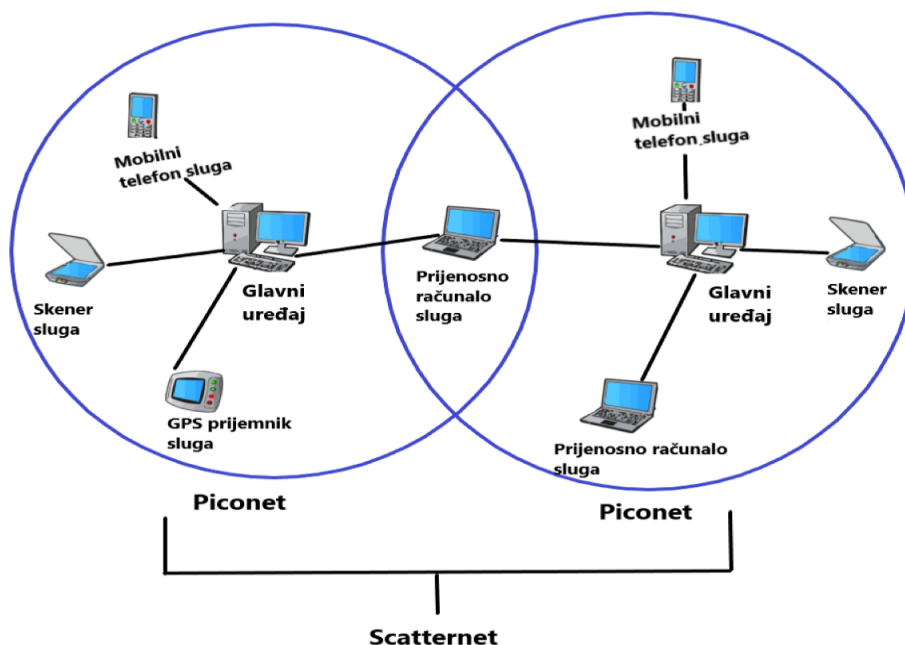
- Spektar frekvencija u kojem se nalazi je od 2.4 do 2.48 GHz
- Frekvencijski spektar je podijeljen u 40 kanala širine 2 MHz od kojih su 3 primarna kanala za oglašavanje i 37 kanala za prijenos podataka koji se mogu koristiti kao sekundarni kanali za oglašavanje
- Maksimalna brzina prijenosa podataka za *Bluetooth 5* je 2Mb/s
- Radijus rada uvelike ovisi o načinu rada kao i prostoru u kojem se koristi, odnosno ako se koristi „*high-speed*“ način rada, u kojem je brzina prijenosa podataka 2Mb/s, tada je znatno manji radijus rada u odnosu na „*long-range*“ način rada
- Energetska potrošnja ovisi o fizičkoj implementaciji BLE uređaja kao i o načinu rada. Tijekom prijenosa podataka, potrošnja struje ne prelazi 15mA.
- Implementacija sigurnosnih protokola je neobavezna, ali moguća tijekom komunikacije
- Za enkripciju, BLE koristi AES (engl. *Advanced Encryption Standard*, AES) CCM enkripcijski algoritam s 128 bitnim ključem.
- Uređaji s različitim BLE verzijama mogu međusobno komunicirati, ali se ne mogu koristiti svojstva specifična uređaju veće verzije.

2.2. Topologija

Topologija u BLE uređajima opisuje načine na koji dva ili više BLE uređaja komuniciraju. Postoje tri različita načina rada [7], a to su: točka u točku (engl. *Point-to-Point*, PTP), točka u više točaka (engl. *Point-to-Multipoint*, *Broadcast*, PTM) i mrežasti (engl. *Mesh network*)

2.2.1. PTP

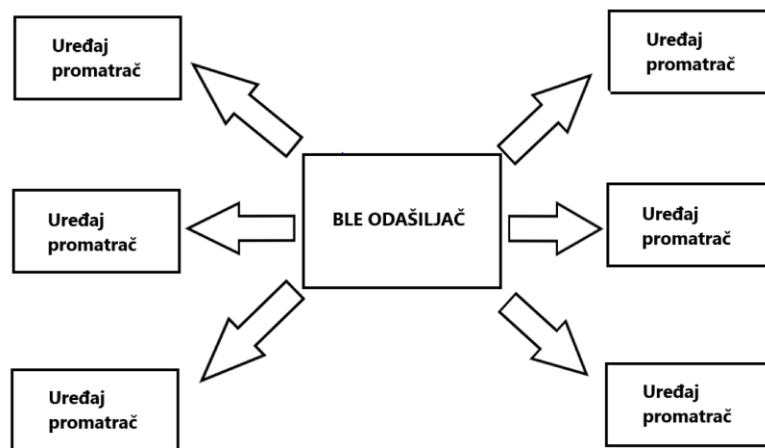
PTP je komunikacijska topologija koja se koristi za uspostavljanje jedan naprama jedan veze. Ovo je ujedno i jedina vrsta komunikacije koja se može koristiti u *Bluetooth Classic* tehnologiji kao i u BLE. Zbog toga je navedena i najčešće korištena [8]. Uređaji koji komuniciraju na ovaj način su organizirani u *piconet*. *Piconet* je kolekcija uređaja spojenih bilo kojom *Bluetooth* tehnologijom. Sadrži minimalno dva uređaja, a može sadržavati do osam od kojih jedan služi kao glavni (engl. *master*), a drugi kao sluge (engl. *slave*) [10]. Uz glavnog i sluge, postoji i status parkiranog uređaja (engl. *parked*) koji je vremenski sinkroniziran s mrežom, ali nema dostupnu MAC (engl. *Media Access Control*, MAC) adresu mreže. *Scatternet* je mješavina dva ili više zavisna *piconeta* koja komuniciraju preko zajedničkog člana [9]. Bilo koji sluga ili glavni uređaj može uspostaviti komunikaciju s drugim *piconetom* tako da postane sluga u njemu [10]. Ovaj način komunikacije je optimiziran za reprodukciju zvuka kod *Bluetooth Classic* tehnologije, dok se kod BLE tehnologije često koristi za fitness narukvice (engl. *fitness tracker*), zdravstvene monitore, mobilne i računalne periferne uređaje [7]. Za komunikaciju u ovom načinu rada potrebna je veza između uređaja kako bih se podaci mogli slati iz oba smjera. Konekcijom se smatra konstantna ili periodična izmjena podataka između uređaja [12]. Na slici 2.1. prikazane su dvije *piconet* mreže koje u sebi imaju jedan zajednički član, a to je prijenosno računalo u sredini slike. Pošto dijele isti član, ovakva struktura se zove *scatternet* mreža.



Sl. 2.1. Scatternet mreža koja sadrži dvije piconet mreže, izrađeno prema [11]

2.2.2. PTM

PTM je komunikacijska topologija korištena isključivo za BLE tehnologiju [6]. Ova topologija služi u uspostavljanju jedan naprama više veze. U ovom načinu rada postoje dva sudionika, odašiljač (engl. *Broadcaster*) i promatrač (engl. *Observer*) [6]. Ovaj način rada ne treba konekciju između uređaja kao što PTP način zahtjeva jer se komunikacija vrši jednosmjerno, odnosno odašiljač šalje svoje podatke u frekvencijsko polje oko sebe, a promatrači su zaduženi za slušanje i prikupljanje podataka. Prednost ovog načina rada je energetska učinkovitost. Razlog tome je taj što odašiljač i promatrači u njegovom polju oglašavanja odlaze u stanje mirovanja nakon svakog prenesenog podataka. Odašiljač je zadužen za obavješavanje promatrača kako bih se vratili iz stanja mirovanja u normalno radno stanje. Mana ovog načina rada je ta što odašiljač ne dobije povratnu informaciju ukoliko neki promatrač uspije primiti njegove pakete [12]. PTM način rada je korišten kada je cilj napraviti sustav koji treba prenositi podatke bežično bez prethodnog spajanja uređaja. Primjeri takvog sustava su navigacija u zatvorenom prostoru, personalizirane ponude u trgovinama, prijenos podataka u medicinskim uređajima i dr. Slika 2.2. prikazuje izgled PTM topologije u kojoj se nalazi jedan odašiljač i šest promatrača. Strelice su jednosmjerne što ukazuje na to da je odašiljač zaslužan za prijenos podataka, dok su promatrači zasluženi za dohvaćanje podataka.

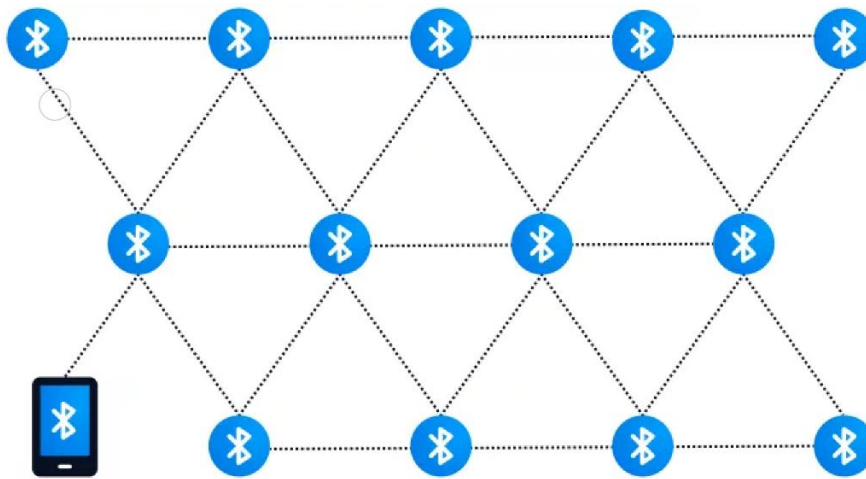


Sl. 2.2. PTM topologija, izrađeno prema [12]

2.2.1. Mrežasta topologija

Mrežasta komunikacijska topologija temeljena je na uspostavljanju više na više veze. Kao i PTM, ova je topologija isključivo korištena uz BLE tehnologiju. Ovaj način spajanja uređaja ima svoj zaseban standard za razliku od prethodna dva te ima svoje službene specifikacijske dokumente na

službenoj stranici *Bluetooth*-a [4]. Prednosti ove topologije su što se može koristiti sa svim BLE verzijama bez ikakve fizičke promjene sklopovlja, već samo ažuriranja programske podrške na uređajima koji komuniciraju preko BLE tehnologije. Osim toga, glavne dvije prednosti ove topologije su povećana udaljenost komunikacije između uređaja zvanih čvor (engl. *node*) i svojstvo samoobnavljanja [4]. Povećana udaljenost komunikacije omogućena je zbog same izvedbe mrežaste topologije koja je prikazana na slici 2.3. Iz slike se može vidjeti da su uređaji međusobno spojeni u mrežu što znači da ukoliko jedan uređaj nema direktan pristup drugom uređaju, može dobiti pristup preko drugih uređaja indirektno. Isto tako, svojstvo samoobnavljanja je moguće jer ukoliko jedan uređaj u mreži prestane raditi, neće cijela mreža prestati raditi nego će se komunikacija vršiti između svih ostalih uređaja u mreži.



Sl. 2.3. Mrežasta topologija, preuzeto iz [14]

2.3. Usporedba s Bluetooth Classic

Jedna od glavnih prednosti BLE tehnologije naspram *Bluetooth Classic* tehnologije je ta što BLE troši znatno manje energije nego *Bluetooth Classic*. To omogućuje uređaje opremljene BLE tehnologijom da rade mjesecima ili godinama bez potrebe za novom baterijom. Za malu potrošnju energije zaslužan je način prijenosa podataka. Naime, uređaji opremljeni BLE tehnologijom prenose podatke periodično za razliku od klasičnih *Bluetooth* uređaja koji kontinuirano šalju podatke. Zbog toga su savršeni kandidati za svrhe oglašavanja za što se i najčešće koriste kao i praćenje unutar zatvorenih prostora gdje GPS (engl. *Global Positioning System*, GPS) nije precizan [21]. U verziji 5.2. se prvi put pojavljuje *LE Audio* koji je stvoren kao alternativa za široko rasprostranjen *Bluetooth Audio*. Iako je kvaliteta zvuka lošija naspram klasične *Bluetooth Audio* vrste prijenosa zvuka, kojeg gotovo svi bežični proizvodi za reprodukciju zvuka koriste, ne čuje se znatna razlika između ta dva načina prijenosa zvuka. Za vrijeme pisanja ovog rada, *Bluetooth*

Audio nudi bolju kvalitetu zvuka u odnosu na *LE Audio*, kompatibilan je sa starijim verzijama *Bluetooth*-a (za razliku od *LE Audio*-a koji podržava samo verzije iznad 5.1.) i korišten je nizom godina naspram relativno novog *LE Audio*. *Bluetooth Audio* koristi se za *stereo* bežični prijenos zvuka na slušalice i zvučnike dok je *LE Audio* optimiziran za novu generaciju TWS (engl. *True Wireless Stereo*, TWS) slušalice i pomagala za gluhe koji zahtijevaju nisku potrošnju energije [22]. Tablica 2.1. prikazuje detaljnu usporedbu između BLE i *Bluetooth Classic* tehnologije.

Tablica 2.1. Usporedba BLE i *Bluetooth Classic* tehnologije, prema [23]

	Bluetooth Low Energy	Bluetooth Classic
Frekvencijski Spektar	2.4 – 2.408Ghz industrijsko znanstveni spektar	2.4 – 2.408Ghz industrijsko znanstveni spektar
Kanali	40 kanala razmaknuta za 2 MHz (3 za oglašavanje)	79 kanala razmaknuta za 1 MHz
Način korištenja kanala	<i>Frequency-Hopping Spread Spektar</i>	<i>Frequency-Hopping Spread Spektar</i>
Modulacija	GFSK	GFSK, $\pi/4$ DQPSK, 8DPSK
Brzina prijenosa podataka	LE 2M PHY: 2Mb/s LE 1M PHY: 1Mb/s LE Coded PHY(S=2): 500Kb/s LE Coded PHY (S=8): 125 Kb/s	EDR PHY (8DPSK): 3Mb/s EDR PHY ($\pi/4$ DQPSK): 2Mb/s BR PHY (GFSK): 1Mb/s
Tx snaga	≤ 100 mW (+20dBm)	≤ 100 mW (+20dBm)
Rx osjetljivost	LE 2M PHY: ≤ -70 dBm LE 1M PHY: ≤ -70 dBm LE Coded PHY(S=2): ≤ -75 dBm LE Coded PHY (S=8): ≤ -82 dBm	≤ -70 dBm
Prijenos podataka	Asinkrono konekcijski orijentirano Istovremeno konekcijski orijentirano Asinkrono bežično Sinkrono bežično Istovremeno bežično	Asinkrono konekcijski orijentirano Sinkrono konekcijski orijentirano
Komunikacijske topologije	PTP PTM Mrežna topologija	PTP
Svojstvo pozicioniranja	Prisutnost: Oglašavanje Smjer: Pronalazak Smjera Udaljenost: RSSI	Nema svojstvo

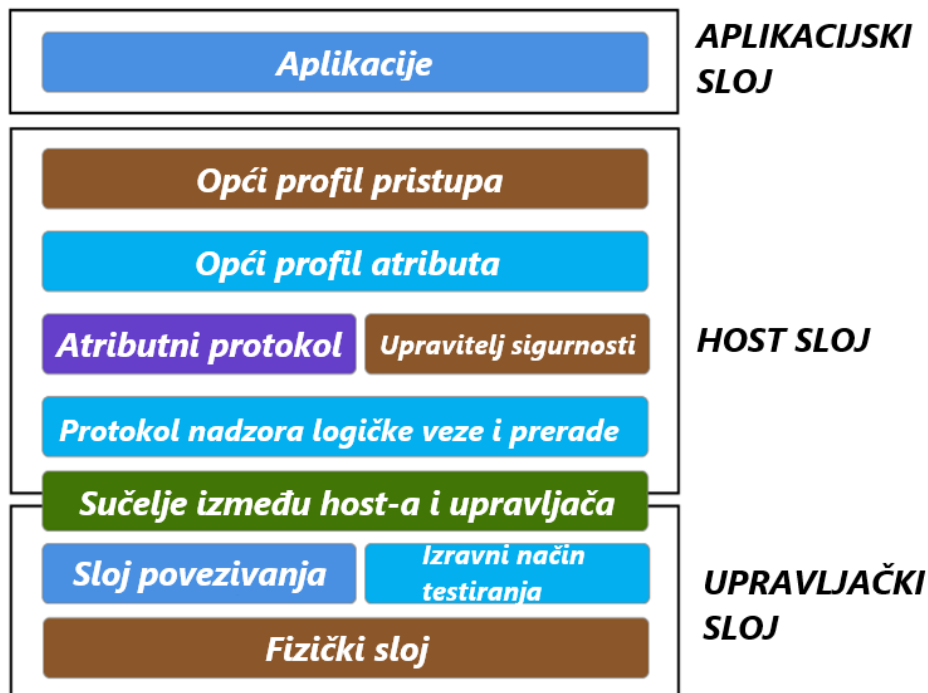
2.4. Arhitektura BLE tehnologije

Arhitektura BLE uređaja može se podijeliti u tri glavna bloka [4] [13], a to su: aplikacijski sloj, *host* sloj i upravljački sloj. Detaljan grafički prikaz slojeva je prikazan na slici 2.4.

2.4.1. Aplikacijski sloj

Aplikacijski sloj je sloj koji definira kako će aplikacija upravljati primljenim i poslanim podacima te koja će se logika koristiti za navedeno [4]. On predstavlja sučelje koje objedinjuje funkcionalnosti BLE uređaja u jednu cjelinu s kojom krajnji korisnik upravlja [16]. U nekim izvorima ovaj sloj ne pripada arhitekturi BLE uređaja jer aplikacijski sloj ovisi u specifičnom

zadatku koji aplikacija pokušava riješiti i mijenja se ovisno o potrebama tog zadatka, dok su preostala dva sloja uvijek fiksna.



Sl. 2.4. Arhitektura BLE uređaja, preuzeto iz [14]

2.4.2. Host sloj

Host sloj je sloj odmah ispod aplikacijskog sloja koji sadrži opći profil pristupa (engl. *Generic Access Profile*, GAP), opći profil atributa (engl. *Generic Attribute Profile*, GATT), atributni protokol (engl. *Attribute Protokol*, ATT), upravitelj sigurnosti (engl. *Security Manager*, SM), i protokol nadzora logičke veze i prerade (engl. *Logical Link Control and Adaptation Protocol*). GAP, GATT i ATT su bitni za ovaj završni rad te će se oni detaljnije objasniti u ovom poglavlju. GAP je profil koji definira kako BLE uređaji dobivaju pristup i komuniciraju međusobno. Ovaj profil osigurava siguran prijenos podataka između uređaja korištenjem SM-a kako bih sigurno izvršio prijenos informacija. Kriptografski algoritam koji se koristi za sigurnu razmjenu ključeva između uređaja je AES. Uz to, profil definira uloge koje se mogu dati BLE uređajima, a to su odašiljač, promatrač, središnji (engl. *central*) i periferija (engl. *peripheral*) [13] od kojih su odašiljač i promatrač objašnjeni u prijašnjim poglavljima. ATT je sloj niske razine koji definira kako će se prijenos podataka vršiti te pravila za pristup podacima na BLE uređajima. GATT implementira uloge poslužitelja (engl. *server*) i klijenta (engl. *client*), dok ga ATT definira. ATT također definira kako će podaci biti skladišteni na poslužitelja u obliku atributa koji se sastoje od [15] [17] 16-bitnog nenegativnog prefiksa, 128-bitnog univerzalnog unikatnog identifikatora

(engl. *Universally Unique Identifier, UUID*) koji u sebi sadrži *Bluetooth Base UUID* s vrijednošću 00000000-0000-1000-8000-00805F9B34FB koji služi pri generiranju završnog UUID-a, set pravila i vrijednost atributa [13]. Formula 2-1. koristi 16-bitni proizvoljni broj za generiranje 128-bitnog UUID-a, dok formula 2-2. prikazuje isti način generiranja 128-bitnog UUID-a, ali s 32-bitnim proizvoljnim brojem.

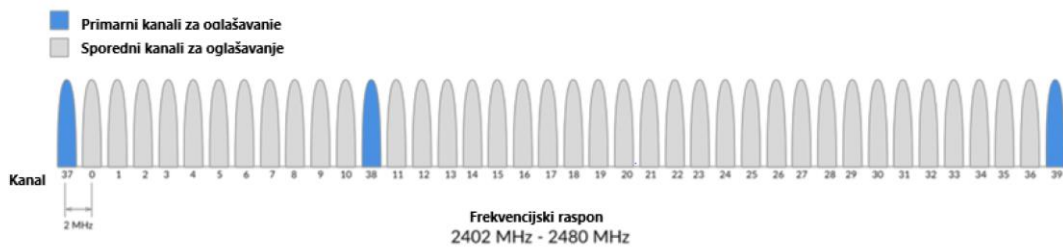
$$128 - \text{bit} - \text{UUID} = 16 - \text{bit} - \text{vrijednost} * 2^{96} + \text{Bluetooth} - \text{Based} - \text{UUID} \quad (2-1)$$

$$128 - \text{bit} - \text{UUID} = 32 - \text{bit} - \text{vrijednost} * 2^{96} + \text{Bluetooth} - \text{Based} - \text{UUID} \quad (2-2)$$

GATT sloj koristi ATT sloj kako bih pružao usluge na visokoj razini koje koriste proizvođači BLE uređaja. Koristi se za prijenos podataka između uređaja definiran ATT-om. Dvije uloge koje ovaj profil dodjeljuje uređajima su poslužitelj i klijent. Važno je za napomenuti da jedan uređaj može u isto vrijeme biti i poslužitelj i klijent. Uz to, GAP i GATT uloge su neovisne jedna od druge što znači da uređaj koji ima ulogu periferije može također biti poslužitelj i/ili klijent u isto vrijeme. Klijent šalje poslužitelju zahtjev te od njega dobiva odgovor. Klijent ne zna unaprijed ništa o atributima na poslužitelju pa im mora prvo pristupiti kako bih mogao čitati ili pisati podatke sa poslužitelja [12]. Poslužitelj je zadužen za slanje odgovora na upite klijenta te skladištenje i organizaciju podataka u attribute kojima klijent može pristupiti.

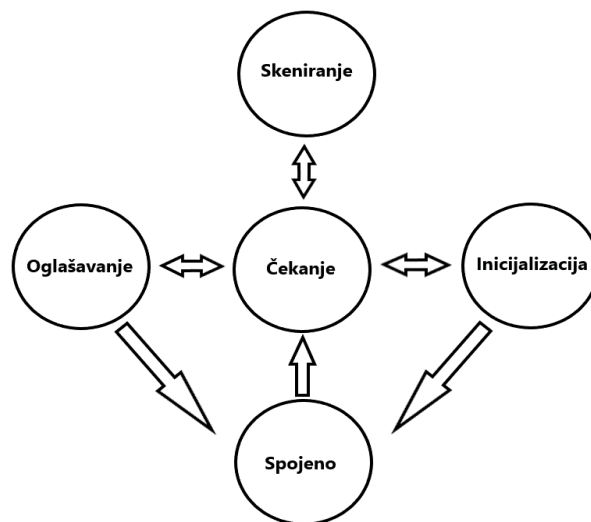
2.4.3. Upravljački sloj

Upravljački sloj je najniži sloj u BLE arhitekturi. On predstavlja fizičku implementaciju *Bluetooth* čipa. Sadrži sučelje između *host*-a i upravljača (engl. *Host Controller Interface*), sloj povezivanja (engl. *Link Layer*), izravni način testiranja (engl. *Direct Test Mode*) i fizički sloj (engl. *Physical Layer, PHY*). PHY sloj je zadužen za moduliranje i demoduliranje radio signala unutar radnog frekvencijskog spektra *Bluetooth* tehnologije (2.4 GHz – 2.48 GHz). Podijeljen je u 40 kanala, od kojih je svaki udaljen od prijašnjeg za 2 MHz-a. Tri kanala su korištena za primarno oglašavanje (kanali 37, 38 i 39), a ostali su korišteni za sekundarno oglašavanje [4], [26]. Primarni kanali se najčešće koriste u svrhe oglašavanja, dok se sekundarni kanali koriste za prijenos podataka prilikom uspostavljanja konekcije s uređajem. Na slici 2.5. prikazan je radijus radnog frekvencijskog polja u BLE uređajima. Sivom bojom označeni su sekundarni (sporedni) kanali za oglašavanje, a plavom bojom primarni. Sloj povezivanja pruža visoku razinu apstrakcije za komunikaciju s PHY slojem. Služi za ravnomjernu raspodjelu stanja u PHY sloju koji mogu biti čekanje, oglašavanje, skeniranje, inicijalizacija i spojeno. Slika 2.6. pokazuje sva moguća stanja PHY sloja te sve moguće prijelaze stanja. Bitno je za napomenuti da je nemoguće u jednom



Sl. 2.5. Radijus radnog frekvencijskog polja BLE uređaja i kanali, napravljeno prema [4]

trenutku za PHY sloj da ima više od jednog postojećeg stanja [4]. U stanju čekanja, PHY sloj ne prima ni ne prijenosi nikakve podatke. U ovo stanje se može ući iz bilo kojeg drugog stanja [18]. U stanju oglašavanja, PHY sloj šalje oglasne pakete kako bi ih ostali uređaji otkrili i pročitali. Uređaj koji je u ovom stanju naziva se oglašivač. U ovo stanje se može jedino ući iz stanja čekanja [18]. U stanju skeniranja, PHY sloj sluša za oglasne pakete koji dolaze od uređaja u stanju oglašavanja. Uređaj koji je u ovom stanju naziva se skener. U ovo stanje se može jedino ući iz stanja čekanja [18]. U stanju inicijalizacije, PHY sloj sluša za oglasne pakete od određenog ili određenih uređaja, te kada primi pakete šalje zahtjev za konekciju. Uređaj u ovom stanju se naziva inicijalizator. U ovo stanje se može jedino ući iz stanja čekanja [18]. U spojeno stanje se može jedino ući kroz stanje inicijalizacije i oglašavanja.



Sl. 2.6. Dijagram stanja u sloju povezivanja, napravljeno prema [4]

2.5. BLE beacons

BLE *beacons* su mali, baterijski uređaji koji bežično prenose podatke putem BLE tehnologije. U IoT svijetu se često koriste jer spajaju stvari koje nisu povezane s Internetom na Internet preko

promatrača (najčešće pametni telefoni) koji imaju ugrađenu BLE tehnologiju u sebi kao i Internet protokol [24]. Ovi uređaji su vrlo fleksibilni jer mogu biti statični (kao što su korišteni u praktičnom dijelu ovog rada) i dinamički (uređaji kao što su pametni satovi). Opremljeni su s 32-bitnim *ARM* procesorom i konfigurirani za rad na radio frekvenciji od 2.4 GHz-a [25], a ostale specifikacije ovise o samom proizvođaču *beacona* (npr. mogu se dodati senzori za mjerenje vlage i temperature).

2.5.1. Način rada

Za opisivanje načina rada BLE *beacona* često se koristi analogija svjetionika i brodova. Svjetionik ima posao signalizirati brodovima u radijusu oko sebe njegovu poziciju putem svjetla. Okolni brodovi koji plove u tom radijusu primaju te svjetlosne signale i putem njih znaju lokaciju svjetionika i vlastitu lokaciju u odnosu na svjetionik. Bitan detalj je da svjetionik nikada ne zna koji se brodovi njemu u blizini nalaze, već on samo šalje signale koji brodovi primaju i koriste za navigiranje. Tako on zapravo nikada ne dolazi u kontakt s brodovima nego ih samo obavještava o svojem postojanju. Na vrlo sličan način rade i BLE *beaconi* koji u svojem radijusu oglašavanja šalju pakete koji sadrže identifikatore s kojima se može raspoznati o kojem je *beaconu* riječ i još neke druge podatke koji ovise o vrsti protokola za oglašavanje unutar *beacona*. Prema [26], postoje četiri različita protokola dostupna za odabir prilikom proizvodnje *beacona* koji proizvođači mogu odlučiti koristiti, a to su:

- *Eddystone*
- *iBeacon*
- *AltBeacon*
- *GeoBeacon*

Od svih navedenih protokola, najčešće korištena dva su *iBeacon* i *Eddystone* zbog svoje široke podrške za *Android* (*Eddystone*) i *iOS* (*iBeacon*).

2.5.2. Eddystone

Eddystone je BLE protokol otvorenog koda (engl. *open-source*) koji je razvio *Google* 2015. godine. Uz to što je otvorenog koda, također je i višeplatformni (engl. *multiplatform*) što znači da podržava *Android* i *iOS* uređaje. *Google* je odlučio 2018. godine prekinuti podršku za *Eddystone* protokol, no danas se i dalje često koristi zato što je otvorenog koda [27]. Podatkovni paketi unutar ovog protokola se nazivaju okviri (engl. *frames*). Prema [27], okviri koje šalje *Eddystone* protokol su:

- Unikatan identifikator (engl. *Unique Identifier, UID*)
- URL (engl. *Uniform Resource Locator, URL*)
- Telemetrijske podatke (engl. *Telemetry Data, TLM*)
- Kratkotrajni identifikator (engl. *Ephemeral Identifier, EID*)

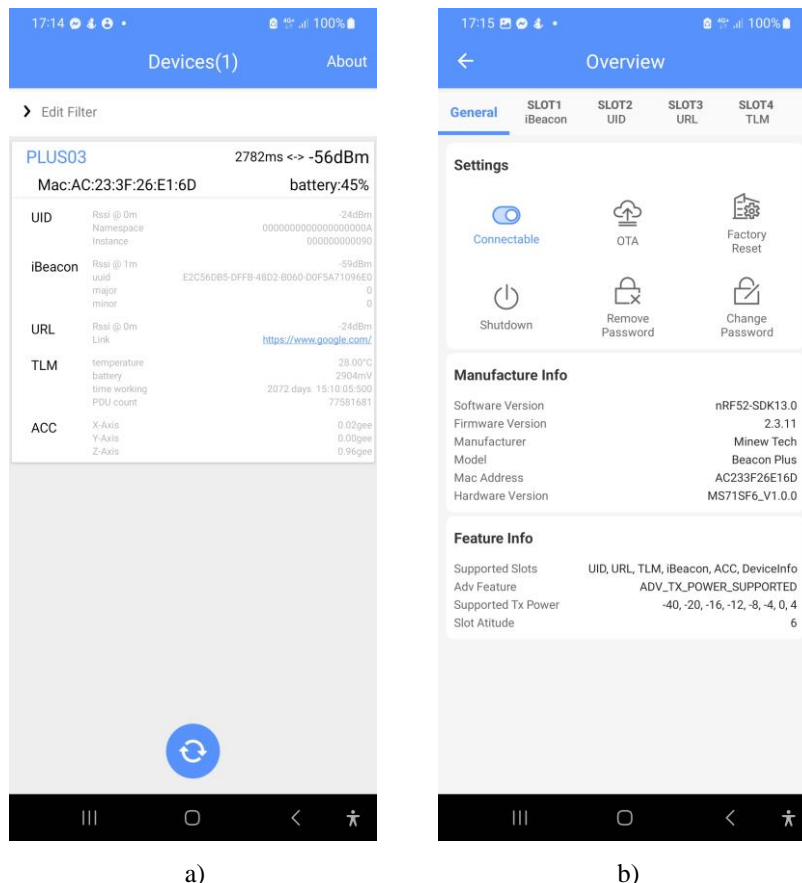
UID je okvir koji se koristi za oglašavanje unikatnog identifikatora *beacona* veličine 16 bajta od kojih je 10 rezervirano za *namespace*, a preostalih 6 za pojedinu instancu *beacona* [27]. *Namespace* je statičan identifikator koji se koristi za definiranje grupe *beacona* ili organizaciju. Ako se neka tvrtka odluči koristiti ovaj protokol, može dodijeliti unikatni *namespace* identifikator kako bi znala koji *beaconi* joj pripadaju. Unikatan identifikator instance koristi se za lako raspoznavanje i razlikovanje *beacona* unutar iste grupe. URL je okvir koji se koristi za oglašavanje URL-ova koji su komprimirani da stanu unutar okvira [27]. TLM je okvir koji je zadužen za oglašavanje zdravlja i statusa *beacon* uređaja [27]. Ti podatci su najčešće kapacitet baterije, broj oglašavanja i temperatura uređaja. EID je okvir koji stvara šifrirane jednokratne identifikatore periodično što znatno smanjuje šansu praćenja *beacona* [27]. Koristi se za aplikacije kojima je privatnost i sigurnost jako bitna.

2.5.3. iBeacon

iBeacon je BLE protokol zatvorenog koda (engl. *closed-source*) koji je razvio *Apple* 2013. godine. Iako je primarno osmišljen za uređaje koji rade na *iOS* operacijskom sustavu, *iBeacon* protokol također podržava *Android*, čime omogućuje širu primjenu. Ovaj protokol može koristiti do 31 bajt podataka koji se dijele na četiri komponente [28]. Prva komponenta *iBeacon* protokola je prefiks koji služi za označavanje paketa. Ova komponenta je zaslužna za obavještanje primatelja podataka da je podatak spremljen *iBeacon* protokolom. Uz to, sadrži i identifikator proizvođača *beacona* te zauzima najviše 9 bajta. Druga komponenta je UUID koja predstavlja komponentu od 16 bajta i služi za razlikovanje različitih skupina *beacona*. Pomoću ove komponente se definira grupa *beacona* koja pripada nekoj organizaciji. Treća komponenta definira glavni (engl. *major*) i sporedni (engl. *minor*) broj s kojima se nadalje mogu podijeliti *beaconi* unutar organizacije. S glavnim brojem se *beaconi* dijele u grupe unutar organizacije, a s sporednim se označavaju pojedine instance *beacona*. Ova komponenta zauzima najviše četiri bajta koja se ravnomjerno dijele između glavnog i sporednog broja. Zadnja komponenta je snaga prenesenog signala (engl. *transmitted power*) i koristi se za aproksimaciju udaljenosti od promatrača (npr. pametnog telefona) do izvora signala (*beacona*). Koristi jedan bajt.

2.5.4. Konfiguracija

Konfiguracija *beacona* podrazumijeva postavljanje vrijednosti parametara *beacona* kako bih *beacon* radio prema potrebama aplikacije. Ovaj proces omogućava prilagodbu različitih funkcionalnosti *beacona*. Najčešće se konfiguracija vrši putem aplikacije koju proizvođači *beacona* pružaju pri kupovini. Ove aplikacije su dizajnirane kako bi korisnicima omogućile jednostavan i intuitivan način za konfiguraciju *beacona*. Postavke za prilagodbu ovise o protokolu korištenom za prijenos podataka u *beaconu*. Za praktični dio rada korišteni su *beaconi* tvrtke *Minew* koji koriste aplikaciju proizvedenu od iste tvrtke za konfiguriranje podataka o *beaconu* pod nazivom „*BeaconSET Plus*“. Ti *beaconi* su bazirani na *Eddystone* protokolu, ali imaju karakteristike *iBeacon* protokola. Slike 2.7. pod a) i b) prikazuju sučelja navedene aplikacije. Kada korisnik klikne na *beacon* koji želi konfigurirati, pojavi se okvir za unos lozinke *beacona*. Pri uspješnom unosu točne lozinke, korisnik dobiva pristup svim dostupnim elementima



Sl. 2.7. Sučelje aplikacije „*BeaconSET Plus*“

konfiguracije. Pošto su ovi *beaconi* hibrid između *Eddystone* i *iBeacon* protokola, korisnik može upravljati parametrima jednog i drugog protokola. Na primjer, korisnik može, kao što se vidi na slici 2.7. pod b), upravljati *iBeacon* značajkama kao što su UUID, glavni i sporedni broj, ali ujedno ima i opciju konfiguracije UID-a, TLM-a i URL-a što su postavke koje pruža *Eddystone* protokol.

Nakon postavljanja odabranih opcija, uređaj pohrani promjene i prilikom sljedećeg korištenja koristi novu konfiguraciju.

2.6. Primjene BLE

BLE tehnologija postala je široko primjenjiva tehnologija i u različitim granama industrije izvan IT sektora zbog svojstava male energetske potrošnje i bežičnog prijenosa podataka. Njene primjene obuhvaćaju razne industrije, uključujući medicinsku, prometnu i trgovačku industriju.

2.6.1. Medicina i zdravstvo

Medicinska industrija je oduvijek pokušavala pronaći načine da smanji troškove bez da ugrozi kvalitetu života pacijenata. Prije razvoja BLE tehnologije nijedna tehnologija koja je bila dostupna nije uspjela zadovoljiti sve uvjete koje su uređaji za medicinske svrhe zahtijevali. Uvjeti koji su se morali ispuniti su bili mogućnost komunikacije između uređaja različitih marki, mala potrošnja energije kako bih uređaji mogli biti konstantno upaljeni mjesecima ili godinama, personalizirani programi za medicinsku primjenu i prijenos podataka propisan od strane medicinskih stručnjaka, rad uređaja u okruženju drugih radio primopredajnika bez stvaranja elektromagnetskog smetanja, siguran prijenos podataka i mogućnost komunikacije s Internetom i telefonskom infrastrukturom kako bih se podacima mogli pristupiti medicinski stručnjaci u medicinskim zgradama [29]. Prema [29], BLE tehnologija je prva bežična komunikacijska tehnologija koja je uspjela zadovoljiti navedene uvjete. Tehnologije koje su se probale koristiti prije su bile *Wi-Fi*, *ZigBee* i *Bluetooth Classic*.

Neki od primjera gdje se može koristiti BLE tehnologija za medicinu su: pametni satovi s funkcijom praćenja zdravlja, senzor za mjerenje otkucaja srca [30], aplikacija za praćenje krvnog tlaka [31]. *MMA7260QT* je senzor za mjerenje akceleracije kojeg je napravila tvrtka *Freescale*. Sadrži tri osi (x, y, z), par razina osjetljivosti i radi na 3.3V istosmjernog napona. Svaka os prilikom promjene akceleracije mijenja razinu napona. Na taj se način, prilikom otkucaja srca, dobije razina napona na osi koja uz dodatno filtriranje i pojačanje signala predstavlja jačinu otkucaja srca. Testiranjima provedenim u članku [30], došlo se do zaključka da su pokreti srca koji se protežu do prsa najjačeg intenziteta u području gdje su prsa okomita sa srcem. Zbog toga, senzor je postavljen na način da je z-os okomita s prsima, x-os u širini ramena i y-os od glave do pete osobe na koju se senzor zalijepio. Kada su se postigli obećavajući rezultati, prijenos podataka fizičkim kablovima se zamijenio u korist bežičnog prijenosa podataka za koji je korišten *ZigBee*. Iako u ovom članku nije bio korišten BLE, autori na kraju članka opisuju kako se za prijenos podataka može koristiti bilo koja *Bluetooth* tehnologija. Prilikom istraživanja odnosa između krvnog tlaka i

kardiovaskularnih problema, autori iz članka [31] zaključuju da postoji značajna povezanost između prosječne stvarne varijabilnosti (engl. *average real variability*, ARV), krvnog tlaka (BP) i varijabilnosti krvnog tlaka (BPV). ARV je identifikator korišten za promatranje i opisivanje utjecaja varijabilnosti krvnog tlaka na kardiovaskularne probleme koji je precizniji nego često korištena standardna devijacija. Standardna devijacija predstavlja raspršenost vrijednosti oko srednje vrijednosti skupa ne uzimajući u obzir poredak vrijednosti u skupu. Drugim riječima, za skup brojeva 2, 4, 6 i skup brojeva 6, 4, 2 poredak nije jednak, ali standardna devijacija je. Formula 2-3. koristi se za izračun ARV indeksa.

$$ARV = \frac{1}{\sum w_k} \sum_{k=1}^n w_k * |BP_{k+1} - BP_k| \quad (2-3)$$

gdje je: n – broj uspješnih mjerenja krvnog tlaka, k – broj između 1 i n, w_k – vremenski interval između BP_k i BP_{k+1}

Krajnji rezultat bila je aplikacija koja u stvarnom vremenu mjeri razinu krvnog tlaka u intervalima od 15 minuta tijekom perioda kada je osoba budna, a kada spava u intervalima od 30 minuta. Senzor bežično šalje podatke putem BLE tehnologije u bazu podataka aplikacije. Aplikacija konstantno provodi analizu podataka i ukoliko primijeti anomalije u mjerenjima ponudi korisniku prikaz mjerenja nakon čega on ima opciju slanja tih podataka na email adresu/e liječnika.

2.6.2. Promet

Promet je kompleksna cjelina koja se sastoji od različitih sudionika poput pješaka, biciklista, osobnih automobila, gradskog prijevoza i drugih. Upravljanje prometom postaje teže svake godine jer se prometna infrastruktura često ne može fizički promijeniti do te razine da će se postići veliki napredak (ulice u gradu su ograničene dostupnom širinom), a razina proizvedenih vozila na svjetskoj razini je nakon naglog pada između 2018. i 2020. godine opet počela rasti [33] što za posljedicu čini upravljanje prometom zahtjevnijim svake naredne godine. Kako bih se prikupili podatci o stanju prometa, često se unutar postojeće prometne infrastrukture ugrađuju sustavi za praćenje prometa koji se koriste raznim sensorima i kamerama za prepoznavanje vozila [32]. To u konačnici daje poželjne rezultate, ali problem se javlja kod toga što ovaj pristup rješavanju problema nije skalabilan i troškovi održavanja su veliki [32]. Tehnologija koja je danas široko rasprostranjena u prometnom sektoru je GPS (engl. *Global Positioning System*, GPS). GPS omogućuje praćenje prometa u stvarnom vremenu, preko cijeloga svijeta i s velikom razinom preciznosti. Današnji pametni telefoni imaju ugrađene GPS sustave, što korisnicima omogućava korištenje aplikacija poput „*Google Maps*“ za pregled stanja u prometu i pronalazak najbržeg puta

između dvije lokacije na temelju podataka gustoće prometa. Glavna mana GPS sustava je visoka potrošnja energije što za posljedicu brzo isprazni uređaje koji ju koriste, a to su najčešće pametni telefoni. Za bolju energetske efikasnosti može se koristiti BLE tehnologija, no ona je jedino bolja u energetske efikasnosti naspram GPS sustava. BLE se u prometu koristi najčešće u svrhe sigurnosti i signalizacije sudionika prometa.

Neki primjeri gdje se može koristiti BLE tehnologija za promet su: detekcija klase prijevoznog vozila [32], sustav upozoravanja pješaka koji ne paze na prometno stanje [34], sustav detekcije prometnih prekršaja [35]. Za svrhe detekcije klase prijevoznog vozila, autori iz članka [32] predstavili su rješenje u kojemu su *beaconi* postavljeni na fiksno mjesto s jedne strane ceste, a s druge strane ceste se nalaze pametni telefoni koji prikupljaju jačinu signala koju *beaconi* emitiraju. Tri klase vozila na kojima je testirana detekcija su: automobili, kombiji i kamioni. Testiranje se provodilo dva sata. Aplikacija koju su mobiteli koristili bila je zadužena za prikupljanje i skladištenje jačine signala kojeg emitiraju *beaconi*. Aplikacija nije nudila analizu podataka u stvarnom vremenu već su je autori naknadno proveli. Koristili su se metodom potpornih vektora, slučajnih šuma (engl. *random forests*), probabilističkom neuronskom mrežom i metodom k-najbližih susjeda za klasifikaciju vozila. Na kraju su zaključili da je algoritam slučajnih šuma imao najbolju pri klasifikaciji vozila (92.2%). Sustav za upozoravanje pješaka koji ne paze na prometno stanje sadrži *beacone*, mobilnu aplikaciju i bazu podataka koja služi za skladištenje korisnikovih ponašanja. *Beaconi* se postavljaju na raskrižju u grupe po tri *beacona* od kojih je jedan glavni, a drugi sporedni. Sporedni *beaconi* su zaduženi za mjerenje udaljenosti između pješaka i njih, a glavni je postavljen prije pješačkog prijelaza i zadužen je za obavještanje pješaka ukoliko ne pazi na stanje u prometu. Aplikacija koju pješak koristi se jednom pokrene i radi u pozadini mobilnog uređaja. Aplikacija koristi skup pravila na temelju kojih određuje je li pješak pazi na stanje u prometu ili ne. Prvi korak je provjera je li pješak unutar 20m raskrižja. Drugi korak je provjera je li se pješak približava raskrižju. Treći korak je provjera je li pješaku zaslon mobitela upaljen. Ako je odgovor na prva tri koraka da, provjerava se je li pješak piše poruke, igra igrice, čita vijesti i dr. Ako da, zadnji korak je provjera pod kojim kutom pješak drži mobitel. Kut pod kojim pješak drži mobitel je vrlo bitan jer preko njega aplikacija dobiva uvid u to je li ga pješak koristi ili ga samo drži u ruci. Na kraju, ako je kut držanja mobitela prevelik i svi ostali prethodni koraci su ispunjeni, aplikacija šalje pješaku na zaslon mobitela poruku upozorenja da se približava raskrižju. Sustav za detekciju prometnih prekršaja, opisan u članku [35], koristi *Raspberry Pi 3 Model B+* za obradu informacija i bežični prijenos podataka preko BLE tehnologije, senzore pokreta za detekciju vozila u pokretu, senzor za mjerenje udaljenosti s kojim se aproksimirala

brzina kretanja vozila, kameru i svjetlosni senzor. Kamera služi za slikanje registracijske oznake vozila. Svjetlosni senzor se aktivira tijekom noći. Preko njega se pale dodatna svjetla u okolici sustava kako bi kamera proizvela što bolju kvalitetu slike. Nakon slikanja vozila i prepoznavanja registracijske oznake kroz obradu slike, sustav šalje poruku osobi koja je napravila prekršaj s detaljima brzine vožnje, vremenom i datum prekršaja i cijenom otplate kazne.

2.6.3. Lokalizacija i navigacija

Lokalizacija i navigacija su dva različita pojma koja se često koriste zajedno. Lokalizacija se odnosi na proces određivanja pozicije objekta ili osobe unutar neke prostorne jedinice, dok se navigacija bavi planiranjem i izvođenjem rute do određene lokacije s podacima o okruženju koji predstavljaju prepreke i putove ili neke druge faktore. Kao što je opisano u poglavlju „*Promet*“, GPS se koristi za lociranje korisnika i navigaciju između dvije lokacije u prostoru. Navedeno je točno za svrhe korištenja unutar otvorenog prostora gdje GPS signali nemaju previše prepreka koje utječu na preciznost mjerenja. Ukoliko je riječ o unutarnjoj navigaciji, pojavljuje se problem kod preciznosti GPS-a pošto signali moraju putovati između uređaja i satelita kroz zidove i krov ustanove u kojoj se koristi. Kako GPS radi na principu slanja signala satelitu i primanja odgovora od satelita, preciznost mjerenja, koja ovisi o ispravnosti signala, opada zbog izobličenja signala. Zbog toga se za lociranje i navigaciju unutar zatvorenih prostorija koriste BLE *beaconi*.

Neki od primjera predloženih rješenja za lokaciju i navigaciju unutar zatvorenih prostora korištenjem BLE *beacona* su: mobilna aplikacija za lociranje i navigaciju osoba s poremećajem vida [36], praćenje korisnika u pokretu [37]. Aplikacija za lociranje i navigaciju osoba s poremećajem vida koristi BLE *beacone* za lociranje osobe u zatvorenom prostoru. Autori su naveli u članku kako je cilj napraviti aplikaciju koja ima veliku preciznost kako bih se mogla koristiti kao pomagalo osobama s poremećajem vida. Aplikacija je bila testirana na 10 osoba. Za svaku osobu se provelo 26 različitih mjerenja u trgovačkom centru površine 21.000 m². Aplikacija je uspješno locirala osobe u 243 od 260 provedenih mjerenja (preciznost od 93.5%). Sustav za praćenje korisnika u pokretu, opisan u članku [37], započeo je kao rješenje problema navigacije u mjestima gdje *Wi-Fi* signali nisu dostupni kroz cijeli kompleks (npr. bolnice). Za rješavanje problema korištene su tri komponente. To su: *Raspberry Pi Zero W*, *beaconi* i poslužitelj baze podataka. Jedan *beacon* je pokretan i nosi ga osoba koja želi navigirati kroz kompleks, a drugi su fiksni. *Raspberry Pi Zero W* korišten je kao skladište podataka koje emitiraju *beaconi* i za slanje podataka u bazu podataka za daljnju obradu. Za lociranje pokreta osobe, autori predstavljaju rješenje koje koristi broj primljenih signala (engl. *Received Number of Signals*, RNSI). RNSI predstavlja alternativan način lociranja osobe koji se bazira na broju primljenih signala. Mjesto na kojem se

nalazi najveći broj primljenih signala se uzima kao mjesto gdje se osoba nalazi. *Beaconi* su bili postavljeni u razmaku između 5 i 8 metara, a period oglašavanja je bio 5 sekundi. Uz alternativnu RNSI metodu, autori su koristili i klasičnu metodu snage primljenih signala (engl. *Received Signal Strength Indicator*, RSSI) za lociranje osobe kako mogli usporediti preciznost obje. RSSI metoda lociranja koristi jačinu signala za aproksimaciju udaljenosti uređaja do *beacona*. RSSI *beacona* može se konfigurirati unutar aplikacije za postavljanje parametara *beacona*. Mjerna jedinica RSSI-a su decibeli po milivatu (dBm ili dBmW). Sustav se testirao unutar dvije različite bolnice i zaključak je bio da RNSI metoda lociranja ima veću preciznost od RSSI metode tijekom lociranja osobe koja se kreće kroz bolnicu. Preciznost pravilnog lociranja osobe bila je oko 83% za RNSI metodu, a za RSSI metodu oko 76%.

2.6.4. Trgovina i oglašavanje

Trgovačka industrija dijeli slične ciljeve kao i medicinska industrija, fokusirajući se na poboljšanje iskustva korisnika i povećanje prihoda. Uz pomoć BLE tehnologije, trgovci mogu personalizirati ponude i poboljšati komunikaciju s kupcima u stvarnom vremenu. BLE *beaconi* omogućuju trgovcima da dostavljaju relevantne informacije i promotivne ponude direktno na pametne telefone kupaca dok se kreću kroz trgovinu, čime se povećava angažman i potiče kupovina. Istovremeno, BLE omogućuje trgovcima prikupljanje podataka o ponašanju kupaca, što im pomaže u optimizaciji asortimana proizvoda i marketing strategija, kako bih povećali zadovoljstvo kupaca i profitabilnost. BLE *beaconi* su savršeni kandidati za potrebe trgovaca jer njihov se način rada temelji na oglašavanju, što je već praksa u trgovačkoj industriji koja masovno promovira svoj sadržaj putem tradicionalnih kanala kao što su televizija, radio i tiskani mediji. Uz benefite koje trgovci dobiju, kupci također imaju benefite. Na primjer, trgovina opremljena s *beaconima* može kupcu poslati preko aplikacije trgovine posebne ponude za proizvode prilikom ulaska u red s policama gdje se nalazi *beacon*. Također, ukoliko kupac ne uspije pronaći proizvod koji traži, *beaconi* mu mogu značajno olakšati proces. Umjesto da kupac nastavi trošiti vrijeme tražeći proizvod ili zaposlenika trgovine za pomoć (što utječe negativno na njegovo iskustvo kupovine), kupac može putem aplikacije unijeti naziv proizvoda koji traži. Aplikacija tada može kupcu pokazati smjernice do proizvoda što smanjuje vrijeme provedeno u trgovini. Smanjenje vremena provedenog u trgovini znatno poboljšava cjelokupno iskustvo kupovine, što kupca motivira da se vrati i nastavi kupovati u istoj trgovini.

Neki primjeri korištenja *beacona* za svrhe trgovine i oglašavanja su sljedeći: blizinski (engl. *proximity*) marketing – aplikacija za personaliziranu kupovinu u kojoj korisnik (osim osnovnih funkcionalnosti aplikacija za kupovinu) dobiva ponude ovisno o povijesti kupovina [38], sustav

za praćenje robe u skladištima trgovina [39], pronalaženje proizvoda unutar trgovine [40]. Aplikacija za personaliziranu kupovinu koristi *beacone* za prikazivanje posebnih ponuda prilikom ulaska u red s policama. Vlasnik trgovine postavlja *beacone* na mjesta unutar trgovine gdje želi kupcima ponuditi popuste za kupovinu. Aplikacija prima pakete koje *beacon* oglašava preko kojih dolazi do UID-a koji je unikatan za svaki *beacon*. UID se veže za pojedini proizvod unutar trgovine i preko njega se može pretražiti u poslužitelju baze podataka o kojem je proizvodu riječ. Podaci o svim proizvodima preuzimaju se odmah pri ulasku u trgovinu i spremaju se u memoriju uređaja. Na taj način, kupac kada dođe do *beacona* može odmah dobiti popust na proizvod bez da čeka dohvaćanje proizvoda iz baze podataka putem Interneta. Aplikacija također nudi i navigaciju unutar trgovine koja je bazirana na RSSI metodi lociranja. Pomoću nje je izrađeno rješenje „*Click and collect*“. Kupac ima opciju dodati proizvode koje želi kupiti i poslati zahtjev trgovini. Kada kupac dođe u blizinu trgovine, *beaconi* koji se nalaze na parkiralištu šalju proizvode administratorskom korisniku u trgovini koji ih priprema kupcu. U članku [40], opisuje se rad aplikacije koja koristi *beacone* za pomoć pri pronalaženju proizvoda unutar trgovine. Unutar sučelja aplikacije, kupac ima opciju odabira proizvoda. Nakon odabira, aplikacija pronalazi *beacon* koji je UID-om povezan s proizvodom i navodi ga do njega. Za navigaciju, koristi se RSSI metoda.

2.7. Sigurnost i privatnost

Sigurnost je jedna od najkritičnijih aspekata u razvoju i implementaciji IoT tehnologije. Povećanjem broja aktivnih uređaja koji se spajaju i međusobno komuniciraju putem mreže, raste također i inicijativa neautoriziranih sudionika da sudjeluju u raznim napadima s kojim kompromitiraju sigurnost sustava. Uz to, većina uređaja koji se koriste u IoT su hardverski limitirani zbog učestalosti zahtjeva da uređaji korišteni budu što manjih dimenzija, pa predstavljaju česte mete napada. Sigurnost je toliko važna da su u istraživanju provedenom u 2023. godini, tvrtke koje su sudjelovale u istraživanju stavile sigurnost kao najbitniju stavku u izgradnji IoT rješenja (osim potrebe za izvorom energije) i 60% njih je izjavio da planiraju povećati iznos ulaganja u povećanje sigurnosti [20]. Prema [4] i [19], najčešći sigurnosni indikatori su:

1. Autentičnost
2. Autorizacija
3. Integritet
4. Povjerljivost
5. Privatnost

Autentičnost predstavlja dokaz da je osoba s kojom se vrši komunikacija legitimni sudionik u komunikaciji, odnosno stvarna osoba s kojom se želi komunicirati, a ne netko drugi tko se preuršio u osobu s kojom se vrši komunikacija. U kontekstu BLE *beacona*, važno je osigurati da uređaj s kojim se komunicira nije maliciozan uređaj koji oponaša autorizirani uređaj[4]. Autorizacija je dodjeljivanje dozvole za obavljanje neke radnje. Ako neka osoba posudi prijatelju mobitel radi poziva, može mu dati pristup mobitelu, ali navesti kako ga smije koristiti samo za poziv. S tim je prijatelj autoriziran da koristi mobitel samo za poziv i ništa drugo. Na taj princip se mogu upravljati i BLE *beaconi*. Kada se uređaj poveže s *beaconom*, može mu se dodijeliti pristup samo određenim funkcijama [19]. Integritet osigurava da primljeni podaci nisu modificirani od strane neautoriziranog uređaja, odnosno da pri prijenosu kroz komunikacijski kanal ne dođe do korupcije podataka [4]. Povjerljivost je definirana kao namjera da poslana poruka bude tajna. U BLE *beaconima* to predstavlja uvjerenje da i ako neautorizirana osoba uspije dobiti poruku prenesenu komunikacijom uređaja, ne može ju dešifrirati [19]. Privatnost opisuje koliko je privatna komunikacija. Kao i što je teško poznatoj osobi otići negdje bez da ju itko prepozna, tako je i teško održati kompletnu privatnost komunikacije BLE uređaja. Privatnost je bitna pogotovo kada se radi o uređajima koji prate pokrete korisnika jer ako to dođe u ruke maliciozne osobe, posljedice mogu biti razne [19]. Sigurnost se u BLE upravlja pomoću SM-a koji se nalazi u *host* sloju. SM je zaslužan za definiranje protokola i algoritama za generiranje i izmjenu ključeva između dva uređaja. Sigurnosne značajke kojima se koristi su: uparivanje, vezivanje (engl. *bonding*), autentičnost, enkripcija i integritet poruke [4]. Uparivanje je proces stvaranja zajedničkih tajnih ključeva za dva uređaja u komunikaciji. Vezivanje je proces stvaranja i pohranjivanja tajnih ključeva na obje strane komunikacije. Enkripcija je postupak šifriranja podataka razmijenjenih između sudionika. Integritet poruke predstavlja potpisivanje podataka i provjera potpisa na strani primatelja podataka. Razvojem BLE specifikacije tokom godina dovelo je i do značajnog sigurnosnog napretka. Od verzije 4.2 pa do najnovije verzije tijekom pisanja ovog rada (5.4) za sigurnost se koristi koncept LE sigurne konekcije (engl. *LE Security Connections*, LESC). Jedan važan napredak koji je donio LESC je korištenje *Diffie-Hellmanovog* protokola eliptične krivulje (ECDH) tijekom uparivanja uređaja. Verzija 4.2 je također predstavila pojam zvan „*legacy connections*“ koji je kolekcija metoda uparivanja korištena u uređajima koji podržavaju samo verzije starije nego verzija 4.2. Pošto što su te metode već zastarjele (*Bluetooth* 4.1 je izašao 2013. godine), ovaj rad će opisivati sigurnost i privatnost u BLE uređajima na temelju verzija 4.2 i iznad. SM rješava probleme vezane za sigurnost na sljedeće načine [4]:

- Povjerljivost – preko AES 128-bitne enkripcije

- Autentičnost – preko uparivanja i vezivanja
- Privatnost – s privatnim adresama
- Integritet – s digitalnim potpisima

Uparivanje se odnosi na privremenu sigurnosnu mjeru koja se pokreće tijekom inicijalizacije konekcije između dva uređaja. Sastoji se od tri faze. U prvoj fazi, uređaj koji je sluga započinje proces uparivanja s glavnim uređajem. Glavni uređaj šalje slugi poruku s kojom zahtjeva uparivanje, a sluga mu šalje odgovor na zahtjev uparivanja. Te dvije poruke zapravo predstavljaju specifikacije koje podržava pojedini uređaj kao i sigurnosne predispozicije koje ima pojedini uređaj, a to su: ulazno izlazne sposobnosti, zahtjevi autentičnosti, najveća podržana veličina enkripcijskog ključa, te različite sigurnosne ključeve koje svaki uređaj zahtjeva koristiti. U drugoj fazi, uređaji zasebno generiraju par privatnih i javnih ključeva koristeći ECDH protokol. Nakon toga, uređaji izmjenjuju javni ključ međusobno i generiraju tajni zajednički ključ zvan dugotrajan ključ (LTK). Treća faza nije obavezna, ali se u praksi često koristi jer se preko nje uklanja potreba za uparivanjem za svaku novu konekciju između uređaja. Kao rezultat, svaki uređaj generira skup ključeva koji koriste za konekciju bez prve faze uparivanja. Kada se generiraju ključevi, oni se šifriraju i šalju kroz komunikacijski protokol koristeći ključeve iz faze dva [4]. Pošto BLE *beaconi* imaju svoju statičku adresu, privatnost može biti ugrožena ukoliko se ne poduzmu adekvatne mjere zaštite. Statičku adresu je vrlo lako za pratiti, te *beaconi* imaju rješenje u obliku privatne adrese. Tokom treće faze uparivanja, uređaji međusobno razmjene ključ za raspoznavanje identiteta (IRK). Preko njega, uređaji se mogu međusobno raspoznati bez prijetnje za praćenjem uređaja s neautorizirane strane [4]. BLE *beaconi* se služe s dva različita sigurnosna načina rada. Svaki od pojedinih načina rada ima par razina sigurnosti. Dva načina rada su sljedeća [4] :

Sigurnosni način rada 1:

- Prva razina – nema nikakve sigurnosti
- Druga razina – neautorizirano spajanje s enkripcijom
- Treća razina – autorizirano spajanje s enkripcijom
- Četvrta razina – autorizirana LE sigurna konekcija uparivanja s enkripcijom

Sigurnosni način rada 2:

- Prva razina – neautorizirano spajanje s potpisom
- Druga razina – autorizirano spajanje s potpisom

3. PROGRAMSKO RJEŠENJE KOJE RABI BLE BEACONE

Aplikacija izrađena kao praktičan dio ovog rada je *Android* aplikacija imena *BLE Advert*. Cilj aplikacije je prikazati korisnost BLE *beacona* u svrhu promocije raznolikog sadržaja korisnicima. Korištenjem ove tehnologije, aplikacija omogućava interakciju između korisnika i okolnih *beacona*. Pokazivanje korisnosti *beacona* predstavljeno je pomoću teme aplikacije koja se bazira na događajima. Aplikacija je napravljena s vizijom da ju koristi organizator događaja. Organizator postavlja *beacone* na mjestima gdje želi promatrati ponašanja posjetitelja. To mogu biti mjesta kao što su ulaz u prostoriju (npr. ulaz u koncert, ulaz u predavaonice tijekom konferencija), standovi ili neka druga mjesta interesa. Organizatori na taj način mogu dobiti uvid u metrike koje su bitne za organiziranje događaja. Aplikacija skladišti podatke pri interakciji između korisnika i *beacona* u bazu podataka. Nakon završetka događaja, organizator može dobiti uvid u metrike koje mu mogu pomoći pri organiziranju sljedećeg događaja. Može provjeriti koliko je posjetitelja došlo na događaj (ako postavi *beacon* na ulaz), provjeriti za svako mjesto gdje je stavio *beacon* vremenski period kada je bilo najviše posjeta, mjesto koje je bilo najatraktivnije posjetiteljima, prosječno vrijeme posjeta po mjestu i distribuciju trajanja posjeta po mjestu. Posjetioce organizator motivira da se prijave na aplikaciju kako bi imali mogućnost prikupljanja unikatnih nagrada prilikom skeniranja određenog broja *beacona*, kao i pregled povijesti događaja na kojima su sudjelovali. U teorijskom dijelu rada, aplikacije opisane u poglavljima „*Trgovina i oglašavanje*“, „*Lokalizacija i navigacija*“ i „*Promet*“ koriste *beacone* za proračun udaljenosti između pojedinih objekata do korisnika. Većina tih aplikacija koristila je RSSI metodu za mjerenje udaljenosti između osobe i *beacona*. Zbog toga, to je odabrana metoda proračuna udaljenosti u aplikaciji *BLE Advert*. *BLE Advert* je implementiran pomoću programskog jezika *Kotlin*, u razvojnom okruženju *Android Studio* s *Jetpack Compose* alatom za pravljenje korisničkog sučelja i *Firebase* bazom podataka.

3.1. Zahtjevi na programsko rješenje

Na tablici 3.1 se mogu iščitati sve funkcionalnosti aplikacije. Aplikacija je zasnovana na ideji događaja. Događaj se za svrhe aplikacije može definirati kao bilo koje okupljanje ljudi na nekom prostoru unutar kojeg se nalaze *beaconi* u nekom vremenskom periodu. Okupljanje ne mora biti poslovno, ali u kontekstu aplikacije najviše ima smisla da okupljanje bude radi poslovnih, edukacijskih ili promotivnih razloga. Aplikacija razlikuje tri vrste korisnika, a to su: gost (engl. *guest*), posjetitelj i administrator. Gost je jednokratni korisnički račun koji ima najosnovnije funkcionalnosti aplikacije, a to su skeniranje okoline za *beacone* i odjava. On služi kao alternativna opcija korištenja aplikacije ukoliko osoba koja želi koristiti usluge aplikacije ne želi praviti

korisnički račun. Prilikom odjave ili izlaska iz aplikacije, gost račun postaje neaktivan i ne može mu više nitko pristupiti. Posjetitelj je korisnički račun koji nudi iste funkcionalnosti kao i gost račun, ali uz dodatne mogućnosti osvajanja nagrada i pregleda povijesti skeniranih događaja. Nagrade se osvajaju skeniranjem određenog broja *beacona*. Administrator korisnički račun ima iste mogućnosti kao i račun posjetitelja, ali može dodatno upravljati *beaconima* koje aplikacija prepoznaje, dodati događaj, ukloniti i dodati administratorska prava korisniku. Dodavanje događaja znači upisivanje naslova, opisa, slike, datuma početka događaja, datuma kraja događaja i nagrada koje se mogu osvojiti na događaju u bazu podataka. Svaki od navedenih korisničkih računa može se napraviti preko zaslona za kreiranje računa. Administratorski račun je zapravo normalni posjetitelj korisnički račun kojemu su dodijeljena administratorska prava od strane već postojećeg administratorskog računa. Skeniranje se odnosi na primanje podataka od *beacona* iz okoline i prikazivanje navedenih na glavnom zaslonu aplikacije. Podaci se korisniku prikazu u obliku web stranice koja je povezana sa skeniranim *beaconom*. Skeniranje se pokreće pritiskom na gumb za skeniranje. Ukoliko prilikom prijave na aplikaciju ne postoji aktivan događaj, gumb je isključen i ne može se koristiti. Događaj je aktivan ako se datum i vrijeme pokretanja aplikacija nalazi u vremenskom intervalu između početka i kraja događaja kojeg je postavio administratorski račun. Posjetitelj i gost računi imaju ulogu istraživanja događaja kroz skeniranje *beacona* koji im nude relevantne informacije ovisno o potrebama događaja. Na primjer, ako se *beacon* postavi na

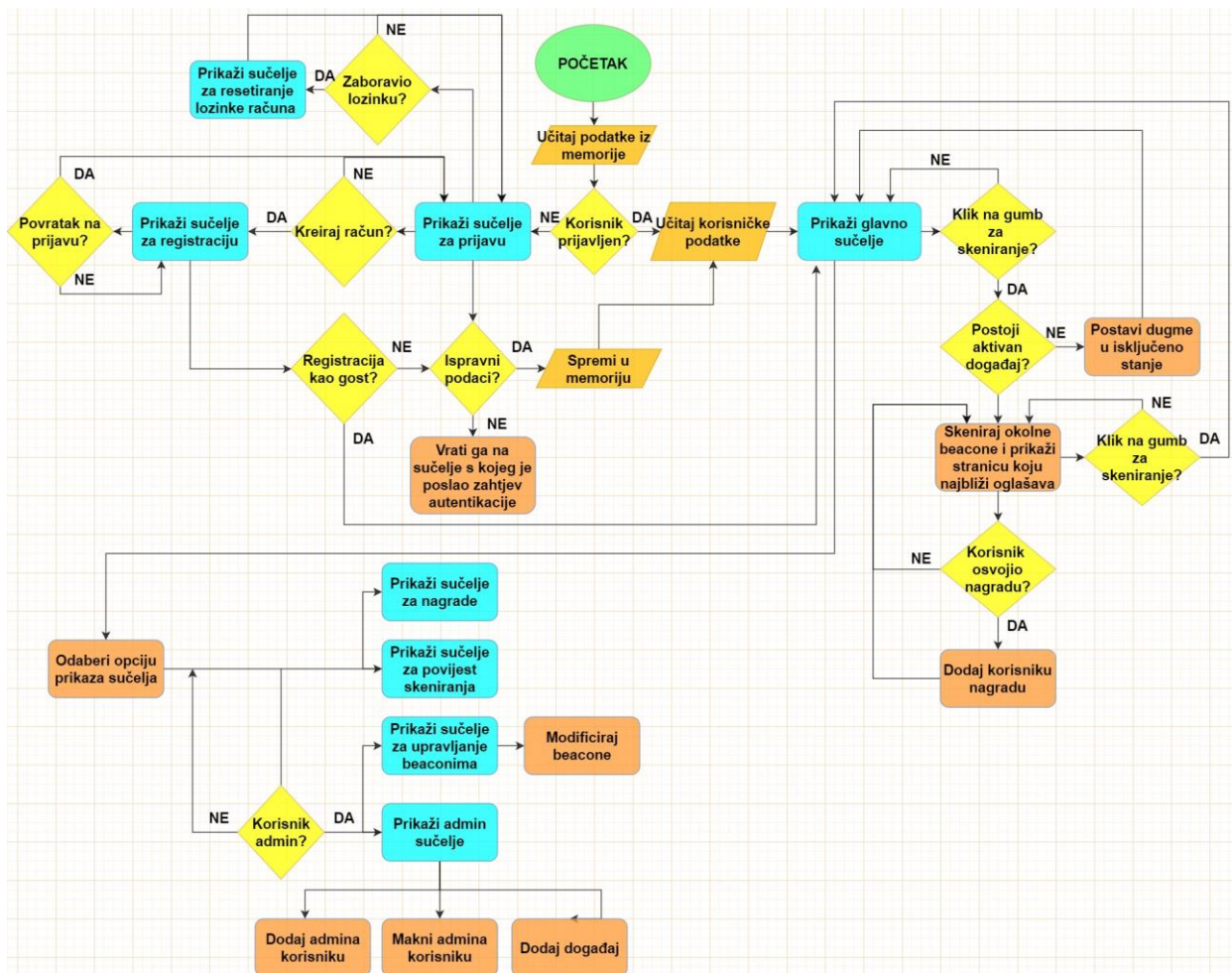
Tablica 3.1. Popis funkcionalnosti aplikacije

OZNAKA ZAHTJEVA	NAZIV	OPIS
F ₁	Autentifikacija	Korisnik se prijavljuje u aplikaciju
F ₂	Skladištenje informacija	Aplikacija pamti korisnika koji nije izvršio odjavu, te ga automatski prijavi prilikom sljedećeg pokretanja
F ₃	Pokretanje skeniranja	Korisnik može pokrenuti skeniranje ukoliko postoji aktivan događaj tijekom klika na gumb
F ₄	Prikaz informacije s <i>beacona</i>	Korisnik dobiva vizualni prikaz web stranice koju oglašava njemu najbliži <i>beacon</i>
F ₅	Povijest skeniranja	Aplikacija pohranjuje podatke o prethodnim događajima na kojima je korisnik sudjelovao
F ₆	Nagrađivanje	Korisnik prikuplja značke na temelju broja skeniranih <i>beacona</i> , u skladu s kriterijima nagrađivanja za događaj
F ₇	Modifikacija <i>beacona</i>	Administratori mogu upravljati aktivnim <i>beaconima</i> u aplikaciji, uključujući dodavanje, brisanje i izmjenu podataka o <i>beaconima</i>
F ₈	Upravljanje administratorima	Administratori imaju mogućnosti dodavanja ili oduzimanja administratorskih privilegija drugim korisnicima
F ₉	Dodavanje događaja	Administratori mogu dodavati nove događaje u aplikaciju

ulaz u prostoriju, prilikom skeniranja, korisniku se može pokazati web stranica s planom i programom događaja.

3.2. Pregled rješenja s visoke razine

Za lakši prikaz rada aplikacije, na slici 3.1. prikazan je dijagram stanja. Zeleno je označen početak aplikacije, žuto uvjeti za izvođenje funkcionalnosti i prikaz sučelja, plavo su prikazana sučelja, crveno izvođenje funkcionalnosti i narančasto spremanje i učitavanje podataka iz memorije uređaja.



Sl. 3.1. Dijagram stanja aplikacije

3.3. Implementacijski detalji i tehnologije

3.3.1. Android Studio

Android Studio je razvojno okruženje (engl. *Integrated Development Environment*, IDE) stvoreno za izgradnju aplikacija na platformi *Android*. Bazirano je na *IntelliJ IDEA* platformi. Tvrtka koja uzdržava ovaj IDE je *Google* [41]. Aplikacija *BLE Advert* je napravljena unutar ovog razvojnog

okruženja, uz podršku objektno orijentiranog programskog jezika *Kotlin*, koji je jedan od dva jezika koje *Android Studio* podržava bez ikakvih dodatnih konfiguracija (drugi je *Java*).

3.3.2. Jetpack Compose

Jetpack Compose je okvir za izgradnju korisničkog sučelja unutar aplikacije. Prije ove tehnologije koristio se *XML* za izgradnju korisničkog sučelja, ali pojavom *Jetpack Compose*-a *Google* promovira ovaj alat kao preporučeni način izgradnje *Android* aplikacija [42]. Neke od aplikacija koje su koristile ovaj alat za izgradnju korisničkog sučelja su: *Airbnb*, *Reddit*, *Booking.com*, *MyFitnessPal* i razne druge [42]. Za aplikaciju je korišten ovaj alat jer je preporučan od strane *Google*-a.

3.3.3. Firestore

Firestore je *NoSQL* baza podataka u oblaku koju je razvio *Google* [43]. Ima brojne mogućnosti koje aplikacija *BLE Advert* koristi kao što su, obična baza podataka (engl. *Firestore Database*), ovjera korisničkih podataka (engl. *Authentication*), i skladište (engl. *Firestore Storage*). Uz navedene, postoje i još brojne druge koje nisu bile potrebne za svrhu aplikacije. *Firestore* baza podataka je integrirana u sklopu novijih izdanja *Android Studija* i zbog toga je lagana za postaviti unutar projekta.

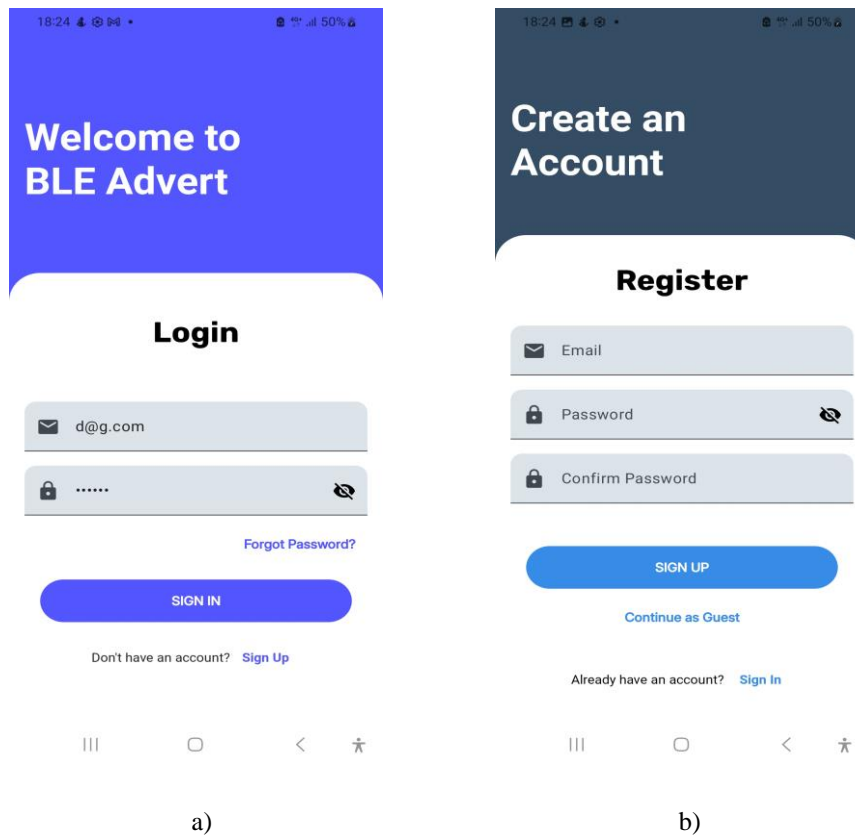
3.4. Način rada rješenja

Aplikacija sve interakcije s korisnicima vrši preko početnih zaslona i glavnog zaslona. Početni zasloni sadrže zaslon za prijavu i kreiranje računa, a glavni zaslon je zadužen za izvršavanje glavnih funkcionalnosti aplikacije.

3.4.1. Početni zasloni

Prilikom pokretanja aplikacije, korisnika dočeka početni zaslon prikazan na slici 3.2. pod a). Ovdje, korisnik ima mogućnost prijave u aplikaciju. Ukoliko je korisnik već prije koristio aplikaciju te je ostao prijavljen kada je ugasio aplikaciju, prijava se dogodi automatski bez potrebe za unosom podataka. Također, ako je korisnik zaboravio lozinku svog računa, klikom na „*Forgot Password*“ mu se pojavljuje okvir u kojem može unijeti email adresu na koju želi poslati zahtjev za promjenu lozinke. Ako korisnik želi napraviti korisnički račun, može kliknuti na „*Sign Up*“ koji ga odvede na zaslon za kreiranje računa koji je prikazan na slici 3.2. pod b). Ukoliko zbog bilo kakvog razloga korisnik želi koristiti usluge aplikacije, ali nije spreman kreirati korisnički račun, ima opciju kreiranja gost računa. Na taj način kreira jednokratni račun koji se može koristiti za

najosnovnije usluge skeniranja. Prilikom izlaska iz aplikacije gost račun se gubi i ne može mu nitko više pristupiti.

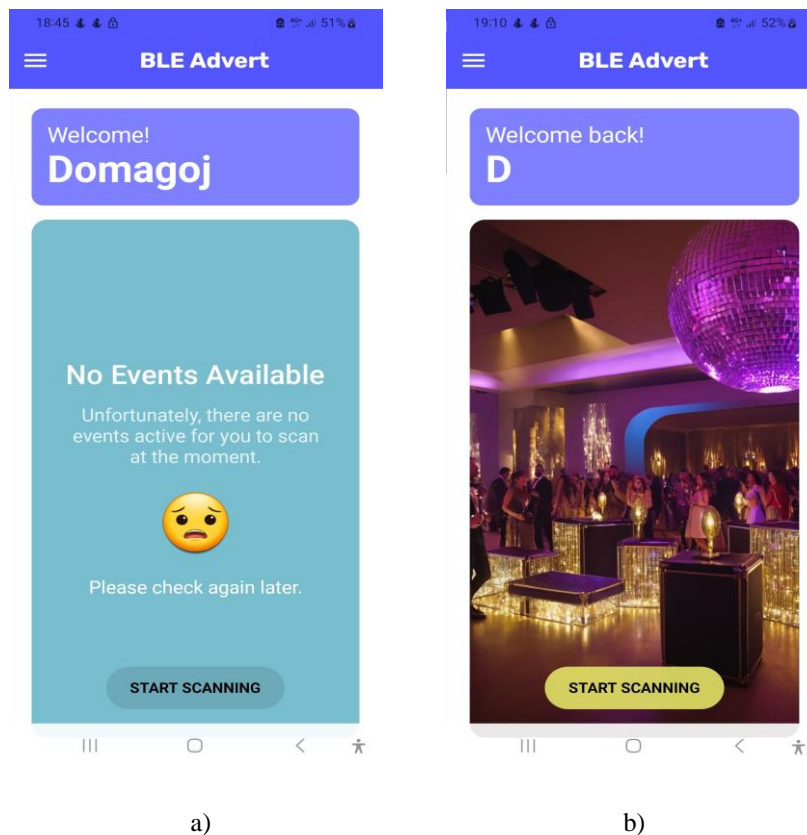


Sl. 3.2. Početni zasloni aplikacije: a) za prijavu, b) za kreiranje računa

3.4.2. Glavni zaslon

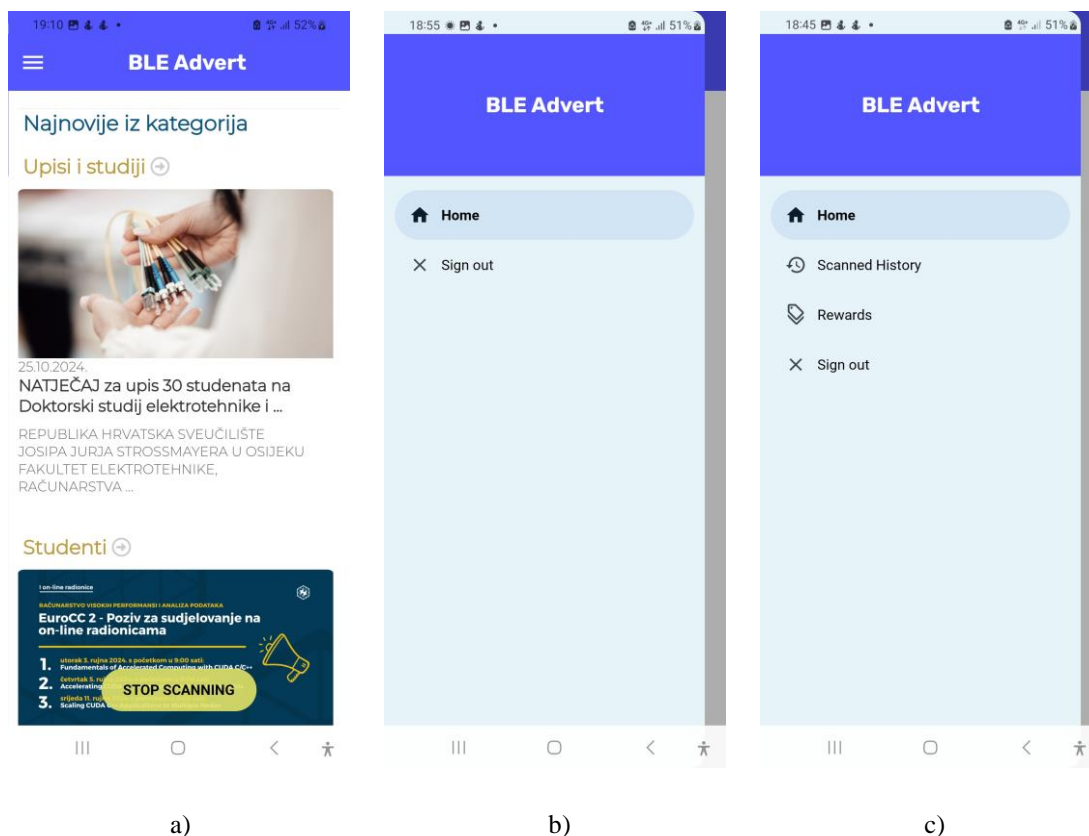
Unutar glavnog zaslona nalaze se sve funkcionalnosti aplikacije. Slika 3.3. prikazuje sučelje koje će uvijek dočekati korisnika neovisno o tome je li je gost ili ima korisnički račun. Ovo je glavno sučelje za interakciju između korisnika i okolnih *beacona* koji su prihvaćeni od strane aplikacije. Ukoliko ne postoji aktivan događaj, sučelje izgleda kao na slici 3.3. pod a). Korisnik dobije informaciju prikazanu u obliku teksta da u trenutku pokretanja aplikacije ne postoji nijedan aktivan događaj, a gumb koji se koristi za skeniranje postane neaktivan. Ako postoji aktivan događaj pri pokretanju aplikacije, umjesto teksta se pojavi slika događaja i gumb za pokretanje skeniranja se može kliknuti pa sučelje izgleda kao na slici 3.3. pod b). Prilikom klika na gumb, korisnik prvo mora dopustiti aplikaciji korištenje usluga lokacije i *Bluetooth*-a. Ukoliko korisnik dopusti pristup i lokaciji i *Bluetooth*-u, počinje skeniranje okoline za *beacone* koje aplikacija ima u bazi podataka kao prihvaćene. U pozadini aplikacije provode kalkulacije udaljenosti svih *beacona* do uređaja korisnika kako bih se pronašao najbliži. Za mjerenje udaljenosti *beacona* do uređaja korisnika koristi se RSSI metoda. RSSI metoda izračuna ne nudi najtočnije podatke o udaljenosti

korisnikovog uređaja do *beacona* pa se zbog toga uzima prosjek prijašnjih 8 udaljenosti za vrijednost trenutne udaljenosti uređaja do *beacona*. Kada se



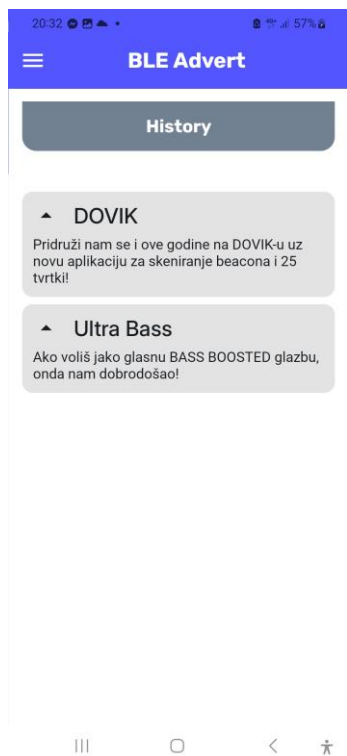
Sl. 3.3. Glavni zasloni aplikacije: a) kada nema aktivan događaj, b) kada postoji aktivan događaj

pronade najbliži *beacon*, ukoliko se korisnik nalazi u oglasnom radijusu *beacona* koji korisnik s administratorskim privilegijama može konfigurirati, na uređaju korisnika prikazuje se web stranica koju *beacon* oglašava. Računanje najbližeg *beacona* se provodi sve dok korisnik ne stisne dugme za prestanak skeniranja. Slika 3.4. pod a) prikazuje izgled glavnog zaslona kada se pronade najbliži *beacon*. *Beacon* je konfiguriran na slici 3.4. da oglašava URL stranice *Ferit*-a. Kada korisnik povuče prstom s lijeve na desnu stranu ili ako klikne na tri vertikalno razdvojene crtice u lijevom gornjem kutu aplikacije otvara navigacijsku ladicu. Slika 3.4. prikazuje navigacijsku ladicu ukoliko je korisnik gost pod b) i navigacijsku ladicu ako korisnik ima svoj korisnički račun pod c). Kao što se iz slika može vidjeti, gost računi nemaju nikakve dodatne mogućnosti unutar navigacijske ladice osim opcije odjave, dok korisnici koji su napravili svoj račun imaju mogućnost prikaza povijesti skeniranih događaja kao i pregled svih osvojenih nagrada. Nagrade koje se mogu dobiti na određenom događaju određuje administrator koji pravi taj događaj.

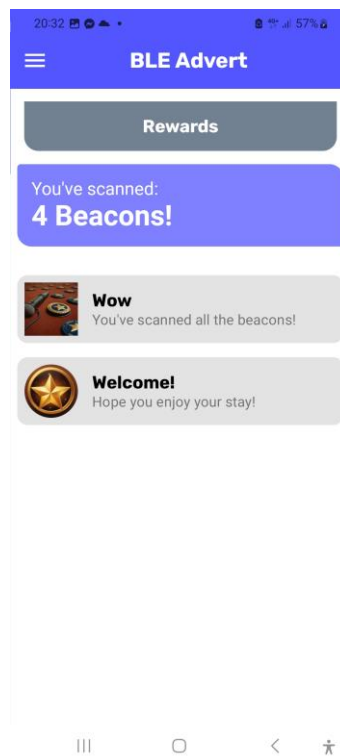


Sl. 3.4. Glavni zaslon kada se pronade najbliži *beacon* pod a), navigacijska ladica: b) gost korisnički račun, c) posjetitelj korisnički račun

Nagrađivanje unutar aplikacije se svodi na unikatno skeniranje *beacona*. Kada korisnik skenira dovoljan broj unikatnih *beacona* (ako skenira jedan *beacon* više puta i dalje će se računati kao jedno skeniranje) osvaja nagradu. Svaka nagrada ima svoj naslov, opis i sliku. Slika 3.5. prikazuje zaslon povijesti skeniranih događaja pod a) i zaslon s osvojenim nagradama pod b). Uz prikaz svih osvojenih nagrada, korisnik može također i pogledati koliko je *beacona* skenirao kroz sve događaje koje je posjetio. Kada se događaj završi, aplikacija skladišti sve korisnike koji su sudjelovali na njemu. Na taj način, korisnik može pregledati povijest događaja na kojima je sudjelovao. Zaslon povijesti skeniranja događaja prikazuje okvire s naslovom događaja. Pritiskom prsta na okvir događaja, okvir se proširi te se uz naslov prikaže i opis događaja. Ukoliko korisnik želi zatvoriti okvir, može ponovno kliknuti na okvir kako bih se zatvorio. Dodatno, ako korisnik ima administratorska prava, uz mogućnosti koje ima korisnik s napravljenim korisničkim računom također i ima opcije „*Modify Beacons*“ i „*Admin Panel*“. Pomoću ta dva zaslona, administratorski račun može upravljati aktivnim *beaconima* unutar aplikacije, dodavati i oduzimati administratorska prava korisničkom računu i dodavati događaje. Na slici 3.6. pod a) je prikazan zaslon „*Modify Beacons*“, a pod b) je prikazan „*Admin Panel*“.

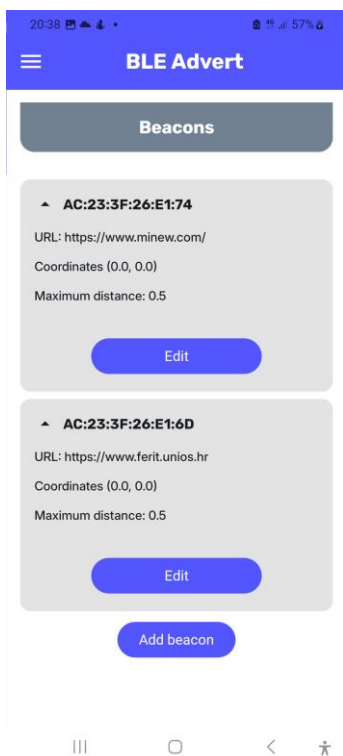


a)

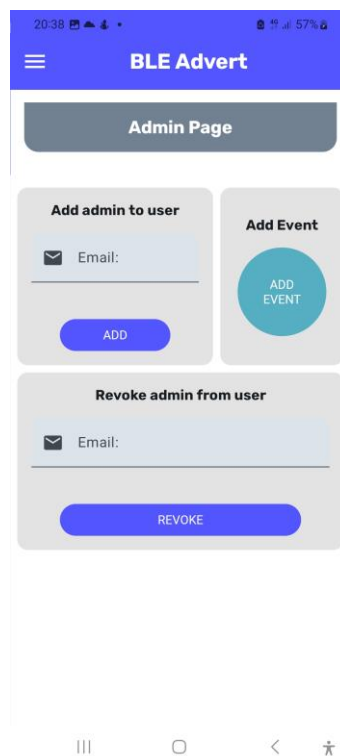


b)

Sl. 3.5. Povijest skeniranja pod a), osvojene nagrade pod b)



a)



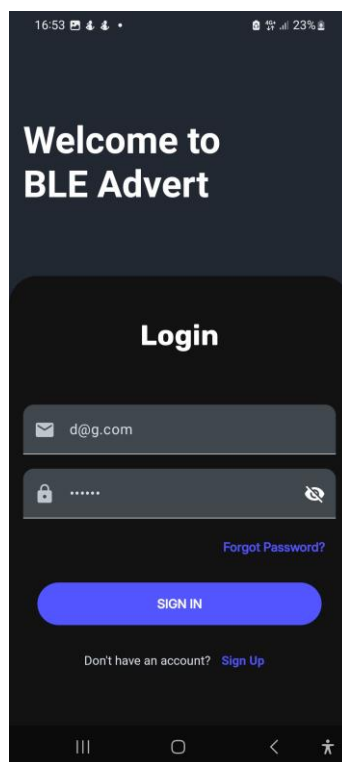
b)

Sl. 3.6. „Modify Beacons“ pod a), „Admin Page“ pod b)

Klikom na gumb „*ADD EVENT*“, otvora se okvir za unos podataka. U okvir se obavezno moraju unijeti svi podatci, inače se događaj neće moći dodati. Ti podatci su: naslov, opis, slika vezana za događaj, datum i vrijeme početka događaja, datum i vrijeme završetka događaja. Jedini podatak koji se ne mora dodati je lista nagrada jer događaj ne mora nužno imati nagrade, iako je to jedan od načina motiviranja korisnika za skeniranje tako da je poželjan. Ako se događaj uspješno spremi u bazu podataka, administrator dobije obavijest o uspješnom spremanju. Nakon toga, sljedeći je korak odabir mjesta gdje će *beaconi* biti postavljeni. Svaki događaj ima svoje zasebne potrebe te se ne može jednoznačno odrediti točna i netočna pozicija postavljanja *beacona*, ali može se opisati na primjeru događaja u kojem se nalaze štandovi koje posjetitelji posjećuju. Ako je događaj ograđen, što znači da su definirani ulazi i izlazi s događaja, *beaconi* se mogu postaviti na svaki od njih. Postavljanjem *beacona* na ulaz u događaj može se dobiti uvid u broj ljudi koji su posjetili događaj kao i vrijeme kada je bilo najviše posjeta. *Beacon* na izlazu iz događaja može se koristiti za mjerenje broja odlazaka u nekom vremenskom intervalu. Također, na svaki štand koji se nalazi na događaju može se postaviti *beacon*. Ako svaki štand ima zaseban *beacon* u njegovoj blizini, organizator događaja i ljudi na štandovima mogu dobiti uvid u podatke kao što su: ukupan broj posjeta, broj posjeta u jedinici vremena, prosječno vrijeme posjeta i grafički prikaz distribucije vremena posjeta prilikom procesa obrade podataka koje aplikacija skladišti. *Beaconi* su namijenjeni da budu stacionarni, dok su uređaji posjetitelja mobilni. Posjetitelji bi trebali dobiti relevantne informacije prilikom skeniranja. To znači da ukoliko se štand koristi za prodaju meda, *beacon* povezan s njim treba oglašavati URL koji ima smisla za štand kao npr. web stranicu prodavača ili cjenik raznih sorti meda koje štand prodaje. Isto vrijedi i za *beacone* koji su postavljeni na ulazu i izlazu. Na primjer kada posjetitelj dođe na događaj i klikne na gumb za skeniranje prilikom ulaska na događaj, može mu se prikazati web stranica s planom i programom događaja. Aplikacija automatski prilagođava paletu boja koju koristi ovisno o aktivnom načinu rada korisničkog sučelja (engl. *User Interface*, UI) na korisnikovom mobitelu. Ako je uključen tamni način rada, koristi se tamnija paleta boja kako bi se osiguralo ugodno iskustvo korištenja i suprotno za svijetli način rada. Slika 3.7. prikazuje pod a) kako izgleda zaslon za prijavu i pod b) glavni zaslon aplikacije tijekom korištenja tamnog načina rada.



a)



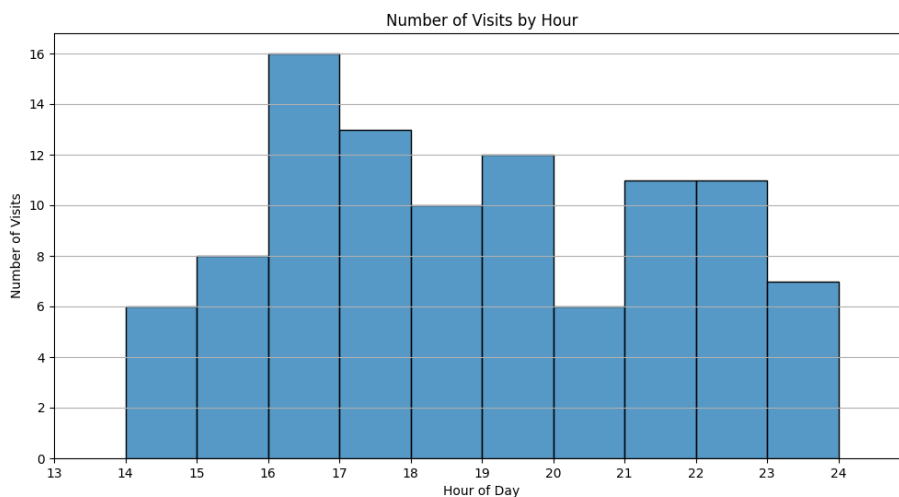
b)

Sl. 3.7. Glavni zaslon pod a) i zaslon za prijavu pod b) tijekom korištenja tamnog načina rada

3.5. Obrada podataka

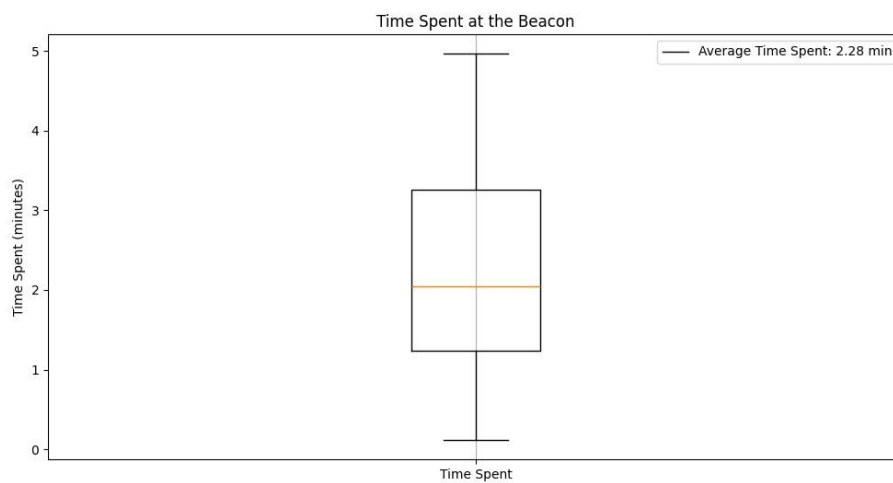
Aplikacija skladišti podatke o ponašanju korisnika tokom događaja. Obradom tih podataka, organizator događaja može temeljno pregledati svoju strategiju organiziranja događaja i prilagoditi je kako bi ostvario najbolje ishode. Podaci koje aplikacija nudi organizatoru na obradu su: vrijeme prvog posjeta korisnika *beaconu* i najduže vrijeme koje je korisnik proveo na istom. Na temelju tih podataka može se provesti analiza broja posjeta na svakom *beaconu* tokom trajanja događaja, kao i vizualizacija vremena provedenog na njima. Za vizualizaciju tih podataka, u ovom radu se koristi programski jezik *Python*, uz pomoć biblioteka kao što su *pandas*, *matplotlib* i *seaborn*. Kako bih se dohvaćanje podataka osiguralo prilikom pristupa bazi podataka, osoba koja želi dohvatiti podatke mora imati dostupan ključ za ovjeru u obliku *.json* (engl. *JavaScript Object Notation*) datoteke. Ova sigurnosna mjera sprječava neovlašteni pristup i osigurava zaštitu povjerljivih korisničkih podataka. Budući da je simulacija stvarnog događaja s velikim brojem ljudi koji koriste ovu aplikaciju izvan opsega ovog rada, za potrebe predstavljanja obrade podataka koristi se dodatni kod za nasumično generiranje korisničkih podataka i dohvaćanje podataka, kao i kod za vizualizaciju tih podataka. Pomoću koda za nasumično generiranje podataka, simulira se događaj kojemu je vrijeme trajanja između 2 sata popodne i 12 sati navečer. Unutar tog raspona,

svakom korisniku je nasumično odabrano vrijeme posjeta *beacona*. Uz to, dodano je također i najduže vrijeme posjeta *beaconu* koje je u rasponu od 5000 do 300 000 milisekundi (odnosno između 5 sekundi i 5 minuta). Aplikacija bilježi vrijeme posjeta u inkrementima po 1000 milisekundi. Nakon generiranja nasumičnih podataka, oni se spremaju u obliku imenika i dodaju u listu podataka koja se pri završetku generiranja zapisuje u *.csv* (engl. *Comma-Seperated values file*) datoteku. Spremanje podataka u *.csv* datoteku predstavlja simulaciju pisanja vrijednosti u bazu podataka. Nakon spremanja podataka u *.csv* datoteku, podaci se mogu kasnije učitati. Učitavanje podataka iz *.csv* datoteke predstavlja simulaciju čitanja iz baze podataka. Za potrebe vizualizacije korištene su biblioteke *matplotlib* i *seaborn*. Grafovi koji najbolje opisuju uspjeh događaja su stupčasti dijagram i dijagram pravokutnika. Na slici 3.8. prikazan je stupčasti dijagram koji prikazuje koliko je unikatnih posjeta bilo u jedinici vremena. Podaci su grupirani u grupama razdvojenim za sat vremena



Sl. 3.8. Prikaz unikatnih posjeta između 2 sata popodne i 12 sati navečer

Na slici 3.9. prikazan je dijagram pravokutnika koji opisuje distribuciju generiranih podataka. Ovi podaci su raspoređeni na način sličan normalnoj raspodjeli, što se može primijetiti po podjednakim udaljenostima između medijana i trećeg kvartila, kao i između medijana i prvog kvartila. U slučaju stvarne simulacije, ovaj graf bi bio iznimno koristan za identifikaciju netipičnih vrijednosti (engl. *outliers*), omogućujući organizatoru događaja da brzo prepozna potencijalne anomalije u ponašanju korisnika. Uz to, graf također prikazuje prosječno vrijeme posjeta u minutama u gornjem desnom kutu za *beacon* koji se promatra.



Sl. 3.9. Prikaz pravokutnog dijagrama koji prikazuje distribuciju generiranih podataka

4. ZAKLJUČAK

Bluetooth Low Energy (BLE) tehnologija predstavlja značajan korak u bežičnoj komunikaciji, posebno zbog svoje niske potrošnje energije što je čini idealnom za široku primjenu u IoT uređajima, mobilnim aplikacijama i industrijama kao što su trgovina, promet i medicina. Tehnologija omogućuje povezivanje uređaja na jednostavan i energetski učinkoviti način, a uz široki raspon primjena, također uspješno zamjenjuje GPS tehnologiju u navigaciji unutar zatvorenih prostora, gdje GPS signali gube preciznost. BLE *beaconi* emitiraju signal s informacijama koje mogu biti različite, uključujući podatke o lokaciji, promotivne poruke, URL-ove ili druge prilagođene sadržaje. Informacije koje se oglašavaju u radnom polju *beaconu* se mogu lako konfigurirati putem aplikacija koje najčešće pružaju proizvođači *beacona*, a vrsta podataka koji se prenose ovisi o korištenom protokolu. Najčešće korišteni protokoli za BLE *beacone* su Eddystone (kojeg je razvio Google) i *iBeacon* (kojeg je razvio Apple). BLE tehnologija ima primjene u raznim sektorima izvan IT sektora. Sektori za koje je ovaj rad naglasio korisnost i primjere korištenja su: medicinski, zdravstveni, prometni i trgovački sektor. Kako bih se predstavila korisnost *beacona*, napravljena je *Android* aplikacija *BLE Advert* koja koristi *beacone* za prikazivanje relevantnih informacija posjetiteljima na događaju. Posjetitelji koriste aplikaciju za skeniranje *beacona* na događaju, a aplikacija u pozadini računa najbliži *beacon* posjetitelju. Kada se posjetitelj približi u radijus oglašavanja *beacona*, aplikacija prepoznaje i obrađuje podatke koje oglašava *beacon* te ih prikazuje korisniku na relevantan način. *Beaconi* su postavljeni da oglašavaju URL-ove tako da prilikom primanja podataka na uređaju koji je u radijusu oglašavanja *beacona*, korisniku se na zaslonu aplikacije pojavljuje web stranica predstavljena URL-om. Najveći problem koji se pojavio prilikom testiranja prvih prototipova aplikacije bio je računanje udaljenosti između uređaja s kojim se skenira okolina i *beacona*. Naime, RSSI vrijednosti koje predstavljaju jačinu signala kojeg oglašava *beacon* nisu uvijek precizne zbog raznih smetnji te su prvi prototipovi aplikacije bili neprecizni dok se nije utvrdila dovoljno precizna formula za pretvaranje RSSI vrijednosti u udaljenost između uređaja i *beacona*. Dodatno, kako bih se računanje udaljenosti osiguralo od lažnih RSSI vrijednosti, računanje trenutne udaljenosti se svelo na uzimanje prosjeka prijašnjih 8 izračunatih vrijednosti. Iz zapažanja prilikom testiranja prototipa aplikacije, uspostavilo se da je aplikacija uspješno detektirala najbliži *beacon* uređaju u većini slučajeva. Problem s kojim se aplikacija susreće u završnoj verziji je proračun najbližeg *beacona* kada su *beaconi* razmaknuti za malu udaljenost (30 centimetara i manje), ali se treba provesti daljnje istraživanje na stvarnom primjeru događaja kako bih se utvrdilo je li ima uopće potrebe za postavljanje *beacona* na takvom malom razmaku. Aplikacija u trenutnom stanju ima par

ograničenja koja će se nastojat popraviti u budućnosti. Prvo ograničenje je da organizator događaja nema opciju odabira *beacona* koje želi da budu povezani za događaj. Aplikacija u trenutnom stanju veže sve dostupne *beacone* koje prepoznaje za događaj tako što ih uveze iz baze podataka. Poželjno bi bilo da organizator može odlučiti koje *beacone* želi koristiti za događaj, a ne da mora koristiti sve *beacone* koji su prepoznati od strane aplikacije. Drugo ograničenje je slično kao i prvo, a odnosi se na to da trenutna verzija aplikacije sprema URL-ove koje *beaconi* oglašavaju u bazu podataka neovisno o događaju. Drugim riječima, ako organizator želi organizirati dva događaja da budu jedan za drugim, prilikom završetka prvog događaja mora brzo promijeniti URL-ove *beacona* ukoliko oni trebaju oglašavati neki drugi URL. Poželjno bi bilo da se prilikom rješavanja prvog ograničenja aplikacije doda i mogućnost unosa URL-a kojeg *beacon* oglašava. Zadnje ograničenje za trenutnu verziju aplikacije je to da se ne može u isto vrijeme održavati dva događaja. Aplikacija je napravljena s vizijom da ju koriste različiti organizatori, ali se nije uzelo u obzir da ti različiti organizatori možda žele organizirati više događaja u isto vrijeme na različitim mjestima. U budućnosti se planiraju ova ograničenja maknuti s aplikacije i dodatno poboljšati iskustvo posjetitelja kao i organizatora događaja.

LITERATURA

- [1] Bluetooth SIG, 2024 Bluetooth Market Update [online], Bluetooth, Washington, USA, 2024. , dostupno na: <https://www.bluetooth.com/2024-market-update/> [22.6.2024.]
- [2] Intel, What Is Bluetooth Technology: Get to know the fundamentals of Bluetooth technology and Intel's role in the past, present, and future of technology, Intel, California, USA, 2022., dostupno na: <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/docs/wireless/what-is-bluetooth.html> [22.6.2024.]
- [3] S. Wagner, A Brief History of Bluetooth and Its Many Versions [online], Strauss&Wagner.com, New York, USA, 2021., dostupno na: <https://straussandwagner.com/blogs/news/a-brief-history-of-bluetooth-and-its-many-versions> [22.6.2024.]
- [4] M. Afaneh, Intro to bluetooth low energy, Novel Bits LLC, Indiana, USA, 2018.
- [5] Bluetooth SIG, Bluetooth Core Specification Version 5.4, sv. 0, str. (190-201), siječanj 2023.
- [6] P. Borg, An overview of the importance of ble mesh network sin IoT [online], Medium.com, California, USA, 2022., dostupno na: <https://medium.com/@borgpsi/an-overview-of-the-importance-of-ble-mesh-networks-in-iot-f2041dfe453> [23.6.2024.]
- [7] Bluetooth SIG, Learn about Bluetooth topology options: Devices need multiple ways to connect [online], Bluetooth, dostupno na: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/topology-options/> [23.6.2024.]
- [8] Primex, What you need to know about Bluetooth protocol [online], Primex, Minnessota, USA, 2017., dostupno na: <https://primex.com/need-know-bluetooth-protocol/> [24.6.2024.]
- [9] MathWorks, Bluetooth Technology Overview [online], MathWorks.com, dostupno: <https://www.mathworks.com/help/bluetooth/gs/bluetooth-technology-overview.html> [24.6.2024.]
- [10] V. K. Garg, Wireless Personal Area Network — Bluetooth, The Morgan Kaufmann Series in Networking, sv. 19, str. (653-674), listopad 2007.
- [11] E. Zanaj, G. Caso, L. D. Nardis, A. Mohammadpour, O. Alay, M. G. D. Benedetto, Efficiency in Short and Wide-Area IoT Technologies – A Survey, Reviews and Advances in Internet of Things Technologies, sv. 9, str. (1-52), ožujak 2021.
- [12] K. Townsend, C. Cufi, Akiba, R. Davidson, Getting Started with Bluetooth Low Energy, O'Reilly Media, California, SAD, 2014.
- [13] M. U. b. Aftab, Building Bluetooth Low Energy Systems, Packt Publishing, Birmingham, UK, 2017.
- [14] A. Solovev, A. Petrova, Bluetooth Mesh: Tecnology Overview, Examples, Alternatives, and First-Hand Experience, 2019., dostupno na: <https://www.integrasources.com/blog/bluetooth-mesh-network-tutorial/> [26.6.2024.]

- [15] M. Bhargava, IoT Projects with Bluetooth Low Energy, Packt Publishing, Birmingham, UK, 2017.
- [16] M. Afaneh, The Bluetooth Low Energy Protocol Stack: Understanding the layers [online], NovelBits.io, 2022., dostupno na: <https://novelbits.io/bluetooth-low-energy-protocol-stack-layers/> [26.6.2024.]
- [17] M. Afaneh, Bluetooth ATT and GATT Explained (Connection-Oriented Communication) [online], NovelBits.io, 2022., dostupno na: <https://novelbits.io/bluetooth-le-att-gatt-explained-connection-oriented-communication/> [26.6.2024.]
- [18] Bluetooth SIG, Link Layer Specification [online], Bluetooth, dostupno na: <https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/Files/Specification/HTML/Core-54/out/en/low-energy-controller/link-layer-specification.html> [26.6.2024.]
- [19] R. Heydon, Bluetooth Low Energy: The Developer's Handbook, Pearson, London, UK, 2013.
- [20] YourShortlist, What are the Top IoT Priorities in 2023 [online], YourShortlist.com, 2023., dostupno na: <https://yourshortlist.com/what-are-the-top-iot-priorities-in-2023/> [24.8.2024.]
- [21] A. Chala, D. Zasukha, Bluetooth Vs. Bluetooth Low Energy: A Detailed Comparison [online], Stormotion.io, 2024., dostupno na: <https://stormotion.io/blog/ble-and-bluetooth-comparison/> [24.8.2024.]
- [22] S. Zhang, Exploring the Differences: Bluetooth Classic Audio vs LE Audio [online], LinkedIn.com, 2023., dostupno na: <https://www.linkedin.com/pulse/exploring-differences-bluetooth-classic-audio-vs-le-sara-zhang> [25.8.2024.]
- [23] Bluetooth SIG, Bluetooth Technology Overview [online], Bluetooth, dostupno na: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/> [25.8.2024.]
- [24] L. David, A. Hassidim, Y. Matias, M. Yung, A. Ziv, Eddystone-EID: Secure and Private Infrastructural Protocol for BLE Beacons, Transactions on Information Forensics and Security, sv. 17, str. (3877-3889), listopad 2022.
- [25] S. D. Padiya, V. S. Gulhane, IoT and BLE Beacons: Demand, Challenges, Requirements, and Research Opportunities- Planning-Strategy, 2020 IEEE 9th International Conference on Communication System and Network Technologies (CSNT), str. (125-129), lipanj 2020.
- [26] P. Spachos, K. Plataniotis, BLE Beacons in the Smart City: Applications, Challenges, and Research Opportunities, Internet of Things Magazine, sv. 3. br. 1, str. (14-18), ožujak 2020.
- [27] Moko Blue, All About Eddystone Beacon [online], Mokoblue.com, 2021., dostupno na: <https://www.mokoblue.com/all-about-eddystone-beacon/> [26.8.2024.]
- [28] P. Yang, What is Eddystone Protocol and Specifications [online], LinkedIn.com, 2019., dostupno na: <https://www.linkedin.com/pulse/what-eddystone-protocol-specifications-phoebe-yang> [26.8.2024.]

- [29] A. H. Omre, Bluetooth Low Energy: Wireless Connectivity for Medical Monitoring, *Journal of Diabetes Science and Technology*, sv. 4, br. 2, str. (457-463), ožujak 2010.
- [30] A. Dinh, Y. Choi, S. -B. Ko, A heart rate sensor based on seismocardiography for vital sign monitoring systems, 24th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, str. (665-668), svibanj 2011.
- [31] L. J. Mena, V. G. Felix, R. Ostos, J. A. Gonzalez, A. Cervantes, A. Ochoa, C. Ruiz, R. Ramos, G. E. Maestre, Mobile Personal Health System for Ambulatory Blood Pressure Monitoring, *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, sv. 2013, str. (1-13), travanj 2013.
- [32] M. Lewandowski, B. Płaczek, M. Bernas, P. Szymała, Road Traffic Monitoring System Based on Mobile Devices and Bluetooth Low Energy Beacons, *Wireless Communications and Mobile Computing*, str. (1-12), srpanj 2018.
- [33] M. Placek, Estimated worldwide motor vehicle production from 2000 to 2023 [online], Statista.com, 2024., dostupno na: <https://www.statista.com/statistics/262747/worldwide-automobile-production-since-2000/> [28.8.2024.]
- [34] R. Hasan, M. A. Hoque, Y. Karim, R. Griffin, D. C. Schwebel, R. Hasan, Someone to Watch Over You: Using Bluetooth Beacons for Alerting Distracted Pedestrians, *Internet of Things Journal*, sv. 9, br. 22, str. (23017-23030), studeni 2022.
- [35] A. R. M. Nizzad, A. C. M. Nafrees, U. M. Sameer, W. H. Rankothge, C. M. M. Mansoor, S. M. Suhath, P. H. Kehelella, Internet of Things Based Automatic System for the Traffic Violation, 5th International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer Technologies and Optimization Techniques (ICEECCOT), str. (371-376), prosinac 2021.
- [36] M. Murata, D. Ahmetovic, D. Sato, H. Takagi, K. M. Kitani and C. Asakawa, Smartphone-based Indoor Localization for Blind Navigation across Building Complexes, *International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, str. (1-10), ožujak 2018.
- [37] D. Surian, V. Kim, R. Menon, A. G. Dunn, V. Sintchenko, E. Coiera, Tracking a moving user in indoor environments using Bluetooth low energy beacons, sv. 98, str. (1-9), rujan 2019.
- [38] R. Muddinagiri, S. Ambavane, V. Jadhav, S. Tamboli, Proximity Marketing Using Bluetooth Low Energy, 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), str. (856-861), ožujak 2020.
- [39] C. K. M. Lee, C. M. Ip, T. Park, S. Y. Chung, A Bluetooth Location-based Indoor Positioning System for Asset Tracking in Warehouse, *International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, str. (1408-1412), prosinac 2019.
- [40] N. Adkar, A. Talele, C. Mundhe, A. Gunjal, Bluetooth Beacon Applications in Retail Market, *International Conference On Advances in Communication and Computing Technology (ICACCT)*, str. (225-229), veljača 2018.

- [41] Developers, Meet Android Studio [online], Android.com, 2024., dostupno na: <https://developer.android.com/studio/intro> [3.9.2024.]
- [42] Developers, Build Better app faster with Jetpack Compose [online], dostupno na: <https://developer.android.com/compose> [3.9.2024.]
- [43] Firebase, Cloud Firestore [online], 2024., dostupno na: <https://firebase.google.com/docs/firestore> [3.9.2024.]

SAŽETAK

U teorijskom dijelu rada opisana je *Bluetooth Low Energy* (BLE) tehnologija s posebnim naglaskom na njezine karakteristike, BLE *beacone*, prednosti i primjene u različitim industrijama. BLE tehnologija omogućuje bežičnu komunikaciju uz nisku potrošnju energije, što je čini pogodnom za IoT uređaje, mobilne aplikacije te industrije poput trgovine, prometa i zdravstva. Detaljno su objašnjeni BLE *beaconi*, koji oglašavaju informacije korisnicima putem mobilne aplikacije. Praktični dio rada obuhvaća razvoj *Android* aplikacije *BLE Advert* koja koristi BLE *beacone* za interakciju s korisnicima na događaju. Aplikacija omogućuje korisnicima primanje podataka koje *beaconi* oglašavaju u stvarnom vremenu, ovisno o njihovoj udaljenosti do *beacona*. Koristeći hibridni protokol između *Eddystone* i *iBeacon* protokola, *beaconi* prenose sporedne brojeve, glavne brojeve i URL, a aplikacija korisnicima prikazuje preneseni URL u obliku web stranice unutar sučelja aplikacije. Organizatori događaja mogu koristiti aplikaciju za praćenje interakcija korisnika s *beaconima*, čime optimiziraju njihovo korisničko iskustvo i organizacijske strategije. U svrhe simuliranja rada aplikacije, korišteni su nasumično generirani podaci koji bih se inače prikupili tijekom interakcije korisnika s *beaconima* na stvarnom događaju. Na kraju rada provedena je obrada nasumično generiranih podataka za bolje razumijevanje uspješnosti događaja.

Ključne riječi: *Android* aplikacija, bežična komunikacija, BLE *beaconi*, *Bluetooth Low Energy*, lokalizacija i oglašavanje

ABSTRACT

THE USE OF BLUETOOTH LOW ENERGY TECHNOLOGY IN MOBILE APPLICATIONS

The theoretical part of the thesis describes Bluetooth Low Energy (BLE) technology, with a special emphasis on its characteristics, BLE beacons, advantages, and applications in various industries. BLE technology enables wireless communication with low energy consumption, making it suitable for IoT devices, mobile applications, and industries such as retail, transportation, and healthcare. BLE beacons, which advertise information to users through a mobile application, are explained in detail. The practical part of the thesis involves the development of an Android application called *BLE Advert*, which uses BLE beacons to interact with users at an event. The application allows users to receive data advertised by beacons in real time, depending on their distance from the beacon. Using a hybrid protocol between Eddystone and iBeacon protocols, the beacons transmit minor numbers, major numbers, and URLs, and the application displays the transmitted URL as a webpage within the app interface. Event organizers can use the application to track user interactions with beacons, optimizing their user experience and organizational strategies. For the purpose of simulating the app's functionality, randomly generated data, which would otherwise be collected during user interaction with beacons at a real event, was used. At the end of the thesis, the randomly generated data was processed to get a better understanding of how successful the event was.

Keywords: Android application, wireless communication, BLE beacons, Bluetooth Low Energy, localization and advertising

PRILOZI

1. Primjene Bluetooth Low Energy tehnologije u mobilnim aplikacijama u .pdf formatu
2. Izvorni kod programskog rješenja dostupan na: <https://github.com/Dombah/BLE>