

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 680

**Utvrđivanje mikrolokacije
mobilnog uređaja u zatvorenom
prostoru**

Ivan Kraljević

Zagreb, lipanj 2014.

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Tehnologija Bluetooth Low Energy	2
3. Odašiljači iBeacon	5
4. Utvrđivanje relativne i absolutne lokacije u zatvorenom prostoru	12
5. Radno okruženje Apache Cordova	21
6. Praktični rad	24
7. Zaključak	28
Literatura	29

1. Uvod

Danas najkorišteniji sustav za pozicioniranje, navigaciju i vremenske usluge je GPS (engl. *Global Positioning System*). U idealnim uvjetima preciznost određivanja lokacije GPS-a je oko deset metara, ali zbog toga što signali do uređaja dolaze od jako udaljenih satelita na nju utječe ogroman broj parametara, od atmosferskih uvjeta (ionosferska i troposferska refrakcija) do metala u okolini uređaja (Schneider, 2013). Dodatno, u zatvorenim prostorima signal satelita remete i zidovi kroz koje oni prolaze te ostale prepreke u okolini. Posljedično, korištenje GPS-a za pozicioniranje i navigaciju u zatvorenim prostorima je izrazito nepouzdano i nepraktično.

Iz gore navedenih razloga očita je potreba za sustavom koji će moći pouzdano odrediti lokaciju korisnika u zatvorenom prostoru. Ovaj problem se našao u središtu velikog broja znanstvenih istraživanja pri čemu se većina fokusira na određivanje lokacije na temelju signala bežične lokalne računalne veze (engl. *wireless local area network*, *WLAN*). Uvođenjem Bluetooth 4.0 specifikacije i tehnologije *Bluetooth Low Energy* dolazi do razvoja niza jeftinih uređaja male potrošnje koji se potencijalno mogu iskoristiti za rješavanje problema pozicioniranja i navigacije u zatvorenom prostoru.

U ovom diplomskom radu govoriti će se o tehnologiji Bluetooth, problemu određivanja lokacije u zatvorenom prostoru, rješenju temeljenom na Bluetooth Smart odašiljačima, odnosno tehnologiji iBeacon, te na kraju će se ponuditi smjernice za daljnji razvoj. U drugom dijelu rada prikazati će se kako se Bluetooth Smart odašiljači mogu primijeniti u mobilnim aplikacijama.

2. Tehnologija Bluetooth Low Energy

Tehnologija Bluetooth je standard bežične komunikacije koji se koristi za razmjenu podataka na maloj udaljenosti. Bluetooth je razvijen 1994. godine u Ericssonu, a 1998. godine Ericsson, IBM, Intel, Nokia i Toshiba osnivaju posebno nadležno tijelo, Bluetooth Special Interest Group (SIG). Uloga nadležnog tijela je unaprijeđenje standarda, ispravna implementacija i licenciranje Bluetooth tehnologije.

Glavne odlike Bluetooth tehnologije su niska cijena Bluetooth uređaja, niska potrošnja energije, niski domet, robusnost te korištenje na globalnoj razini. Bluetooth omogućava brzinu prijenosa reda veličine 1 Mbit/s te koristi nelicencirani frekvencijski pojas od 2.4 do 2.485 GHz, odnosno koristi ISM područje (engl. *industrial, scientific and medical*) koje je frekvencijski usklađeno na globalnoj razini. Uz to, Bluetooth nudi radijsku vezu prema drugim sustavima, uređaji različitih proizvođača su međusobno kompatibilni i dopuštena je komutacija paketa i kanala.

Sredinom 2010. godine Bluetooth SIG objavljuje Bluetooth 4.0 specifikaciju koja uključuje *Classic Bluetooth*, *Bluetooth high speed* i *Bluetooth low energy* protokole. *Bluetooth low energy* (u daljem tekstu BLE), poznat i pod nazivom *Bluetooth Smart*, je tehnologija koja je optimizirana tako da ima veoma nisku potrošnju energije. Uz to, glavne odlike tehnologije su mogućnost višegodišnjeg rada na malom izvoru energije (poput *button-cell* ili AAA baterije), mala veličina i niska cijena te kompatibilnost sa mobilnim uređajima, tabletima i računalima.

Za ugradnju BLE tehnologije u uređaje Bluetooth 4.0 specifikacija uvodi dva načina rada: *single-mode* i *dual-mode*. *Single-mode* način rada obuhvaća integraciju samo BLE funkcionalnosti u kontroler, dok *dual-mode* načina rada omogućava integraciju BLE funkcionalnost u standardni Bluetooth kontroler. Proizvođači uređaja imaju na raspolaganju te dvije opcije i pri tome je važno napomenuti da uređaji sa *single-mode* načinom rada ne mogu komunicirati sa uređajima koji koriste klasični Bluetooth protokol.

Danas se velika većina mobilnih uređaja proizvodi sa podrškom i za standardni Bluetooth i za BLE, tj. u uređaju se ugrađuje Bluetooth mikrokontroler sa *dual-mode* načinom rada. Mobilni operacijski sustavi koji trenutno podržavaju BLE su:

- Android 4.3 i noviji
- iOS 5 i noviji
- Windows Phone 8.1
- Blackberry 10

Bitno je napomenuti da BLE nije i ne pokušava biti optimizirana verzija *Bluetooth classic* tehnologije, već cilja na sasvim nove načine primjene. Predviđene primjene su u sportu, zdravstvu, trgovini, turizmu, mjerenu udaljenosti i druge.

Tehničke značajke

Bluetooth Low Energy tehnologija temelji se na profilima i *Generic Attribute Profile* (u dalnjem tekstu GATT) specifikaciji.

BLE profili su posebne specifikacije koje definiraju servise koji se koriste u određenim scenarijima. Od proizvođača konkretnih uređaja se očekuje da zadovolje određen profil kako bi se osigurala međusobna kompatibilnost između raznih uređaja (npr. ako uređaj koji prati krvni tlak osobe zadovoljava HRP profil svi uređaji mogu uniformno čitati njegove servise). Popularniji standardizirani profili su:

- HTP (*Health Thermometer Profile*) - omogućava uređaju spajanje i interakciju sa termometrom
- GLP (*Glucose Profile*) - omogućava uređaju spajanje i interakciju sa senzorom koji mjeri razinu glukoze u krvi osobe
- BLP (*Blood Pressure Profile*) - omogućava uređaju spajanje i interakciju sa senzorom koji mjeri krvni tlak osobe
- HRP (*Heart Rate Profile*) - omogućava uređaju spajanje i interakciju sa senzorom rada srca
- FMP (*Find Me Profile*) - definira ponašanje gdje pritisak gumba na jednom uređaju šalje obavijest drugom uređaju
- PXP (*Proximity Profile*) - omogućava praćenje udaljenosti između dva uređaja

- LNP (*Location and Navigation Profile*) - omogućava uređaju spajanje i interakciju sa senzorom navigacije

Ostali profili mogu se naći na službenim Bluetooth stranica¹. Svi BLE profili su definirani na temelju GATT specifikacije.

GATT specifikacija definira način na koji se šalju i primaju podaci kratke duljine (često zvani atributi) preko BLE veze. GATT koristi *Attribute* protokol (u dalnjem tekstu ATT) koji ima sličnu funkcionalnost kao SDP² protokol kod standardnog Bluetootha, samo što je optimiziran i pojednostavljen za korištenje u uređajima male potrošnje. GATT definira na koji način su ATT atributi grupirani tako da čine konkretnе servise. Bitni koncepti kod GATT specifikacije su:

Klijent

Uređaj koji pokreće komunikaciju te šalje zahtjeve i prima odgovore (npr. mobilni uređaj ili računalo).

Server

Uređaj koji prima zahtjeve i šalje odgovore (npr. senzor temperature ili iBeacon odašiljač).

Servis

Kolekcija povezanih karakteristika koje zajedno čine nekakvu funkciju (npr. *Health Thermometer* servis uključuje karakteristike za vrijednost temperature, interval čitanja i mjernu jedinicu temperature). Svaki servis može imati proizvoljan broj karakteristika.

Karakteristika³

Vrijednost koja se izmjenjuje između klijenta i servera (npr. krvni tlak osobe ili trenutno stanje baterije). Svaka karakteristika može imati proizvoljan broj opisnika.

Opisnik⁴

Vrijednost koja pobliže opisuje neku karakteristiku (npr. minimalna i maksimalna vrijednost karakteristike ili mjerna jedinica karakteristike).

¹<https://developer.bluetooth.org/gatt/profiles/>

²*Service discovery protocol*, omogućava uređajima da međusobno saznaju koje servise podržavaju i koje parametre trebaju koristiti pri stvaranju podatkovne veze

³engl. *Characteristic*

⁴engl. *Descriptor*

3. Odašiljači iBeacon

Odašiljači iBeacon su jeftini uređaji, niske potrošnje energije koji korištenjem BLE tehnologije obavještavaju obližnje uređaje o svojoj prisutnosti. Obližnji uređaji (poput mobilnih uređaja i tableta) mogu se preplatiti na obavijesti (notifikacije, engl. *notifications*) odašiljača te mogu primati razne sadržaje (poput teksta, slike ili URL adresa) od njih. Krajem 2013. godine iBeacon tehnologiju patentirala je američka multinacionalna korporacija Apple Inc.

Neki od zanimljivih načina primjene iBeacon tehnologije su u muzejima, trgovinama, bolnicama i ostalim ustanovama gdje se sadržaj mijenja ovisno o položaju u prostoriji. Posjetitelj muzeja može na mobilni uređaj ili tablet primiti sadržaj o objektu kojega trenutno promatra (npr. informacije o skulpturi ili slici). Uz to, osoblje muzeja može pratiti koji su objekti najgledaniji i slično. U bolnici se može primijeniti tako da liječnik na prijenosni tablet dobije sve podatke o pacijentu, od povijesti bolesti do trenutne dijagnoze, kada se približi njegovoj sobi ili krevetu. U trgovini se može iskoristiti tako da kupca obavijesti o predmetima na popustu u blizini i sličnim scenarijima. Također, iBeacon odašiljači mogu se iskoristiti i kao sustav beskontaktnog plaćanja na sličan način kako se i NFC¹ tehnologija koristi. Ovo su samo najjednostavniji i najopćenitiji slučajevi gdje se iBeacon tehnologija može ukomponirati, broj načina korištenja tehnologije je ogroman.

iBeacon se može konfigurirati tako da se sadržaj šalje samo kad se uređaj približi odašiljaču na određenu udaljenost. Pri tome su definirana tri parametra udaljenosti: neposredna (*immediate*), mala (*near*) i velika (*far*) udaljenost. Neposredna udaljenost je do nekoliko centimetara, mala do nekoliko metara, dok je velika udaljenost iznad deset metara. Ove vrijednosti su aproksimativne jer ovisno o stvarnim uvjetima u kojima su odašiljači postavljeni signal može dosta varirati pa precizne vrijednosti nisu

¹*Near field communication*, bežična tehnologija jako kratkog dometa korištena za komunikaciju između dva krajnja uređaja

upotrebljive.

Pošto je iBeacon tehnologija relativno nova, detaljna specifikacija nije javno dostupna stoga su gotovo svi proizvođači iBeacon odašiljača reverznim inženjeringom otkrili značajan dio iBeacon Bluetooth profila.

Kada je Apple predstavio iBeacon tehnologiju objavili su aplikaciju AirLocate pomoću koje se iPhone ili iPad koji podržava BLE može ponašati kao iBeacon odašiljač. Također, pomoću iste aplikacije moguće je podešiti sve parametre odašiljača. Kombinacijom te aplikacije pokrenute na nekom iPhone ili iPad uređaju i uređaja koji može snimati Bluetooth Low Energy pakete (poput računala sa ugrađenim Texas Instruments CC2540 čipom) istraživači uključujući i (Young, 2013a) su došli do strukture *advertising* paketa koja je prikazana u tablici 3.1.

Tablica 3.1: Struktura *advertising* paketa iBeacon odašiljača

Bajt	Vrijednost	Opis
1.	02	Duljina podataka - 2 bajta
2.	01	Tip podataka - zastavice
3.	X	LE i BR/ERD zastavice
4.	1A	Duljina podataka - 26 bajtova
5.	FF	Podaci o proizvođaču
6.	4C	Podaci o proizvođaču - Apple
7.	00	Podaci o proizvođaču - Apple
8.	02	Tip podataka
9.	15	Duljina podataka - 15 bajta
10.	X	<i>Proximity UUID</i> 1. bajt
11.	X	<i>Proximity UUID</i> 2. bajt
12.	X	<i>Proximity UUID</i> 3. bajt
13.	X	<i>Proximity UUID</i> 4. bajt
14.	X	<i>Proximity UUID</i> 5. bajt
15.	X	<i>Proximity UUID</i> 6. bajt
16.	X	<i>Proximity UUID</i> 7. bajt
17.	X	<i>Proximity UUID</i> 8. bajt
18.	X	<i>Proximity UUID</i> 9. bajt
19.	X	<i>Proximity UUID</i> 10. bajt
20.	X	<i>Proximity UUID</i> 11. bajt
21.	X	<i>Proximity UUID</i> 12. bajt
22.	X	<i>Proximity UUID</i> 13. bajt
23.	X	<i>Proximity UUID</i> 14. bajt
24.	X	<i>Proximity UUID</i> 15. bajt
25.	X	<i>Proximity UUID</i> 16. bajt
26.	X	<i>Major value</i> 1. bajt
27.	X	<i>Major value</i> 1. bajt
28.	X	<i>Minor value</i> 1. bajt
29.	X	<i>Minor value</i> 2. bajt
30.	X	RSSI na udaljenosti od 1m

X - vrijednosti ovise o postavkama konkretnog odašiljača

Izuvez trećeg bajta sa LE² i BR/ERD³ zastavicama prvi devet bajtova svakog paketa su jednaki kod svakog odašiljača. Nakon toga slijedi šesnaest bajtova koji čine *Proximity UUID*⁴ parametar, dva bajta koji čine *Major value* parametar, dva bajta koja čine *Minor value* parametar te posljednji, trideseti, bajt koji sadrži RSSI⁵ izmjerena na udaljenosti od jednog metra.

Konfigurabilni parametari *Proximity UUID*, *Major value* i *Minor value* koriste se za identifikaciju pojedinog odašiljača. Preporuča se korištenje tih vrijednosti na način da *Proximity UUID* bude nekakav globalni identifikator, a *Major value* i *Minor value* specifičniji identifikatori. Konkretno, *Proximity UUID* može biti oznaka konkretnog trgovačkog lanca, *Major value* oznaka konkretnе trgovine, dok *Minor value* može biti oznaka konkretnе kategorije u trgovini.

Posljednji bajt *advertising* paketa sadrži RSSI izmjerena na udaljenosti od jednog metra od odašiljača. On se često koristi kod određivanja udaljenosti od odašiljača. Pošto jakost signala na nekoj udaljenosti ovisi o okolini u kojoj je uređaj postavljen, radi pouzdanijeg određivanja relativne udaljenosti od odašiljača preporuča se prije početka korištenja odašiljača izmjeriti RSSI na udaljenosti od jednog metra te pohraniti tu vrijednost u sam odašiljač.

Za određivanje lokacije korišteni su Kontakt.io⁶ i Bluecats⁷ iBeacon odašiljači. U nastavku je navedena specifikacija Kontakt.io odašiljača, dok za vrijeme pisanja rada detaljna specifikacija Bluecats odašiljača nije uopće objavljena. Iz tog razloga kod većeg dijela istraživanja koristili su se Kontakt.io odašiljači jer su vrijednosti nekih parametara Bluecats odašiljača nepoznate. Npr. jakost odašiljanja signala (engl. *transmission power level*) se može postaviti na vrijednosti poput *loud* i *silent*, ali numeričke vrijednosti koju ti izrazi opisuju su nepoznati stoga nam je taj parametar neprimjeniv.

Kontakt.io Beacon

Glavne značajke uređaja su odašiljanje podatkovnih paketa korištenjem BLE tehnologije te kompatibilnost sa svim uređajima koji podražavaju Bluetooth 4.0. Uz to, uređaji se mogu jednostavno klonirati i nadograditi, imaju visoku razinu sigurnosti te

²*Low Energy*

³*Bluetooth Radio/Enhanced Data Rate*

⁴*Universally unique identifier*

⁵*received signal strength indicator*, mjera jakosti primljenog signala

⁶<http://kontakt.io>

⁷<http://www.bluecats.com>

malu energetsku potrošnju.

Pojedini uređaj ima nekoliko konfigurabilnih parametara: *Proximity UUID*, *major* i *minor* vrijednosti, ime uređaja, jakost odašiljanja signala te interval odašiljanja poruka. Uređaj napaja jedna CR2477 baterija s kojom uređaj može konstantno raditi više od 24 mjeseca (Kontakt.io, 2014a). Pri standardnoj (tvorničkoj) snazi odašiljanja iznosa -4 dBm, mobilni uređaj (ili bilo koji drugi uređaj sa podruškom za BLE) može prepoznati odašiljač do oko šest metara udaljenosti, dok na najjačoj snazi odašiljanja iznosa 4 dBm, odašiljač se može prepoznati i na udaljenosti većoj od dvadeset metara.

Tehnička specifikacija

Dimenzije odašiljača su 55 mm × 55 mm × 15 mm te on teži svega 23 grama. Vanjski okvir je od ABS⁸ plastike, a uređaj napaja zamjenjiva CR2477 baterija s kojom odašiljač može raditi više od dvije godine. Prema (Kontakt.io, 2014b) vrijeme rada može se dodatno povećati na čak šest godina ukoliko se smanje jakost odašiljanja i interval odašiljanja poruka.

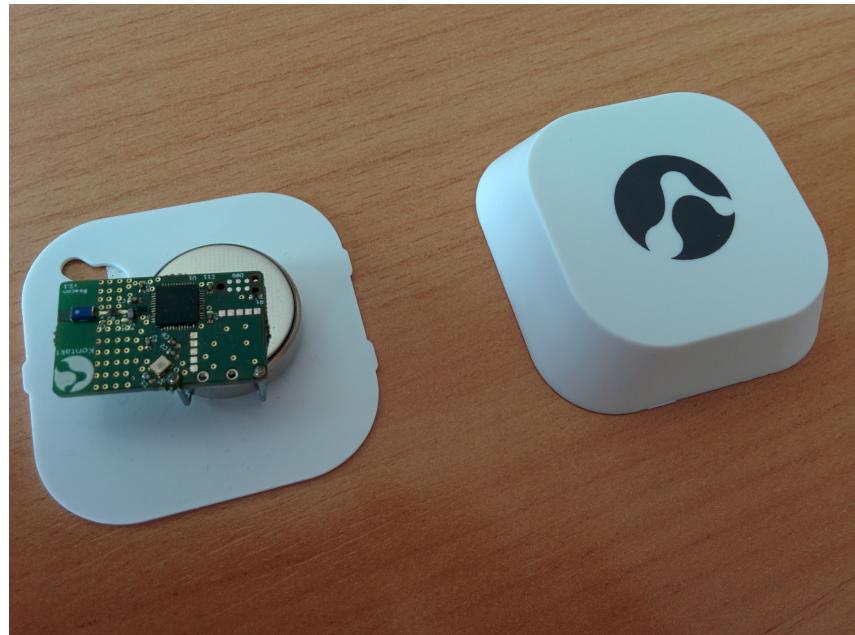
Ostale karakteristike odašiljača su:

- Nordic Semiconductors Bluetooth Smart multiprotokol SOC⁹ IC¹⁰
- 32-bitni ARM Cortex M0 procesor
- 256 kB flash memorije
- 16 kB RAM memorije
- Jakost odašiljanja u rasponu od -30 dBm do +4 dBm
- Dozvoljene brzine prijenosa: 250 kB/s, 1 M/s i 2 M/s

⁸Akilonitril butadien stiren, izdržljiva plastika koja je pogodna za recikliranje

⁹sustav na čipu (engl. *System on a chip*)

¹⁰integrirani krug (engl. *integrated circuit*)



Slika 3.1: Kontakt.io iBeacon odašiljač

Dozvoljene vrijednosti jakosti odašiljanja su: -30, -20, -16, -12, -8, -4, 0 i 4 dBm.

Struktura paketa

Uređaj odašilje dvije vrste paketa podataka: *advertising* i *scan response*.

Tokom rada uređaj kontinuirano odašilje *advertising* pakete i na taj obavještava okolne uređaje o svojoj prisutnosti. Drugi tip paketa, *scan response* paket, šalje se odmah nakon *advertising* paketa i sadrži dodatne informacije o odašiljaču, poput imena odašiljača, stanja baterije i slično.

Struktura *advertising* paketa odgovara strukturi iBeacon *advertising* paketa navedenog u tablici 3.1, dok je struktura *scan response* paketa navedena u tablici 3.2.

Tablica 3.2: Struktura *scan response* paketa

Bajt	Vrijednost	Opis
1.	08*	Duljina podataka - 8 bajta
2.	09	Tip podatka - Lokalno ime uređaja
3.	4B*	Lokalno ime uređaja
4.	6F*	Lokalno ime uređaja
5.	6E*	Lokalno ime uređaja
6.	74*	Lokalno ime uređaja
7.	61*	Lokalno ime uređaja
8.	6B*	Lokalno ime uređaja
9.	74*	Lokalno ime uređaja
10.	02	Duljina podataka - 2 bajta
11.	0A	Tip podatka - Jakost odašiljanja signala
12.	F4	Jakost odašiljanja signala
13.	0A	Duljina podataka - 10 bajta
14.	16	Tip podatka - service data
15.	0D	<i>Service UUID</i> 1. bajt
16.	D0	<i>Service UUID</i> 2. bajt
17.	X	Identifikator odašiljača 1. bajt
18.	X	Identifikator odašiljača 2. bajt
19.	X	Identifikator odašiljača 3. bajt
20.	X	Identifikator odašiljača 4. bajt
21.	X	<i>Firmware version</i> 1. bajt
22.	X	<i>Firmware version</i> 2. bajt
23.	X	Razina baterije

X - vrijednosti ovise o postavkama konkretnog odašiljača

* - varijabilne duljine, ovisi o duljini postavljenog imena odašiljača (max. 15 bajtova)

4. Utvrđivanje relativne i absolutne lokacije u zatvorenom prostoru

Tehnologije navigacije i pozicioniranja koje se oslanjaju na udaljene satelite (poput GPS i GNSS tehnologija) nisu pogodne za korištenje u zatvorenim prostorima iz razloga što njihove signale apsorbiraju i reflektiraju krovovi, zidovi i ostali objekti u okolini. Iz istih razloga određivanje lokacije preko mobilnih signala, odnosno preko radio tornjeva nije moguće.

Stoga su za utvrđivanje lokacije u zatvorenom prostoru potrebni sasvim novi i drugačiji pristupi problemu te shodno tome, sasvim nove metode određivanja lokacije. Zbog ogromnog porasta pristupačnosti i popularnosti pametnih telefona, posljednjih nekoliko godina sve je veća potražnja za pouzdanim rješenjem problema. Kako ne postoji nikakav *de facto* standard, gotovo sva ponuđena rješenja su međusobno različita i koriste cijeli niz različitih tehnologija, od optičkih (npr. kamera uređaja) i radio (npr. signali obližnje bežične mreže) skroz do akustičnih (npr. akustični sljednici koji se često koriste sustavima virtualne stvarnosti) tehnologija.

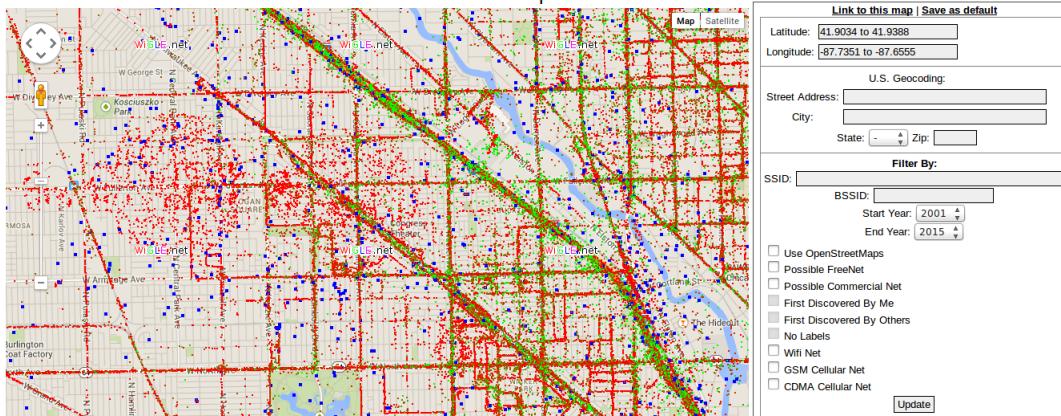
Vjerojatno najznačajniji uspjeh je postignut sa praćenjem signala kojega odašilje obližnja bežična Wi-fi mreža. Velika prednost ove metode je značajan porast bežičnih pristupnih točaka na koje se mobilni i drugi uređaji mogu spojiti. Da bi se ovom metodom odredila lokacija uređaja potrebno je na neki način mapirati dotičnu pristupnu točku te zatim na temelju jakosti primljenog signala utvrditi poziciju mobilnog uređaja u odnosu na nju. Parametri mapiranja uključuju apsolutnu poziciju, SSID¹ i MAC² adresu pristupne točke (tj. WLAN uređaja). Neke od poznatijih web aplikacija poput WeFi³ i WiGLE⁴ sadrže više od sto milijuna mapiranih bežičnih pristupnih točaka.

¹*service set identification*

²*media access control address*

³<http://www.wifi.com/maps/>

⁴<https://wigle.net>



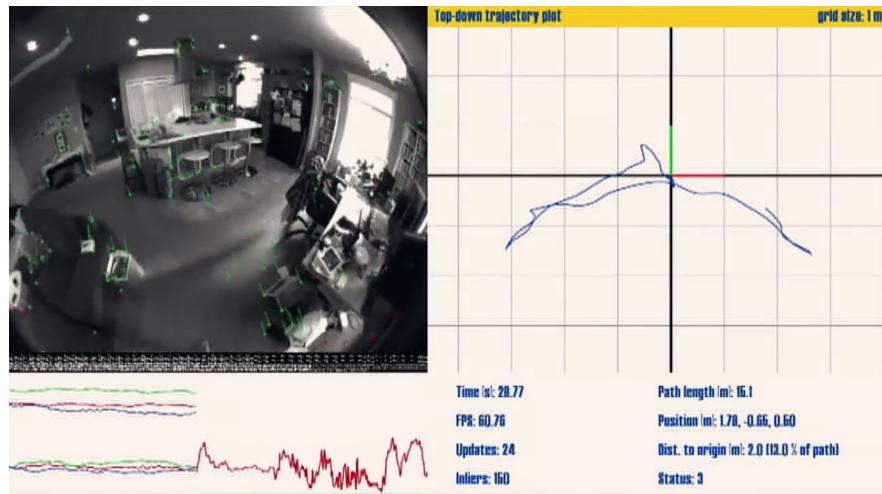
Slika 4.1: Prikaz mapiranih bežičnih pristupnih točaka preko sučelja WiGLE web aplikacije

Uz navigaciju i pozicioniranje pomoću Wi-fi mreža, dosta su popularne metode koje se služe tehnikama proširene i virtualne stvarnosti te tehnikama strojnog učenja, raspoznavanja uzorka i računalnog vida.

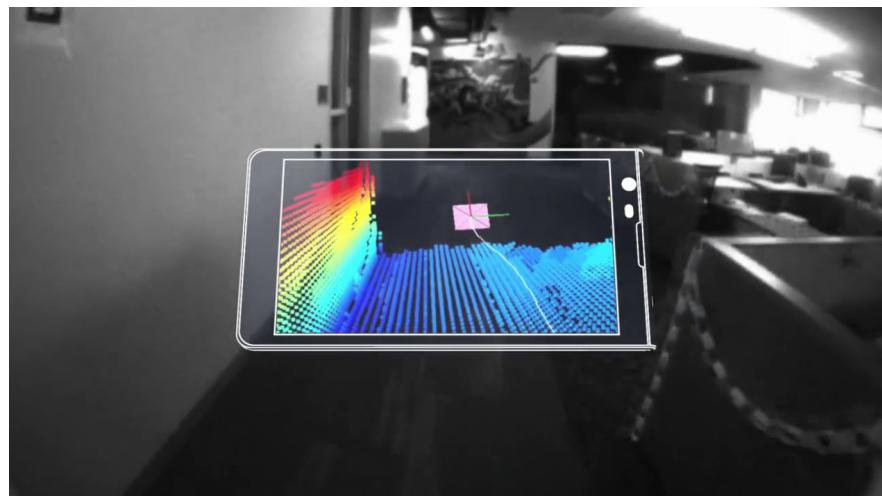
Jedna od popularnijih tehnika proširene (engl. *augmented*) i virtualne stvarnosti je korištenje posebnih oznaka (markera) kojega kamera mobilnog uređaja može prepoznati u prostoru.

Iz područja strojnog učenja, raspoznavanja uzorka i računalnog vida vjerojatno najistaknutiji i najambiciozni projekt je projekt Tango⁵ kojega razvija tehnološki gigant Google. Cilj projekta je ponuditi rješenje koje će korištenjem kamere i ostalih senzora mobilnog uređaja nuditi pomoć pri navigaciji, pozicioniranju i prepoznavanju okoline, odnosno 3D mapiranje, u zatvorenom i otvorenom prostoru. Unatoč tome što je projekt još u ranoj fazi razvoja, razvojni tim je ostvario vidljiv napredak te inicijalni rezultati upućuju na preciznost od jednog centimetra. Uz to, prvi prototipovi mobilnih uređaja i tableta već su dostupni partnerima koji sudjeluju u razvoju i na internetu se polako objavljaju nove i zanimljive informacije o projektu.

⁵<https://www.google.com/atap/projecttango/>



Slika 4.2: Google Project Tango - prepoznavanje predmeta u okolini



Slika 4.3: Google Project Tango - prikaz mapirane okoline

U nastavku su opisane relativno nove metode za određivanje lokacije u zatvorenom prostoru koje se temelje na BLE tehnologiji i iBeacon odašiljačima. Za rješavanje problema prvo je potrebno sa što većom preciznošću odrediti relativnu poziciju uređaja u odnosu na odašiljač/odašiljače stoga je glavni fokus istraživanja usmjeren baš na taj dio. Nakon toga uz poznavanje relativne pozicije uređaja i apsolutne pozicije odašiljača možemo odrediti apsolutni položaj uređaja.

Utvrđivanje relativne udaljenosti od odašiljača

Funkcija pomoću koje se može odrediti jakost primljenog signala navedena je u (4.1).

$$P_r = P_t + 20 \log \frac{\lambda}{4\pi} + 10n \log \frac{1}{d} \quad (4.1)$$

P_t predstavlja jakost odašiljanja signala, P_r jakost primljenog signala, d udaljenost između prijamnika i odašiljača, λ je valna duljina elektromagnetskog vala, a n indeks refrakcije (u slobodnom prostoru iznosi 2).

Ukoliko se ista jednadžba zapiše po varijabli d dobiva se formula koja je prikazana u (4.2). Uz poznate vrijednosti svih ostalih parametara ta formula se može iskoristiti za procjenu udaljenosti između prijamnika i odašiljača. Uz to, zbog relativno niske složenosti dotična formula je idealan kandidat za ugradnju u mobilnu aplikaciju.

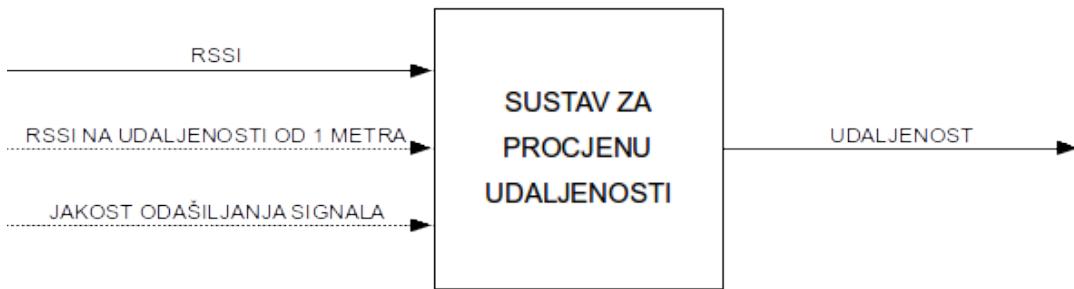
$$d = 10^{-\frac{P_r - P_t - 20 \log \frac{\lambda}{4\pi}}{10n}} \quad (4.2)$$

Problem formule (4.2) je što ona zanemaruje bilo kakva ometanja signala, odnosno ona je ona primjenjiva samo u idealnim uvjetima, a kao što je prethodno već rečeno, na signal u zatvorenom prostoru utječe (tj. ometa ga) velik broj parametara. Na stabilnost signala koji putuje zatvorenim prostorom najvećim dijelom djeluju apsorpcija i refleksija signala, dok razašiljanje i difrakcija djeluju manjom mjerom.

Zbog refleksije signala dio elektromagnetskog vala se odbija (reflektira) od površinu s kojom se sudario, a zbog apsorpcije signala dio elektromagnetskog vala se apsorbira te se val nastavlja gibati sa prigušenjem. Smetnje uzrokovane refleksijom mogu se smanjiti povećanjem frekvencije, dok apsorpcija ovisi o dubini prodiranja i udaljenosti granice između dva sredstva.

U zatvorenom prostoru smetnje koje uzrokuju prethodno opisani faktori su često prevelike i u velikoj većini slučajeva na to se ne može utjecati. Zaključak je da procjena udaljenosti temeljena na (4.2) nije precizna na tako nestabilnom signalu stoga je za rješavanje problema potreban drugačiji pristup.

Sustav za procjenu udaljenosti od iBeacon odašiljača može se opisati kao što je prikazano na slici 4.4.



Slika 4.4: Sustav za procjenu udaljenosti

Ulaz u sustav procjene udaljenosti je RSSI, odnosno jakost primljenog signala, optionalni ulazni parametri su jakost odašiljanja signala te RSSI izmјeren na udaljenosti od jednog metra od odašiljača, a izlaz sustava je procjena udaljenosti izražena u metrima.

Sustav procjene udaljenosti može biti funkcija (4.2) ili bilo koja druga funkcija.

Kako na signal djeluje velik broj vanjskih smetnji, predloženi sustav će morati biti otporan na šum u podacima, a također će morati biti i relativno brz te imati nisku složenost zbog toga što mu je primarna namjena korištenje u mobilnim uređajima i tabletima ograničene procesorske snage.

Kao što je navedeno u iBeacon poglavljу, Apple je za procjenu udaljenosti od odašiljača namijenio tri izraza: neposredna blizina (*immediate*), mala (*near*) i velika *far* udaljenost. Zajedno s tim u radno okruženje Apple Core Location dodana je funkcija koja na temelju jakosti primljenog signala (RSSI) i jakosti signala na udaljenosti jednog metra od odašiljača (trideseti bajt *advertising* paketa iBeacon odašiljača) određuje relativnu udaljenost od odašiljača. Sam kôd funkcije nije javno dostupan i nije poznata metoda koju su Appleovi inženjeri upotrijebili, no **ne preporučuju** da se ona koristi u situacijama gdje je potreban precizan rezultat, odnosno precizna procjena udaljenosti. Stoga se nameće zaključak kako ni Appleovi inženjeri nisu uspjeli zaobići prethodno spomenute smetnje koje djeluju na signal.

Inženjeri američke kompanije Radius Networks su za vrijeme izrade svoje neslužbene slobodno dostupne Android iBeacon biblioteke⁶ pristupili problemu procjene udaljenosti tako da su napravili veliki broj RSSI mjerena na poznatim udaljenostima i rezultate opisali funkcijom najbolje sličnosti (Young, 2013b). Dotična funkcija navedena je u (4.3).

⁶<https://github.com/RadiusNetworks/android-ibeacon-service>

$$f(x, y) = \begin{cases} 0.89976 \frac{x^{7.7095}}{y} + 0.111 & \text{ako } \frac{x}{y} \geq 1 \\ \frac{x^{10}}{y} & \text{ako } 0 < \frac{x}{y} < 1 \\ -1 & \text{ako } x = 0 \end{cases} \quad (4.3)$$

Parametar x je RSSI primljenog signala, dok y predstavlja RSSI na udaljenosti od jednog metra od odašiljača.

Njihovo rješenje može se isprobati tako da se funkciju (4.3) ugradi u vlastitu aplikaciju, a može se iskoristiti i njihova besplatna Android aplikacija koja je dostupna na Google Play Storeu⁷.

Empirijskim testiranjem aplikacije primjetio sam kako i za male pomake u iznosu od nekoliko desetaka centimetara detektirani pomak aplikacije nerijetko bio u iznosu većem od deset metara. Stoga se može zaključiti kako ni rješenje koje su ponudili inženjeri Radius Networksa nije pouzdano, a ni primjenjivo na stvarnim problemima. Bez obzira na to, njihova Android iBeacon biblioteka, objašnjenja na službenim stranicama te rasprave njihovog inženjera David Younga na stranicama Stackoverflowa su izuzetno pomogle oko shvaćanja cjelokupne problematike određivanja lokacije korištenjem iBeacon odašiljača.

Kao model sustava možemo iskoristiti umjetnu neuronsku mrežu (engl. *artificial neural network*). Smatram da su neuronske mreže dobar model za rješavanje problema iz razloga što one mogu uspješno rješavati zahtjevne probleme gdje je tražena funkcija nepoznata, a uz to otporne su otporne na šum u podacima.

Neuronska mreža će se trenirati na prethodno prikupljenim podacima. Prve tri skupine podataka uzorokovane su na na udaljenostima od 50 cm do 8 m s korakom od 50 cm, po dvije stotine uzoraka za svaku udaljenost. Ukupno prve tri skupine sastoje se od $\text{brojSkupina} \cdot \text{brojUdaljenosti} \cdot \text{brojUzorka} = 3 \cdot 16 \cdot 200 = 9600$ nezavisnih uzoraka. Važnija svojstva sve tri skupine uzoraka prikazane su u tablicama 4.1, 4.2 i 4.3.

⁷<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.radiusnetworks.ibeaconlocate>

Tablica 4.1: Prva skupina uzoraka

Udaljenost	μ_{RSSI}	σ_{RSSI}	min_{RSSI}	max_{RSSI}
0.5	-81.075	2.426	-88	-74
1.0	-80.320	2.799	-86	-76
1.5	-75.575	3.298	-80	-70
2.0	-73.990	2.558	-79	-68
2.5	-78.725	0.907	-81	-74
3.0	-82.470	4.053	-91	-74
3.5	-81.685	2.892	-87	-77
4.0	-83.115	1.903	-88	-77
4.5	-91.125	3.057	-98	-85
5.0	-88.705	2.198	-93	-83
5.5	-88.935	3.487	-97	-83
6.0	-92.450	2.399	-99	-87
6.5	-93.610	1.691	-99	-90
7.0	-	-	-	-
7.5	-	-	-	-
8.0	-	-	-	-

Podatke prve skupine uzoraka odasla je kontakt.io odašiljač sa jakosti odašiljanja od -4 dBm. U tablici se može uočiti kako je standardna devijacija za gotovo svaku grupu uzoraka poprilično velika (devijacija grupe na udaljenosti od tri metra iznosi čak 4.053). Uzrok tako velikoj standardnoj devijaciji su prethodno opisane smetnje koje utječu na signal u zatvorenom prostoru.

Utvrđivanje apsolutne lokacije

Triangulacija

Postupak triangulacije

Trilateracija

Tablica 4.2: TODO

Udaljenost	μ_{RSSI}	σ_{RSSI}	min_{RSSI}	max_{RSSI}
0.5	-65.165	2.546	-76	-56
1.0	-66.250	2.316	-73	-59
1.5	-62.695	4.3238	-69	-57
2.0	-58.750	1.982	-62	-53
2.5	-63.595	0.875	-66	-59
3.0	-67.810	2.619	-73	-62
3.5	-71.620	3.537	-80	-65
4.0	-68.72	2.000	-73	-65
4.5	-74.975	3.065	-81	-68
5.0	-72.445	3.485	-78	-65
5.5	-79.920	6.883	-93	-68
6.0	-82.175	5.896	-98	-71
6.5	-74.085	2.977	-80	-68
7.0	-71.700	2.858	-77	-65
7.5	-76.065	2.241	-80	-71
8.0	-78.295	4.926	-91	-71

Tablica 4.3: TODO

Udaljenost	μ_{RSSI}	σ_{RSSI}	min_{RSSI}	max_{RSSI}
0.5	-89.550	3.526	-98	-83
1.0	-90.895	2.101	-96	-86
1.5	-91.350	3.162	-101	-86
2.0	-91.695	2.134	-99	-86
2.5	-89.630	1.583	-99	-86
3.0	-93.385	2.156	-100	-88
3.5	-	-	-	-
4.0	-	-	-	-
4.5	-	-	-	-
5.0	-	-	-	-
5.5	-	-	-	-
6.0	-	-	-	-
6.5	-	-	-	-
7.0	-	-	-	-
7.5	-	-	-	-
8.0	-	-	-	-

Tablica 4.4: TODO

Udaljenost	μ_{RSSI}	σ_{RSSI}	min_{RSSI}	max_{RSSI}
2	-63.720	1.371	-66	-59
4	-72.755	4.294	-80	-67
6	-74.450	6.894	-89	-65
8	-77.300	2.112	-83	-71
10	-83.905	4.691	-92	-77
12	-84.265	3.489	-95	-77
14	-85.580	2.430	-90	-81
16	-90.560	2.846	-97	-85
18	-92.555	1.787	-98	-88
20	-87.395	3.157	-93	-83
22	-92.375	2.7988	-99	-86
24	-91.53	1.407	-95	-88

5. Radno okruženje Apache Cordova

Radno okruženje Apache Cordova je skup aplikacijsko programskih sučelja (engl. *application programming interface, API*) koji omogućavaju da razvijatelj mobilnih aplikacija pristupa osnovnim funkcijama mobilnoga uređaja, poput kamere, sustava za pohranu podataka i telefonskog imenika preko JavaScript jezika. U kombinaciji sa radnim okruženjima poput Sencha Touch, Dojo Mobile i Ionic aplikacije za pametne telefone mogu se razvijati korištenjem samo HTML, CSS i JavaScript programskog jezika.

Korištenjem Apache Cordove programer je oslobođen pisanja aplikacija u nativnim jezicima uređaja (npr. Java za Android, Objective-C za iOS), već se koriste isključivo prethodno spomenute web tehnologije. Bez obzira na to što aplikacije nisu napisane u nativnim jezicima, Apache Cordova aplikacije se prevode i pakiraju pomoću SDK (engl. *software development kit, SDK*) željene platforme stoga se aplikacije mogu i postaviti na trgovine aplikacija (engl. *app store*) dotične platforme.

Cordova nudi skup uniformnih JavaScript biblioteka čije funkcije programer može pozivati. One imaju podršku za povezivanje sa specifičnim platformama. Cordova je trenutno dostupna za sljedeće platforme: Android, iOS, Blackberry, Windows Phone, Palm WebOS, Bada i Symbian.

Za pristup *Bluetooth Low Energy* funkcijama mobilnog uređaja korištena je **Cordova BLE** biblioteka¹, dok je oko dvije stotine dodatnih i besplatnih biblioteka dostupno na službenom repozitoriju².

Službene Cordova JavaScript biblioteke koje održava Cordova tim su:

Battery Status

Omogućava nadgledanje stanja baterije uređaja.

¹<https://github.com/evothings/cordova-ble>

²<http://plugins.cordova.io>

Camera

Omogućava pristup kamери uređaja.

Contacts

Omogućava pristup telefonskom imeniku uređaja.

Device

Omogućava pristup specifičnim informacijama uređaja (npr. ime uređaja, operacijski sustav).

Device Motion (Accelerometer)

Omogućava pristup senzoru ubrzanja (akcelerometar).

Device Orientation (Compass)

Omogućava pristup kompasu uređaja.

Dialogs

Omogućava korištenje sustava obavijesti uređaja.

FileSystem

Omogućava korištenje datotečnog sustava uređaja.

FileTransfer

Omogućava pristup sustavu za prijenos datoteka.

Geolocation

Omogućava pristup prema geolokacijskom sustavu.

Globalization

Omogućava različite reprezentacije objekata ovisno o postavkama lokacije uređaja.

InAppBrowser

Omogućava otvaranje URL-ova u novoj instanci web-preglednika uređaja.

Media

Omogućava snimanje i reprodukciju audio datoteka.

Media Capture

Omogućava snimanje audio i video datoteka.

Network Information (Connection)

Omogućava pristup informacijama o stanju mreže uređaja.

Splashscreen

Omogućava manipuliranje početnog zaslona aplikacije.

Vibration

Omogućava korištenje mehanizma za vibriranje uređaja.

Radno okruženje Ionic

Ionic je radno okruženje napisano sa HTML, CSS i JavaScript programskim jezikom čiji je cilj olakšati razvoj hibridnih mobilnih aplikacija³ stoga je ono jako dobar izbor prilikom izrade Cordova aplikacija. Ionic je primarno okrenut prema olakšanju izrade korisničkog sučelja, odnosno nudi cijeli niz funkcija koje razvijatelju olakšavaju izradu velikih i složenih mobilnih aplikacija. U pozadini, Ionic koristi danas sve popularnije JavaScript *frontend* radno okruženje AngularJS koje je namjenjeno izradi *single-page* web aplikacija. Korištenjem AngularJS-a u Ionic je dodan cijeli niz direktiva⁴, filtera⁵, servisa⁶ i drugih funkcija koje programeru rješavaju cijeli niz problema poput osjetljivog dizajna (engl. *responsive design*), hvatanja raznih korisnikovih interakcija (dodiri s jedim ili više prstiju, povlačenje (engl. *swipe*) stavki, stezanju i širenju stavki (engl. *pinch*) i cijeli niz drugih).

Ionic se sastoji od dva temeljna dijela. Prvi dio čine CSS i Sass datoteke čija je svrha da razvijateljima olakšaju izradu vizualnoga dizajna aplikacije. Drugi dio čine JavaScript datoteke i HTML predlošci koji pojednostavljaju izradu aplikacija složene arhitekture te programerima nude cijeli niz pomoćnih funkcija.

Ionic je relativno novo radno okruženje i u vrijeme pisanja ovog rada je u beta verziji. Unatoč tome, veliki broj funkcija već je implementiran i samo njihovim korištenjem mogu se napraviti velike, složene i vizualno privlačne mobilne aplikacije. Uz to, Ionic je izdan pod MIT licencom i njegov izvorni kod je javno dostupan na službenom Github repositoriju⁷.

³Aplikacije napravljene korištenjem web tehnologija. Pokreću se unutar posebnog spremnika uređaja te koriste funkcije web preglednika za prikaz HTML sadržaja i izvođenje JavaScript kôda

⁴Posebne oznake DOM elemenata koje obavještavaju AngularJS HTML prevoditelja da transformira elemente ili im doda novo ponašanje.

⁵Funkcije za obradu ili transformaciju podataka koji se prikazuju korisniku. Npr. mogu se koristiti za abecedni prikaz elemenata liste, prikaz teksta isključivo velikim slovom itd.

⁶Jedinstveni objekti (engl. *singleton*) koji se koriste za dijeljenje funkcija i resursa unutar aplikacije.

⁷<https://github.com/driftyco/ionic>

6. Praktični rad

U iBeacon poglavlju spomenuto je kako se tehnologija iBeacon može iskoristiti u gotovo svim situacijama gdje se sadržaj mijenja ovisno o kontekstu prostora, npr. trgovina, muzejima, bolnicama i sličnim objektima.

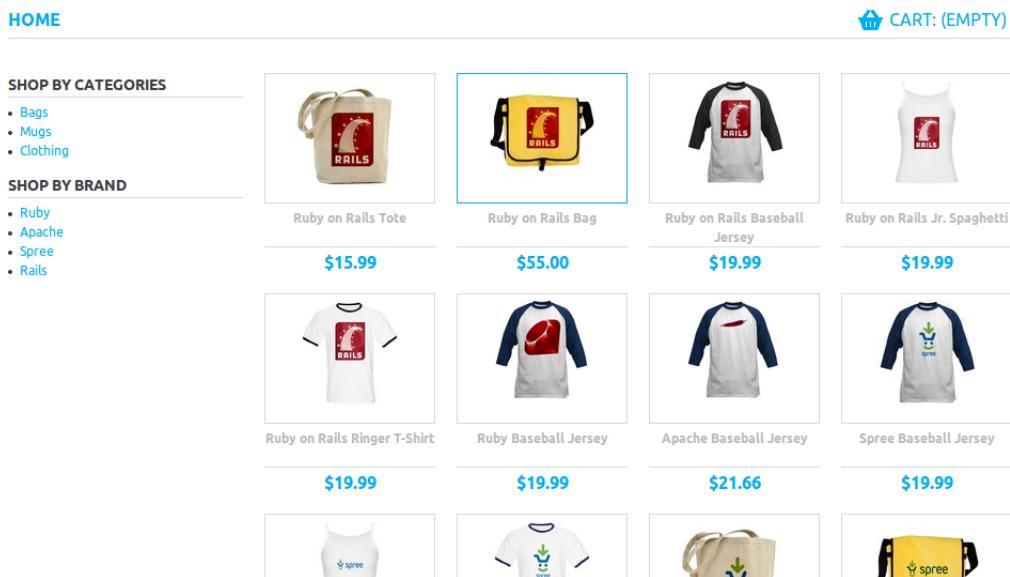
U nastavku poglavlja opisano je kako se tehnologija iBeacon može integrirati u trgovine.

Za integraciju je potrebno imati postavljene iBeacon uređaje u prostoru, klijentsku mobilnu aplikaciju koja može prepoznati BLE, odnosno iBeacon, odašiljače te poslužiteljsku aplikaciju s koje će mobilni uređaj dohvaćati relevantne podatke.

Poslužiteljska aplikacija

Spree Commerce (u dalnjem tekstu Spree) je elektronička trgovina (engl. *e-commerce*) otvorenog koda napisana u Ruby on Rails radnom okruženju. Rad na Spreeu je počeo 2007. godine, a danas je jedna od najpopularnijih platformi za elektroničku trgovinu. Trenutno više od 45 tisuća trgovina koristi Spree.

Odlike Spree rješenja su ogroman broj već implementiranih funkcija koje imaju sve moderne elektroničke trgovine, modularan programski kôd, lakoća dodavanja novih funkcionalnosti te izmjena i konfiguracija postojećih te brojne druge. Uz to, za gotovo svaki aspekt sustava dostupan je skup aplikacijsko programskih sučelja što pojednostavljuje integraciju sustava sa drugim tehnologijama (poput integracije sa mobilnim platformama).



Slika 6.1: Početni ekran Spree korisničkog sučelja

Logged in as: spree@example.com [Account](#) [Logout](#) [Go Back To Store](#)

ORDERS **PRODUCTS** **REPORTS** **CONFIGURATION** **PROMOTIONS** **USERS**

Listing Orders [+ NEW ORDER](#)

SEARCH

DATE RANGE	ORDER	FIRST NAME BEGINS WITH	<input checked="" type="checkbox"/> ONLY SHOW COMPLETE ORDERS
Start <input type="button" value="→"/> Stop	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
STATUS <input type="button" value="x"/>	EMAIL <input type="text"/>	LAST NAME BEGINS WITH <input type="text"/>	PROMOTION <input type="button" value="x"/>

[Q FILTER RESULTS](#)

COMPLETED AT ▾	NUMBER	STATE	PAYMENT STATE	SHIPMENT STATE	CUSTOMER E-MAIL	TOTAL	
2014-03-09	R987654321	● COMPLETE	● PAID	● SHIPPED	spree@example.com	\$25.35	<input type="button" value="edit"/>
2014-03-09	R123456789	● COMPLETE	● PAID	● READY	spree@example.com	\$17.63	<input type="button" value="edit"/>

Slika 6.2: Početni ekran Spree administratorskog sučelja



Shop Now for the Best Italian coffee blends and accessories!



[Shop Lavazza drip blends](#)



[Shop Lavazza espresso blends](#)

Slika 6.3: Lavazza Store - jedna od mnogobrojnih elektroničkih trgovina koje koriste Spree

Spree je podijeljen na nekoliko ključnih komponenti (tj. Ruby Gemova):

spree_api

Skup aplikacijsko programskih sučelja koji zadovoljavaju REST¹ principe.

spree_frontend

Komponente korisničkog sučelja.

spree_backend

Komponente korisničkog sučelja administratora aplikacije.

spree_cmd

Komponente sučelja naredbenog retka (engl. *command-line interface, CLI*).

¹Representational State Transfer

spree_core

Ključne komponente, sadrži veliku većinu poslovne logike.

spree_sample

Primjeri podataka.

Ako programer želi dodati neku od Spree komponenti u svoju postojeću aplikaciju, sve što treba napraviti je dodati željene komponente u Gemfile² te pokrenuti instalaciju.

Najkraći način za instalaciju Spree gema, stvaranje novoga Ruby on Rails projekta i dodavanja Spreea u novostvoren projekt prikazan je u nastavku (prepostavlja se da su Ruby i Ruby on Rails prethodno instalirani i ispravno konfigurirani).

```
$ gem install spree  
$ rails _4.0.5_ new moj_projekt  
$ spree install moj_projekt
```

Klijentska aplikacija

²datoteka koja sadrži popis svih Ruby Gemova koji se koriste u projektu

7. Zaključak

Zaključak.

LITERATURA

Robin Heydon. *Bluetooth Low Energy: The Developer's Handbook*. Prentice Hall, 2012. ISBN 013288836X, 9780132888363.

Kontakt.io. Kontakt.io beacon datasheet v2.0, 2014a. URL <http://docs.kontakt.io/beacon/kontakt-beacon-v2.pdf>.

Kontakt.io. Tehnical specifications, 2014b. URL <http://kontakt.io/technology/technical-specification>.

David Schneider. You are here. *IEEE Spectrum*, stranice 30–35, prosinac 2013.

David Young. *Reverse Engineering the iBeacon Profile*. Radius Networks, 2013a. URL <http://developer.radiusnetworks.com/2013/10/01/reverse-engineering-the-ibeacon-profile.html>.

David Young. Understanding ibeacon distancing, 2013b. URL <http://stackoverflow.com/a/20434019>.

Utvrđivanje mikrolokacije mobilnog uređaja u zatvorenom prostoru

Sažetak

Sažetak na hrvatskom jeziku.

Ključne riječi: Bluetooth, BLE, mikrolokacija, iBeacon, Android, iOS, Apache Cordova, Ruby on Rails, Ruby, JavaScript, razvoj mobilnih aplikacija

Determining a micro-location of a mobile device

Abstract

Abstract.

Keywords: Bluetooth, BLE, mikrolokacija, iBeacon, Android, iOS, Apache Cordova, Ruby on Rails, Ruby, JavaScript, mobile development