

Metode za lociranje objekata u prostoru pomoću bežičnih komunikacijskih modula

Mostarac, Irena

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:200:993078>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-10**

Repository / Repozitorij:

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



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

Sveučilišni studij

METODE ZA LOCIRANJE OBJEKATA U PROSTORU
POMOĆU BEŽIČNIH KOMUNIKACIJSKIH MODULA

Diplomski rad

Irena Mostarac

Osijek, 2019.

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Zadatak diplomskog rada.....	2
2. BLUETOOTH.....	3
2.1. Razvoj Bluetootha	4
2.2. Obilježja Bluetootha	6
2.3. Bluetooth umrežavanje	7
3. MJERENJE UDALJENOSTI	8
4. ODREĐIVANJE KOORDINATA	10
5. BLUETOOTH ODAŠILJAČ.....	17
5.1. Kućna izrada Bluetooth odašiljača	17
5.2. Džepni odašiljač	22
6. REZULTATI MJERENJA.....	27
7. ZAKLJUČAK	47
LITERATURA.....	50
SAŽETAK.....	52
ABSTRACT	52
ŽIVOTOPIS	53
PRILOG	54
P.6.1. Rezultati mjerenja.....	54

1. UVOD

Poznate metode lociranja kao što su GPS, Galileo ili GLONASS rade preko satelita postavljenih u svemiru te njihovo korištenje je dostupno svima. Problem nastaje kada ne postoji optička vidljivost između satelita i uređaja koji se locira. Vidno polje se najčešće gubi u zatvorenim prostorima stoga je za određivanje lokacije uređaja u zatvorenom prostoru potrebno osmisliti drugačiji sustav.

Jedan takav sustav izrađen je i ispitan u okviru ovog diplomskog rada. Na osnovu tri uređaja koji funkcioniraju kao Bluetooth odašiljači te udaljenosti između njih i mobilnog uređaja se određuje lokacija mobilnog telefona.

Bluetooth odašiljač je izveden uz pomoć nRF24101 i Arduina UNO-a, dok se lociranje mobilnog uređaja vrši preko mobilne aplikacije. Model je izveden uz pretpostavku da odašiljači šalju kružne signale oko sebe te u točki sjecišta triju kružnica načinjenih od odašiljača se nalazi mobilni uređaj. Detekcija udaljenosti se temelji na jačini Bluetooth signala koji ovisi o sredstvu kroz koje se prostire. Sredstvo prostiranja bi trebalo biti homogeno u okolini gdje se vrši lociranje, stoga se očekuju promjene ukoliko postoji prepreka između odašiljača i mobilnog uređaja koji igra ulogu prijemnika u sustavu. U slučaju prepreka se očekuju lošiji rezultati u vidu pomaka, određivanja netočne lokacije ili apsolutne nemogućnosti određivanja bilo kakve lokacije kao da uređaj nije u okolini dometa. Odašiljač ima teoretski domet preko 50 m ako postoji optička vidljivost, ali će mjerenja biti izvršena u znatno manjim prostorijama u cilju rješavanja problema ako ne postoji optička vidljivost.

Rad se sastoji od 7 poglavlja. U prvom poglavlju je opisano kako se došlo do teme diplomskog rada. Drugo poglavlje opisuje razvoj Bluetootha, njegova obilježja i način umrežavanja. Kako izračunati udaljenost između Bluetooth odašiljača i prijemnika je opisano u trećem poglavlju. Nakon izračuna udaljenosti, u četvrtom poglavlju je opisan način lociranja uređaja u prostoriji. U petom poglavlju su opisani korišteni Bluetooth odašiljači. Kada su izvršenja mjerenja u šestom poglavlju su prikazani rezultati s pripadajućim zaključcima. U posljednjem, sedmom, poglavlju je donesen zaključan na temelju ukupnih mjerenja.

1.1. Zadatak diplomskog rada

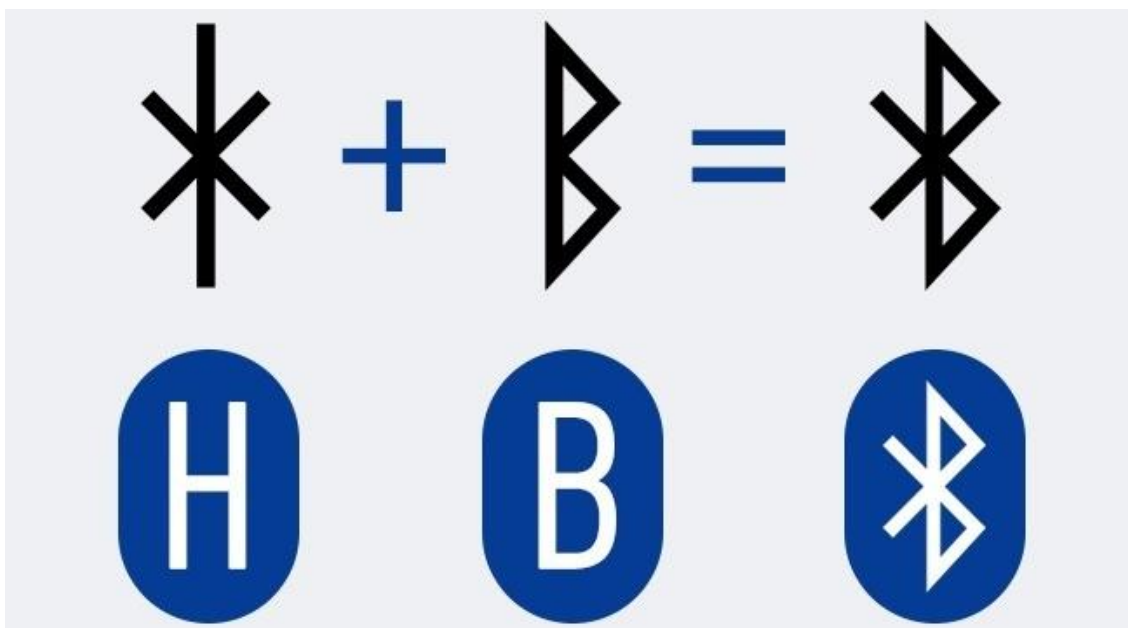
Istražiti i ispitati izvedivost sustava za lociranje objekata u prostoru primjenom komercijalno dostupnih tehnologija (Bluetooth, WiFi, itd.).

2. BLUETOOTH

Nakon razvoja mobilnih uređaja i interneta, bežične mreže su najveće tehnološko otkriće. Bežične mreže omogućavaju razmjenu informacija, očitavanje senzora, upravljanje uređajima bez fizičke povezanosti. Tako se ubrzava i olakšava proces povezivanja uređaja u mreži. Neki od protokola kratkog dometa koje koriste bežične mreže su: Wi-Fi, ZigBee, UWB, Bluetooth... Protokoli se razlikuju u nekoliko karakteristika: frekvenciji rada, kapacitetu prijenosa podataka, mogućoj udaljenost između uređaja, sigurnosti podataka, mrežnoj topologiju te potrošnji.

Temelji se na odašiljanju radio valova na kratkim udaljenostima kao bi se zamijenila uloga kablova u okolini računala kao što su miš, tipkovnica, pisac. Mala okolina u kojoj djeluje Bluetooth oko računala se naziva bežična osobna mrežna okolina (engl. *Wireless Personal Area Network, WPAN*).

[1]



SL. 2.1. Razvoj Bluetooth loga [2]

Bluetooth ime nastalo po danskom kralju Haraldu Bluetoothu Gormssonu. Prva oznaka je nordijsko slovo H, druga oznaka nordijsko slovo B. [2]

2.1. Razvoj Bluetootha

U Bluetooth 1.0 i 1.0B verziji su postojali mnogi problemi. Prva poteškoća je bilo nerazumijevanje proizvoda. Drugi problem je bio obavezan prijenos adrese pri povezivanju. Onemogućavanje anonimnosti je bila velika prepreka za planirane upotrebe Bluetootha.

Kod Bluetooth 1.1 su ispravljene mnoge pogreške. Dodana je mogućnost nekodiranih kanala te pokazatelj jakosti primljenog signala (engl. *Received Signal Strength Indicator, RSSI*).

Glavna poboljšanja Bluetooth 1.2 su: brže spajanje i pronalaženje, otpornost na radiofrekvencijske smetnje u skočnom slijedu, brzine prijenosa do 721 kbit/s. Proširene su sinkrone veze koje su doprinijele kvaliteti glasa kod zvučnih veza te bolji prijenos podataka. [3]

Bluetooth 2.0 + EDR ima poboljšanu brzinu podataka (engl. *Enhanced Data Rate, EDR*). Sukladan s prethodnom generacijom. Brzina prijenosa je 3 Mbit/s. Koristi se kombinacija nekoliko modulacija: GFSK (engl. *Gaussian Frequency-Shift Keying*), PSK (engl. *Phase-Shift Keying*), DQPSK (engl. *Differential Quadrature Phase-Shift Keying*) i 8-DPSK(engl. *Differential Phase-Shift Keying*).

Glavna značajka Bluetooth 2.1 + EDR verzije je sigurnost jednostavnog uparivanja. Time se dobilo poboljšanje iskustva rada s Bluetoothom, povećala korisnost i razina sigurnosti. Omogućeno je filtriranje uređaja prije povezivanja.



Sl. 2.2. Ultra mali 3.0 Bluetooth USB [4]

Bluetooth 3.0 + HS ima teorijsku vrijednost brzine 24 Mbit/s, ali realna brzina nije ni približna. Dio specifikacije za velike brzine HS (engl. *High Speed*) nije obavezan, nego ga podržavaju samo uređaji koji prikazuju tu oznaku. Za početnu konekciju, otkrivanje uređaja i konfiguraciju se i dalje koristi Bluetooth radio, ali se za velike količine podataka koristi alternativni brzi MAC PHY (engl. *Medium Access Control Physical Layer*). Uklanjanjem kontrole snage otvorene petlje se poboljšava kontrola snage tako što je uvedeno očekivano ponašanje. [5]

Bluetooth 4.0 razvija potpuno novi skup protokola za brzu izgradnju jednostavnih veza. Namijenjen je aplikacijama vrlo male snage te se duže vrijeme koristi naziv BLE (engl. *Bluetooth Low Energy*), a kasnije naziv pametni Bluetooth (engl. *Bluetooth Smart*) jer se povezuje na pametne uređaje. BLE znatno smanjuje potrošnju i troškove održavanja što produžava trajanje baterije.

Bluetooth 4.1 povećava podršku za LTE (engl. *Long Term Evolution* – dugoročna evolucija), omogućuje uređajima podržavanje više uloga što pomaže programerima. Ova generacija je inkrementalno razvijala programsku podršku, bez razvijanja sklopovlja.

Kod Bluetooth 4.2 su glavna poboljšanja niskoenergetska sigurnost s produženjem duljine paketa, privatnost veze se povećala proširenjem pravila filtra. IPSP (engl. *Internet Protocol Support Profile* – profil podrške za internetski protokol). [6]



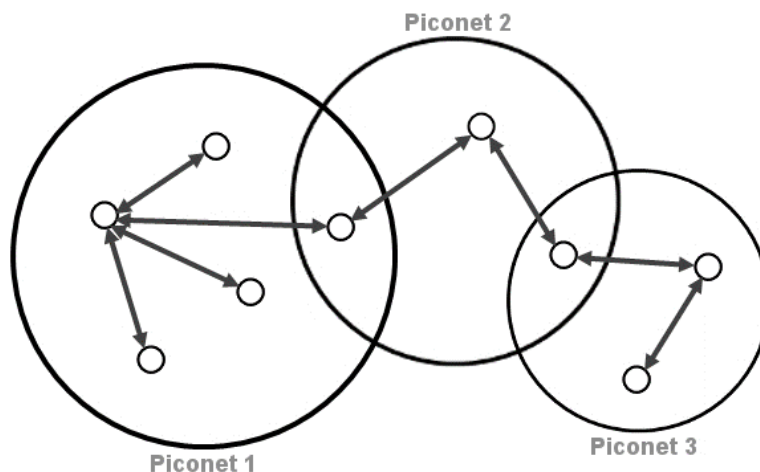
Sl. 2.3. Bluetooth slušalice [7]

Bluetooth 5 se usmjerava na novu tehnologiju interneta objekata (engl. *Internet of Things*). Postoji mogućnost udvostručenja brzine ako se žrtvuje širina pojasa. Povećanje prijenosa je važno za uređaje interneta objekata gdje se svi uređaji povezuju u čvorove po cijeloj kući.

Poboljšanja koja donosi Bluetooth 5.1 su kutovi dolaska i odlaska koji služe za lociranje i praćenje uređaja, mehanizam ažuriranja točnosti stanja mirovanja, javljanje slučajeva kršenja pravila, periodični prijenos sinkronizacije oglašavanja. U ovoj verziji su uklonjeni jedinstveni ključevi. [6]

2.2. Obilježja Bluetootha

Prema IEEE specifikacijama Bluetooth protokol nosi oznaku 802.15.1. Radi na frekvenciji od 2,4 GHz, a maksimalna brzina podataka iznosi 1 Mbit/s. Normalni doseg signala je 10 m, a u ovisnosti o uređaju i antenama koje posjeduje doseže i do 200 m. Snaga T_x se kreće od 0-10 dBm-a što je jako mali iznos zbog čega se Bluetooth naziva i niskoenergetskim. Jedini od protokola kratkog doseg koriste Gaussovu modulaciju frekvencijskog pomaka (FHSS), kao što jedini i prostire val širenjem spektra frekvencijskim skokom. Autentikacija se vrši preko zajedničke tajne umreženih uređaja, a podatci se štite 16-bitnim CRC-om. Uređaji mogu biti umreženi u pikomrežama (mreža unutar pojedinog kruga na slici 2.4.) ili u raspršenim mrežama (Slika 2.4.).



Sl. 2.4. Prikaz pikomreža u raspršenoj mreži

2.3. Bluetooth umrežavanje

Bluetooth označava vrstu bežične komunikacije između dva ili više uređaja. Komunikacija se odvija na način da postoje podređeni i nadređeni (engl. *master-slave*) uređaji u mreži.

Pikomrežu (engl. *piconet*) je ad hoc mreža koja povezuje korisničku grupu uređaja preko Bluetooth protokola. Sastoji se od dva ili više uređaja koji zauzimaju isti fizički kanal. Mrežu formira nadređeni uređaj nad svim podređenim uređajima. U mreži može postojati samo jedan nadređeni dok podređenih može biti više od jednog. Frekvencija skoka pojedine mreže se definira adresom nadređenog. Podređeni uređaji rade sinkrono koristeći sinkronizacijski otkucaj nadređenog uređaja. Komunikacija se provodi od točke do točke na način da svaki podređeni komunicira samo s nadređenim, a nadređeni može slati od točke do točke ili u sve točke istovremeno. Podređeni uređaji osim aktivnog stanja, mogu imati i stanje pripravnosti kako bi smanjili potrošnju.

Raspršena mreža je skup Bluetooth pikomreža koje se preklapaju u vremenu i prostoru. Dvije pikomreže mogu biti spojene u jednu raspršenu mrežu. Uređaj može istovremeno sudjelovati u više pikomreža što dovodi do mogućnosti protoka informacija izvan područja pokrivanja jedne pikomreže. U raspršenoj mreži uređaj može biti podređen u nekoliko pikomreža, a nadređen samo u jednoj od njih. [1]

3. MJERENJE UDALJENOSTI

Za mjerenje udaljenosti između Bluetooth uređaja u ovom radu je korištena Android aplikacija Bluetooth Low Energy Sample [8]. Kod aplikacije je napravljen u java programskom jeziku te je nadopunjen u integriranom razvojnom okruženju Android Studio. Aplikacija je prvobitno samo pronalazila sve uređaje u Bluetooth okolini, ispisivala njihovo ime, MAC adresu i te jakost signala. Iz jakosti snage pojedinog uređaja, preko matematičke formule za udaljenost je izračunata udaljenost između odašiljača i prijemnika bluetooth signala.



Unknown Device

AC:23:3F:26:E1:73

0,45 m

-62 db



SI.3.1. Prikaz podataka za pojedini uređaj

$$d = 10^{\frac{P_{1m} - RSSI}{10 \cdot N}} \quad (3-1)$$

Udaljenost između Bluetooth uređaja predstavlja oznaka d (engl. *Distance*), a mjerna jedinica je metar. P_{1m} označava iznos snage Bluetooth odašiljača na udaljenost od 1 m. RSSI (engl. *Received Signal Strength Indicator*) označava iznos izmjerene jačine signala. Kreće se u iznosima od -26 dBm do -100 dBm. Signal se za vrijednosti manje od -100 dBm, smatra beskorisnim. Teorijska vrijednost P_{1m} je -69 dBm-a. N je konstanta koja ovisi o karakteristikama okoliša, a poprima vrijednosti od 2 do 4. Zbog slobodnog prostora pri mjerenjima N poprima vrijednost 2. [9]

```
double fraction = (double) (-69 - rssi) / 20;  
double distance = Math.pow(10.0, fraction);  
deviceDistance.setText(df2.format(distance) + " m");
```

Iznad se nalazi dio java koda kao dodatak aplikaciji [8] kako bi se izračunala udaljenost od svakog vidljivog uređaja. Udaljenost se zaokružuje na 2 decimalna mjesta funkcijom:

```
public static DecimalFormat df2 = new DecimalFormat ("#.##");
```

Pretpostavljeni smjer kretanja Bluetooth signala od odašiljača je radijalan. Stoga se prikaz signala vrši po formuli:

$$(x - p)^2 + (y - q)^2 = r^2 \quad (3-2)$$

Udaljenost po apscisi je x , udaljenost po ordinati je y , p je oznaka ishodišta kružnice u odnosu na apscisu, q je oznaka ishodišta kružnice u odnosu na ordinatu, a r je radijus kružnice.

4. ODREĐIVANJE KOORDINATA

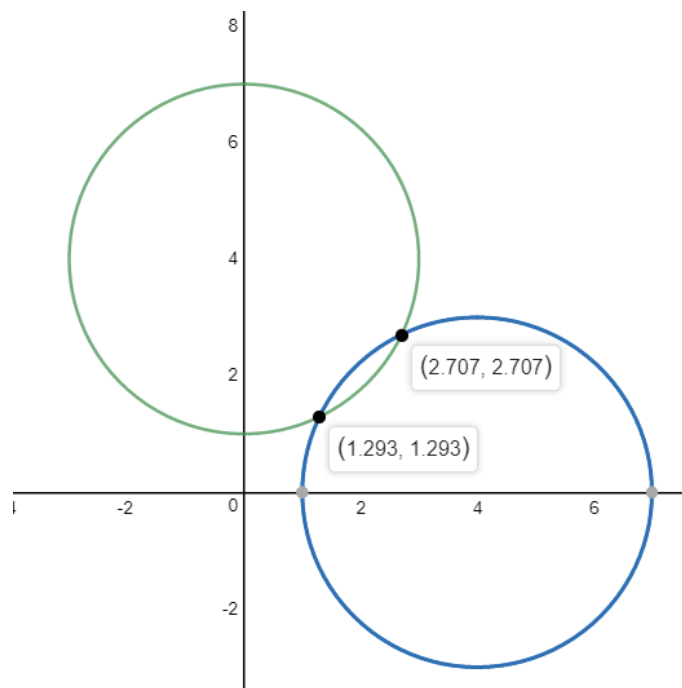
Kada se postavje tri identične jednačbe za tri odašiljača pri čemu se razlikuju samo ishodišne točke kružnice te se izmjeri udaljenost mobilnog uređaja od odašiljača koja predstavlja radijus signala mogu se odrediti koordinate mobilnog uređaja $T(x, y)$.

Pošto se uređajima unaprijed zna lokacija postavljanja, udaljenosti od pojedinog uređaja su se prosljeđivale u r po dolje navedenom kodu.

```
if(name.equals("Beacon1") || adress.equals("AC:23:3F:26:E1:73")) r1=distance;  
if(name.equals("Beacon2") || adress.equals("AC:23:3F:26:E1:6F")) r2=distance;  
if(name.equals("Beacon3") || adress.equals("AC:23:3F:26:E1:70")) r3=distance;  
if(name.equals("Beacon4") || adress.equals("AC:23:3F:26:E1:74")) r4=distance;  
if(name.equals("Beacon5") || adress.equals("AC:23:3F:26:E1:6D")) r5=distance;
```

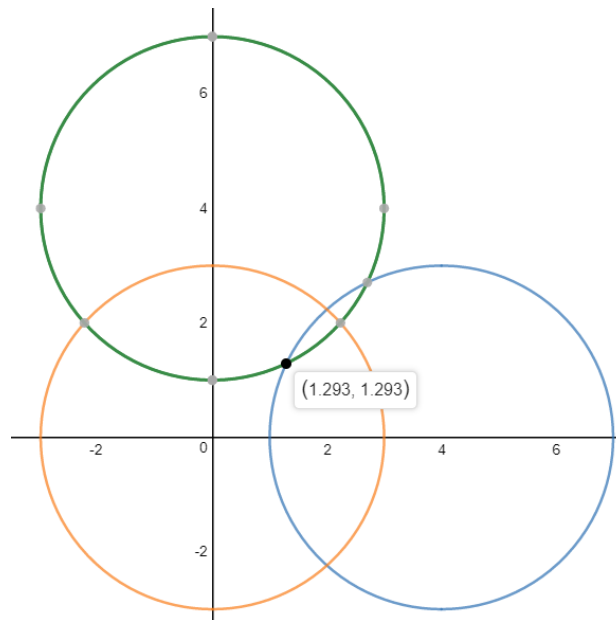
Ako su u mjerenju upotrijebljena 3 uređaja, koordinate se određuju na način:

Pronađu se sjecišta dviju kružnica (Slika 4.1.).



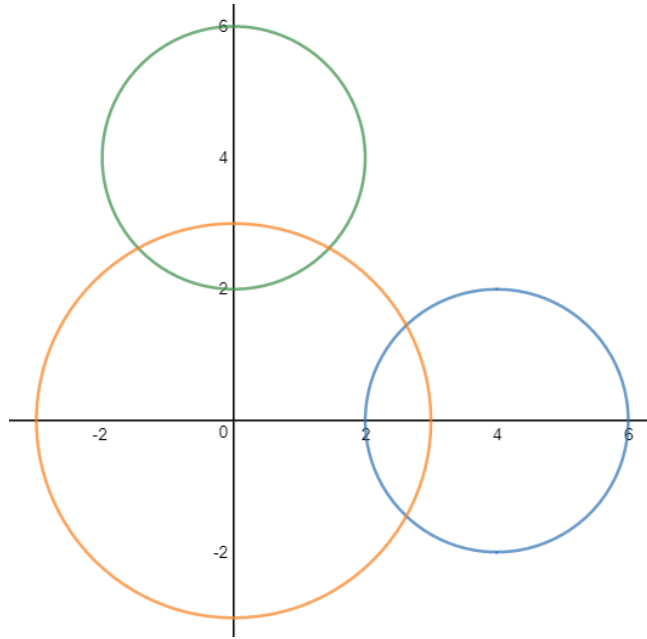
Sl. 4.1. Sjecišta dvije kružnice

Za lokaciju se izabere ona točka sjecišta koja se nalazi unutar radijusa (narančasti) trećeg odašiljača. (Slika 4.2.)



Sl. 4.2. Jedno sjecište kružnica se nalazi unutar radijusa treće kružnice

Ukoliko se obje točke nalaze unutar radijusa, uzima se ona točka koja je bliža radijusu treće kružnice. Ako ne postoji sjecište između 2 kružnice koje se nalazi unutar treće kružnice (Slika 4.3.) ili ako se za sjecište dobiju kompleksne točke rezultat je neodređen i u tablicama je označen s crticom (-).



Sl. 4.3. Nema točka sjecišta

```

y= ( Math.pow(r1,2)-Math.pow(r3,2)+Math.pow(y3, 2) ) / ( 2*y3 ) ;
a=Math.sqrt(Math.pow(r1,2)-Math.pow(y,2) ) ;
b=-Math.sqrt(Math.pow(r1,2)-Math.pow(y,2) ) ;

dd1=Math.sqrt(Math.pow((x2-a),2)+Math.pow((y2-y),2) ) ;
dd2=Math.sqrt(Math.pow((x2-b),2)+Math.pow((y2-y),2) ) ;

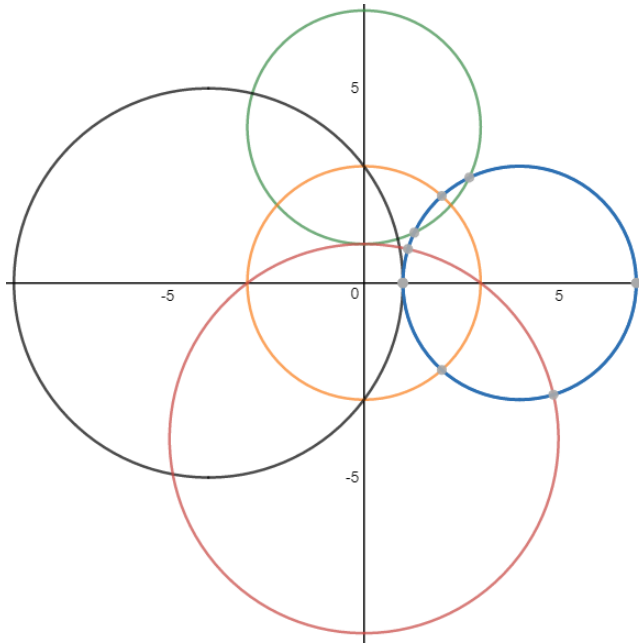
if(Math.pow(dd1,2) < Math.pow(r2,2) ) {
    j=Math.pow(r2,2)-Math.pow(dd1,2) ;
}
else if(Math.pow(dd2,2) < Math.pow(r2,2) ) {
    k=Math.pow(r2,2)-Math.pow(dd1,2) ;
}
else{
    x=0;
    y=0;
}

if(j>k) {
    x=a;
}
else{
    x=b;
}

```

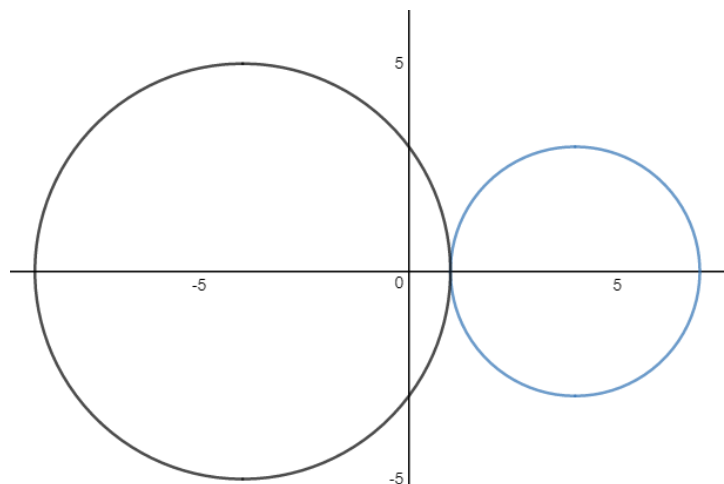
Radi jednostavnosti izvođenja formula za pojedinu lokaciju, koordinatni sustav je podešavan tako da se uvijek jedan uređaj nalazi u ishodištu. Uređaj u ishodištu je uvijek označen s indexom 1.

Kada se postavi sustav s pet Bluetooth odašiljača (ili više) određivanje lokacije mobilnog uređaja se vrši malo drugačije. Na slici 4.4. su prikazane kružnice s radijusima udaljenosti mobilnog uređaja od odašiljača. Postoji više sjecišta koje bi se moglo uzeti za lokaciju mobilnog uređaja, stoga je potrebno odrediti koji odašiljači će se promatrati ako ih je više u okolini.



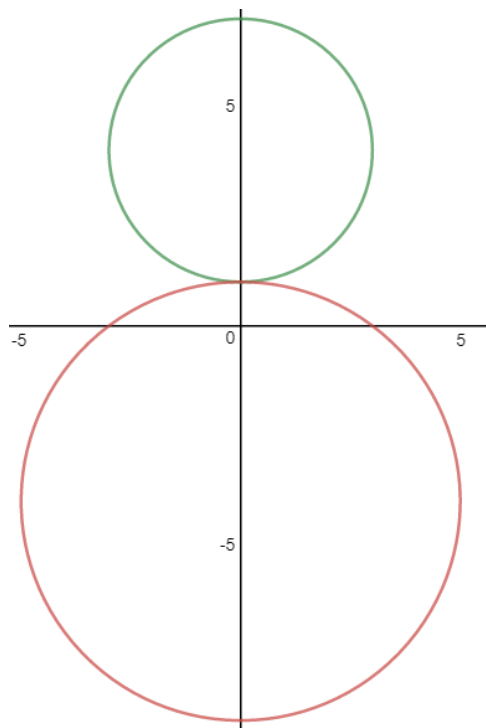
Sl. 4.4. Prikaz svih 5 odašiljača

Prvo se odredi kojoj polovici prostorije na relaciji istok-zapad pripada uređaj što predstavljaju vanjske ili petlje. Za lociranje se koriste bliži odašiljači zbog veće osjetljivosti promjene snage na manjim udaljenostima. Ako je manja udaljenost od najistočnijeg uređaja sortira se u istok stranu (I. i IV. kvadrant), u suprotnom u zapad (II. i III. kvadrant). Ako niti istočni, niti zapadni odašiljač nisu bliže, onda se mobilni uređaj nalazi na središtu između njih (na y-osi).

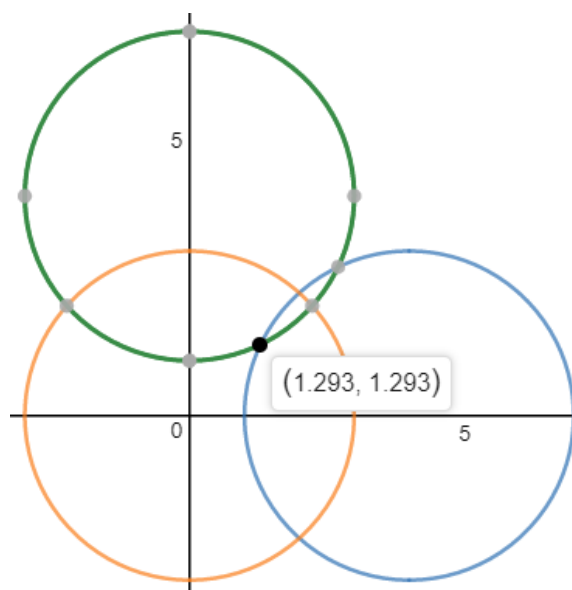


Sl. 4.5. Određivanje pripadnosti uređaja istočnoj ili zapadnoj strani

U potpetlji se određuje pripada li uređaj sjevernoj ili južnoj strani prostorijske kao i za slučaj istok-zapad samo što se upotrebljavaju uređaji sjever-jug.



Sl. 4.6. Odabir sjeverne ili južne strane



Sl. 4.7. Krajnje određivanje lokacije

Kada se zna pripada li uređaj istoku ili zapadu i pripada li sjeveru ili jugu zna se u kojem je kvadrantu mobilni uređaj te koji odašiljači će se koristiti za lociranje. U ovom slučaju to je I. kvadrant. Na slici 4.7. je prikazano kako je na kraju određena lokacija uređaja na koordinatama (1.293, 1.293).

```

if(r2<r4)
{
    x=( (Math.pow(r1,2)-Math.pow(r2,2)+Math.pow(x2, 2)) / (2*x2) );

    if(r3<r5)
    {
        y=Math.sqrt(Math.pow(r1,2)-Math.pow(x,2) );
    }

    else if (r5<r3)
    {
        y=-Math.sqrt(Math.pow(r1,2)-Math.pow(x,2) );
    }

    else y=0;
}

if(r4<r2)
{
    x=( (Math.pow(r1,2)-Math.pow(r4,2)+Math.pow(x4, 2)) / (2*x4) );

    if(r3<r5)
    {
        y=Math.sqrt(Math.pow(r1,2)-Math.pow(x,2) );
    }

    else if (r5<r3)
    {
        y=-Math.sqrt(Math.pow(r1,2)-Math.pow(x,2) );
    }

    else y=0;
}

else
{
    x=0;
    if(r3<r5)
    {
        y=r3+y3;
    }

    else if (r5<r3)
    {
        y=r5+y5;
    }

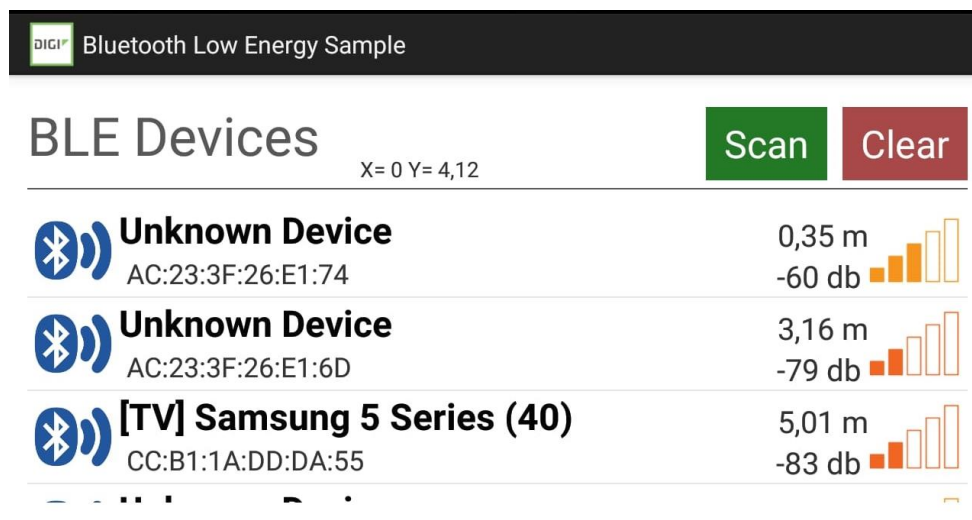
    else y=0;
}

```

Kada se logički odabere u kojem kvadrantu prostorijske se nalazi uređaj, izaberu se 3 najbliža odašiljača te na isti način kao u mjerenjima s 3 odašiljača se odredi lokacija mobilnog uređaja.

Prikaz koordinata u mobilnoj aplikaciji se izgleda samo kao ispis koordinatnih točaka iznad liste odašiljača u blizini.

```
final TextView showCoordinate = (TextView) findViewById(R.id.coordinate);  
showCoordinate.setText("X= "+ df2.format(x)+ " Y= "+df2.format(y));
```



SL.4.8. Prikaz mobilne aplikacije

Aplikacija se može unaprijediti u mnogo smjerova, ali za ova mjerenja je bilo dostatno samo ispis izmjerenih koordinata koje se naknadno uspoređuju sa zadanim koordinatama koje mjeritelj mora poznavati.

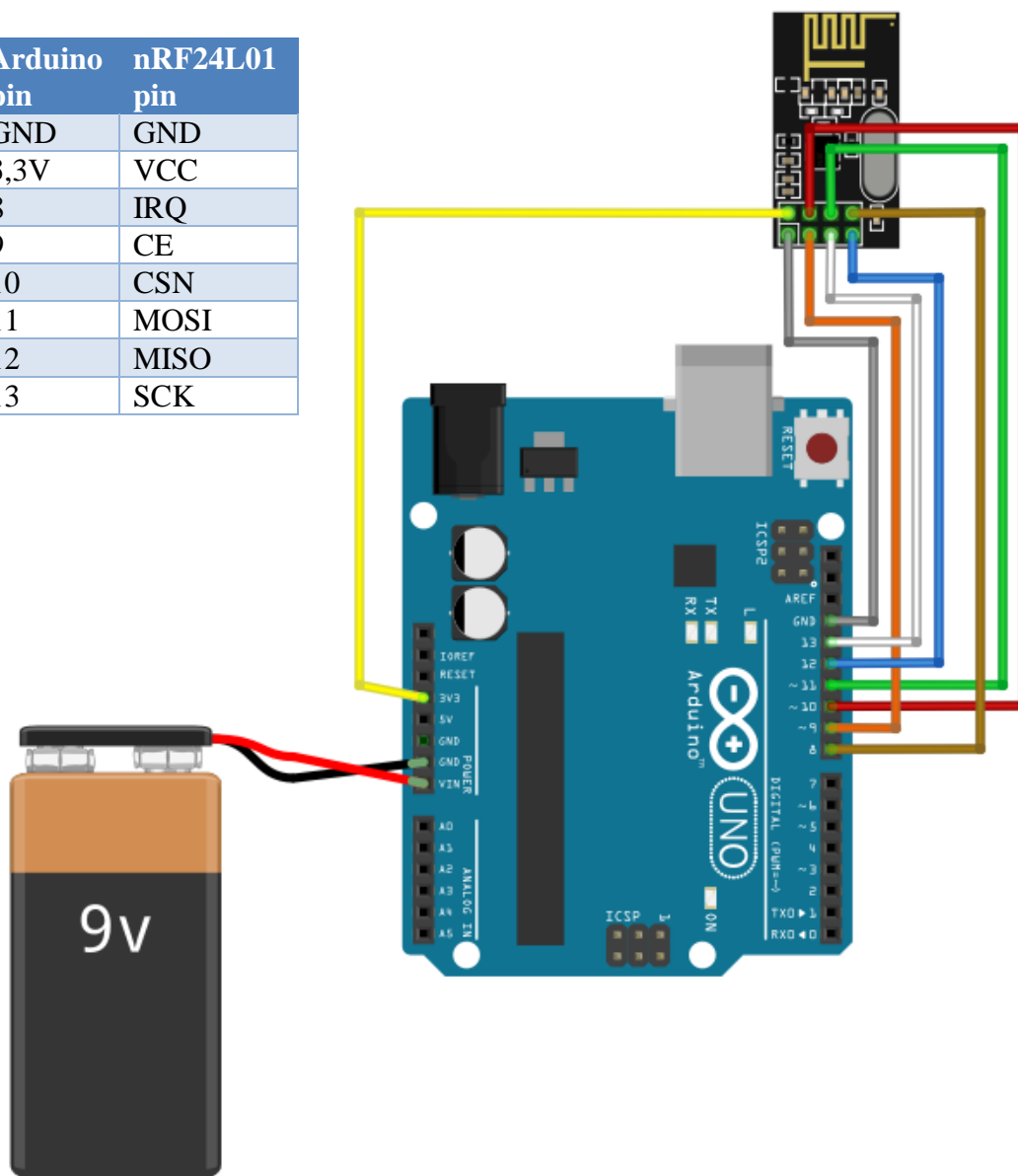
5. BLUETOOTH ODAŠILJAČ

Sustav lociranja je napravljen s 3 ili 5 Bluetooth odašiljača ovisno o mjeranju.

5.1. Kućna izrada Bluetooth odašiljača

Svaki odašiljač se sastoji od istih komponenata: Arduina Uno, nRF24L01, 9 V baterije, te samo promijenjenog naziva u Arduino kodu.

Arduino pin	nRF24L01 pin
GND	GND
3,3V	VCC
8	IRQ
9	CE
10	CSN
11	MOSI
12	MISO
13	SCK



Sl. 5.1. Shema odašiljača

Ako sklop treba raditi kao pravi odašiljač više vremena, potrebno je odrediti koliko dugo će trajati jedna baterija od 9V.

Tab. 5.1. Prikaz iznosa struja, napona i snaga za pojedine komponente

Komponenta	Iznos struje	Iznos napona	Iznos snage
Arduino UNO	200 mA	5 V	3,7 W
nRF24L01	50 mA	3,3 V	165 mW

Ukupna snaga sustava je:

$$P_{uk} = P_{Arduino} + P_{nRF24L01} \quad (5-1)$$

$$P_{uk} = 3,7 \text{ W} + 165 \text{ mW} = 3,865 \text{ W}$$

Ako sustav radi jedan sat, koristit će energiju od:

$$E_{sustava} = P_{uk} \cdot 1 \text{ h} \quad (5-2)$$

$$E_{sustava} = 3,865 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 0,003865 \text{ kWh}$$

U specifikacijama prijenosna baterija ima kapacitet 550 mAh. Stoga, baterija ima energiju:

$$E_{baterije} = C_{baterije} \cdot U_{potrošnje} \quad (5-3)$$

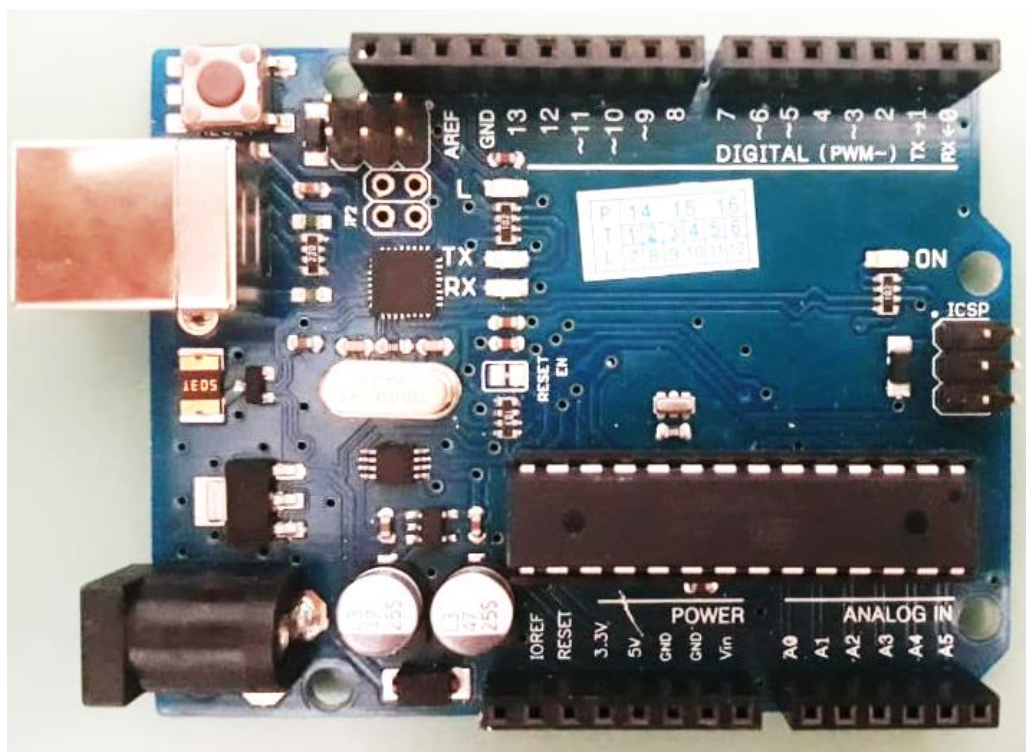
$$E_{baterije} = 550 \cdot 9 = 0,00495 \text{ kWh}$$

Iznos energije sustava je oko 1,3 puta manji od energije baterije. Što znači da sustav može minimalno raditi sat i 15 minuta. Mjerenja su vršena najmanje nekoliko sati, stoga se dolazi do zaključka kako sustav može raditi znatno dulje nego po proračunu. Pretpostavka je kako zadani kapacitet baterije je minimalni kapacitet, ali da zapravo baterija ima veći kapacitet.

Za izvođenje mnogih fizičkih i logičkih eksperimenata često postoji potreba za kontroliranjem mnogih ulaznih i izlaznih signala. Ti signali se često generiraju ili bilježe putem računalnog softvera ili vanjskog namjenskog hardvera. Obično su namjenski hardvereri skupi i zahtijevaju izradu dodatnog softvera koji će ga kontrolirati.

Arduino je niskobudžetna pločica otvorena za programiranje, a može biti korisna u mnogo eksperimenata. U slučaju učitavanja koda na pločicu javlja se jedna velika prednost Arduina je što

može raditi neovisno o računalu ili vanjskom programu. Programski kod se učitava preko besplatne platforme Arduino IDE putem USB kabela. Prilikom instalacije kod na Arduino pločicu, pročica se istovremeno i napaja preko USB-a na naponu od 5 V. Osim USB napajanja može se koristiti baterija od 7 do 20 V, a najčešće se koristi 9 V. Pločica se sastoji od 6 analognih i 14 digitalnih ulazno/izlaznih pinova. Od općih pinova sadrži VIN pin koji omogućava napajanje s vanjskim izvorom od 7-20 V, 5 V pin daje 5 V izlazno koji su dobiveni preko regulatora napona, 3,3 V pin koji funkcionira kao i 5 V samo se razlikuje iznos napona i struje, GND pin koji je uzemljenje, IOREF omogućuje rad s referentnim naponima na kojim mikroupravljač radi te RESET koji omogućuje dodavanje mikroprekidača. [10][11]



Sl. 5.2. Arduino UNO

Kod na Arduinu je postavljen samo kako bi se odašiljao Bluetooth signal pa je vrlo jednostavan.

```

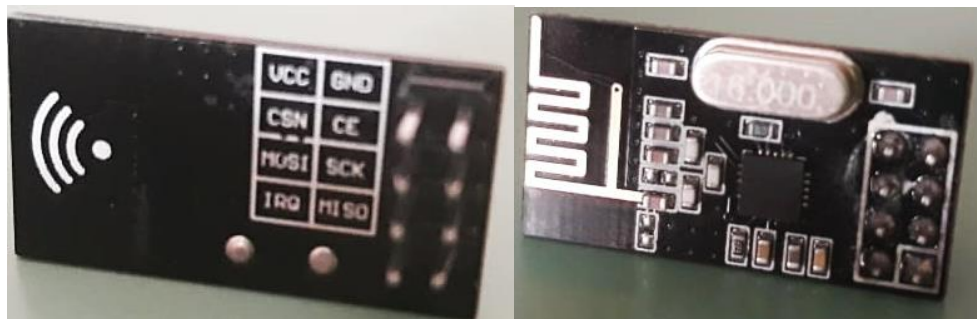
#include "RF24Beacon.h"
#include <SPI.h>
RF24Beacon beacon( 9,10 );
uint8_t customData[] = { 0x01, 0x02, 0x03 };
void setup()
{
  beacon.begin();
  beacon.setMAC( 0x01, 0x02, 0x03, 0x04, 0x05, 0xF6 );
  uint8_t temp = beacon.setName( "Beacon3" );
  beacon.setData( customData, 2 );
}

void loop()
{
  beacon.beep();
  delay( 1000 );
}

```

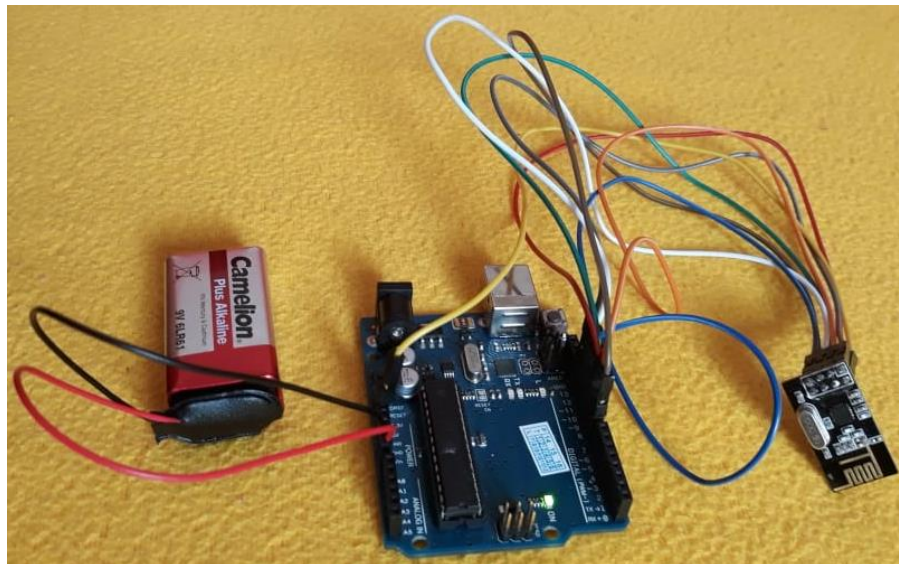
Uključena je dodatna biblioteka RF24Beacon.h [12]. Postavljena je povezanost s nRF modulom. Kako bi se svi uređaji u mreži mogli vidjeti ne smiju imati iste MAC adrese iz tog razloga se za svaki odašiljač zadaje druga adresa te različito ime za lakše raspoznavanje. Postavlja se prilagođena datoteka jer ukupna veličina imena odašiljača i veličine datoteke ne smije biti veća od 14 bajtova. Ime odašiljača iznosi u ovom slučaju 7 bajtova, a za slanje su postavljena 2 bajta tako da sigurno spada u dozvoljenu veličinu. Odašilje se BLE paket svake sekunde.

Arduino nema mogućnost bežične komunikacije. Iz tog razloga u sklop je dodan nRF24L01 radio modul. To je odašiljački čip za globalnu upotrebu besplatnog ISM pojasa na 2,5 GHz. nRF24L01 je također cjenovno prihvatljiv čip koji omogućava vrlo visoke brzine prijenosa (do 2Mbit/s) pri vrlo niskoj potrošnji.



Sl. 5.3. nRF24L01 (lijevo - pogled odozdo, desno - pogled odozgor)

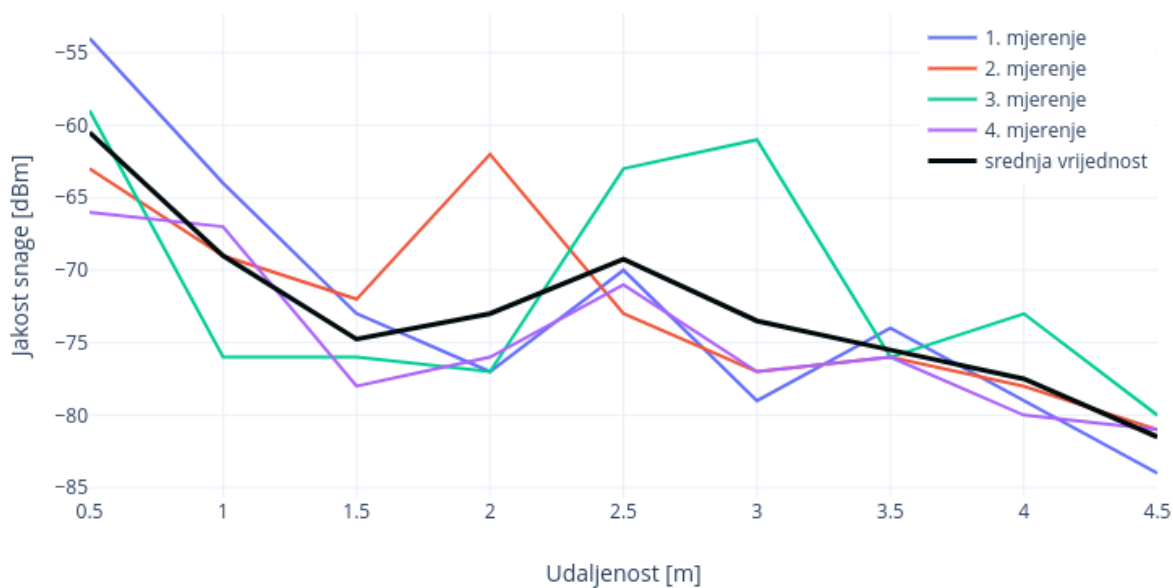
Sastoji se od potpuno integriranog sintetizatora frekvencije, pojačala snage, kristalnog oscilatora, demodulatora, modulatora te poboljšane otpornosti na udarce. Hardversko rješenje čipom MultiCeiver omogućeno je podržavanje komunikacije do 6 bežičnih uređaja istovremeno. Ta karakteristika čini nRF24L01 idealnim za izgradnju bežičnih mreža poput ove u radu. Ima 8 pinova: GND, VCC, CE, CSN, SCK, MOSI, MISO i IRQ. GND se spaja na uzemljenje, VCC na izvor od 3,3 V. CE pin omogućuje aktivaciju Rx ili Tx načina rada. CSN se koristi za spajanje SPI protokola. SCK daje impuls za SPI komunikaciju. MOSI služi za primanje podataka na mikroupravljač i za slanje podataka na podređeni uređaj. MISO dobavlja podatke s podređenog te šalje na nadređeni uređaj. IRQ je aktivno ugašeni pin koji se koristi samo u slučaju potrebe za prekidom. [13] [14] [15]



Sl. 5.4. Odašiljački Bluetooth sklop

Iz slike 5.5. se može uočiti razlika u ponovljenim mjerenjima za isti par odašiljač/prijemnik. Četiri mjerenja su usrednjena aritmetičkom sredinom te se iz krivulje srednje vrijednosti može komentirati opće ponašanje. Snaga signala bi trebala teorijski opadati s povećanjem udaljenosti, ali se to praktično događa u nekim dijelovima. Prvih metar i pol udaljenosti od odašiljača snaga opada, nakon čega se bilježi rast iznosa izmjerene snage do udaljenosti od dva i pol metra, poslije čega opet pada iznos snage. Budući da se mjerenja u srednjem predjelu razlikuju od pretpostavljenih očekuju se mogući problemi na tim udaljenostima.

Ovisnost snage o udaljenosti kod kućne izrade bluetooth odašiljača



Sl. 5.5. Ovisnost snage o udaljenosti kod kućne izrade Bluetooth odašiljača

5.2. Džepni odašiljač

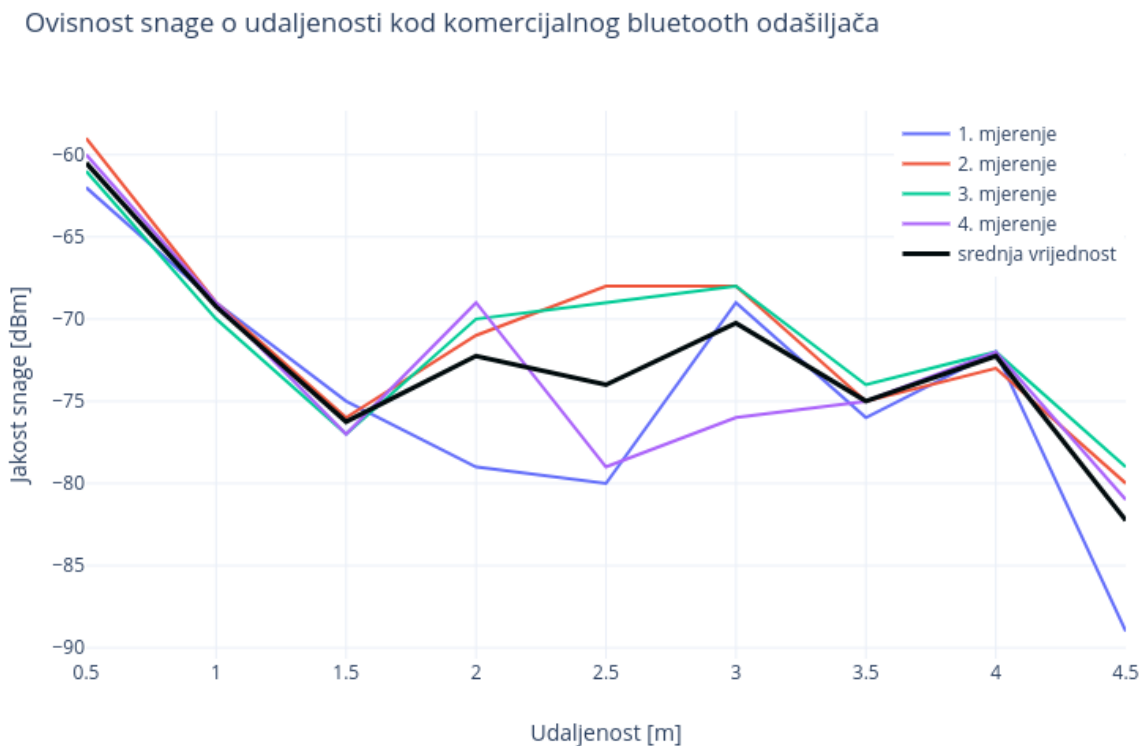
Za usporedna mjerenja s kućnom izradom Bluetooth odašiljača je korišten komercijalni Bluetooth odašiljač tvrtke Beaconstac.



Sl. 5.6. Komercijalni odašiljač

Džepni odašiljači su mali uređaji dimenzija $50 \times 50 \times 15$ mm, mase koja iznosi tek 21 grama. Predviđeni raspon odašiljanja im iznosi od 0,15 do 50 m. Otporni su na prašinu i udarce, a rade na Bluetooth 4.0 protokolu. Sukladni su sa iOS 7.0 pa na više i Andriod 4.3 pa na više sustavima. [16]

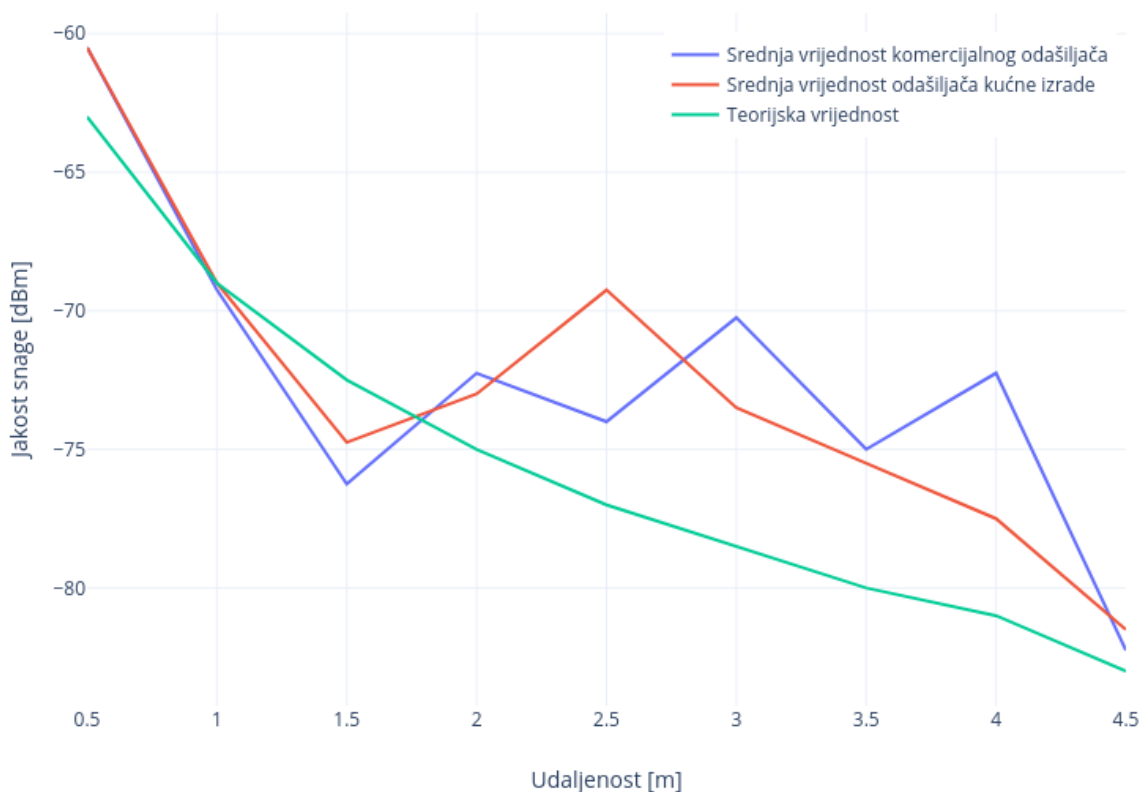
Uređaji su jednostavni za korištenje. Pale se i gase duljim držanjem ON/OFF gumba. Nakon paljenja se javlja signalna lampica poslije čega se u mobilnoj aplikaciji preko Bluetootha može pronaći odašiljač.



Sl. 5.7. Ovisnost snage o udaljenosti kod komercijalnog Bluetooth odašiljača

Snaga komercijalnih odašiljača na određenim udaljenostima, slično kao i kod ručno izrađenih Bluetooth odašiljača, odstupa od teorijskih pretpostavki. Napravljena su 4 mjerenja te usrednjena vrijednost prikazana crnom krivuljom na grafu. Kod komercijalnih modula se razlike još više uočavaju na sredini puta. Prvih metar i pol udaljenosti mobilnog uređaja od Bluetooth odašiljača iznos snage opada, od metar i pol do 4 metra udaljenosti snaga raste, nakon čega snaga opet opada. Ovdje se očekuje problem na većem području.

Usporedba ovisnosti jakosti signala komercijalnog i ručno izrađenog bluetooth odašiljača

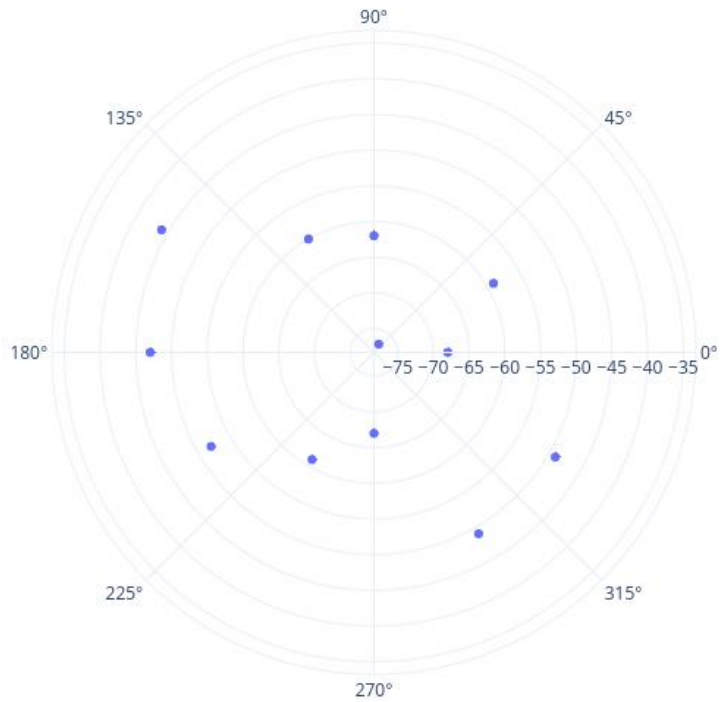


Sl. 5.8. Usporedba ovisnosti jakosti signala komercijalnog i ručno izrađenog Bluetooth odašiljača

Srednje vrijednosti ručno izrađenog Bluetooth odašiljača i srednja vrijednost snage komercijalnog odašiljača se većim dijelom razlikuju od teorijske vrijednosti. Krivulja teorijske vrijednosti poprima niže iznose, osim na putu koji je manji od jednog metra. Početne točke krivulje s teorijskim vrijednostima i krivulje s izmjerenim vrijednostima, kao i krajnje točke tih krivulja, su približne. Problem se javlja na nekim srednjim udaljenostima gdje su odstupanja velika. Kao primjer se može uzeti vrijednost na tri metra kod komercijalnog odašiljača gdje je izmjerena udaljenost jedan metar umjesto tri.



Sl. 5.9. Vodoravni odašiljač

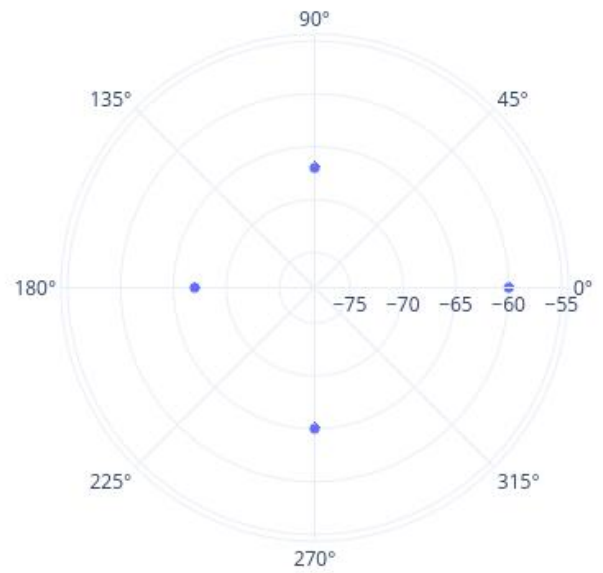


Sl. 5.10. Prikaz iznosa snaga po kutovima
za vodoravni odašiljač

Kada je odašiljač položen vodoravno (Slika 5.9.), snaga u odnosu na kutove se znatno mijenja. Maksimalno odstupanje iznosi preko 40 dBm-a. Iznosi snage nemaju zakonitost promjene po kutovima što se vidi iz raspršenih točaka na slici 5.10.



Sl. 5.11. Uspravni odašiljač



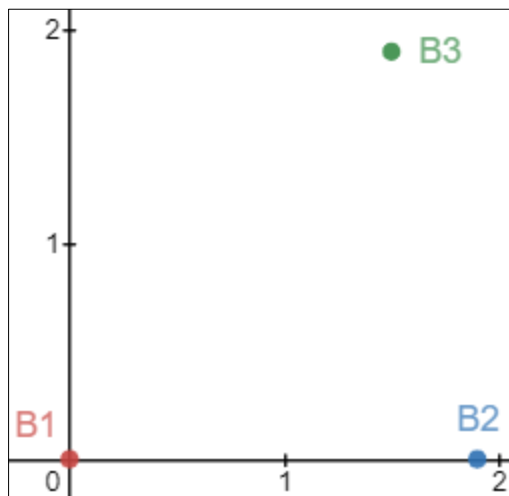
Sl. 5.12. Prikaz iznosa snaga po kutovima za uspravni odašiljač

Ako odašiljač stoji uspravno, kao na slici 5.11., snaga neće pretjerano mijenjati iznos vezano za kut kao što se vidi na slici 5.12. Najveća razlika ne iznosi 7 dBm-a.

6. REZULTATI MJERENJA

Na početku mjerenja su isprobani različiti položaji mobilnog uređaja te nisu uočene razlike. Radi jednostavnosti mjerenja, mjerenja su izvršena pri mogućnosti prolaska direktne zrake odašiljača do mobilnog telefona te u jednakoj razini odašiljača i mobilnog uređaja. Ako bi odašiljači bili na različitoj visini od visine mobilnog uređaja, dodala bi se samo varijabla visine pri izračunu udaljenosti. U svakom mjerenju je zbog jednostavnosti izračuna koordinata postavljen proizvoljan koordinatni sustav s određenim lokacijama odašiljača koje su prikazane slikama od 6.1. do 6.6. Rub slike označava rub prostorije. Pošto niti jedno mjerenje nije dalo potpuno točnu lokaciju, mjerenje se smatra točnim ako se uređaj locirao unutar prostorije i suprotno.

Bluetooth odašiljači za prvo mjerenje su postavljeni u prostoriji veličine $1,9 \text{ m} \times 1,9 \text{ m}$. Odašiljači su postavljeni na lokacijama prikazanim na slici 6.1.



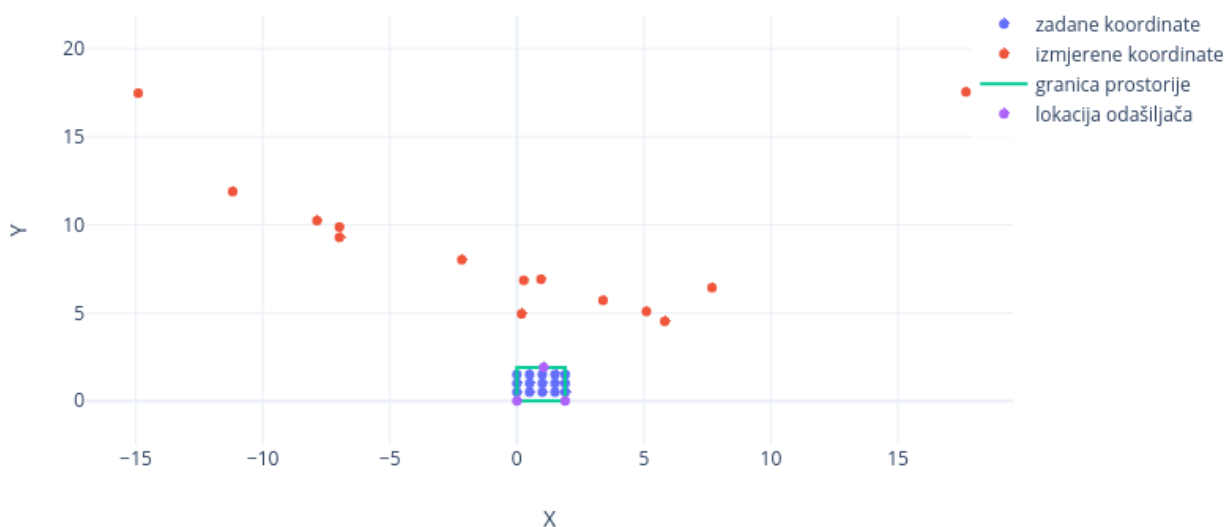
Sl. 6.1. Prikaz lokacije odašiljača u prostoriji za tablicu 6.1.

Tab. 6.1. Kombinacija zadanih i izmjerenih točaka pomoću 3 napravljena sklopa

Zadane koordinate (X,Y)	Izmjerene koordinate (X,Y)	Zadane koordinate (X,Y)	Izmjerene koordinate (X,Y)	Zadane koordinate (X,Y)	Izmjerene koordinate (X,Y)
(0, 0.5)	(-7.87, 10.24)	(0,1)	(5.82, 4.52)	(0,1.5)	(7.68, 6.43)
(0.5, 0.5)	(-2.17, 8.02)	(0.5,1)	(0.27, 6.85)	(0.5,1.5)	(-14.91,17.48)
(1, 0.5)	(17.68, 17.55)	(1,1)	(-11.19,11.89)	(1, 1.5)	(-39.1, 43.03)
(1.5, 0.5)	(0.18, 4.94)	(1.5,1)	(0.95, 6.91)	(1.5, 1.5)	(-6.99, 9.88)
(1.9, 0.5)	(-6.99, 9.29)	(1.9,1)	(5.1, 5.08)	(1.9, 1.5)	(3.39, 5.71)

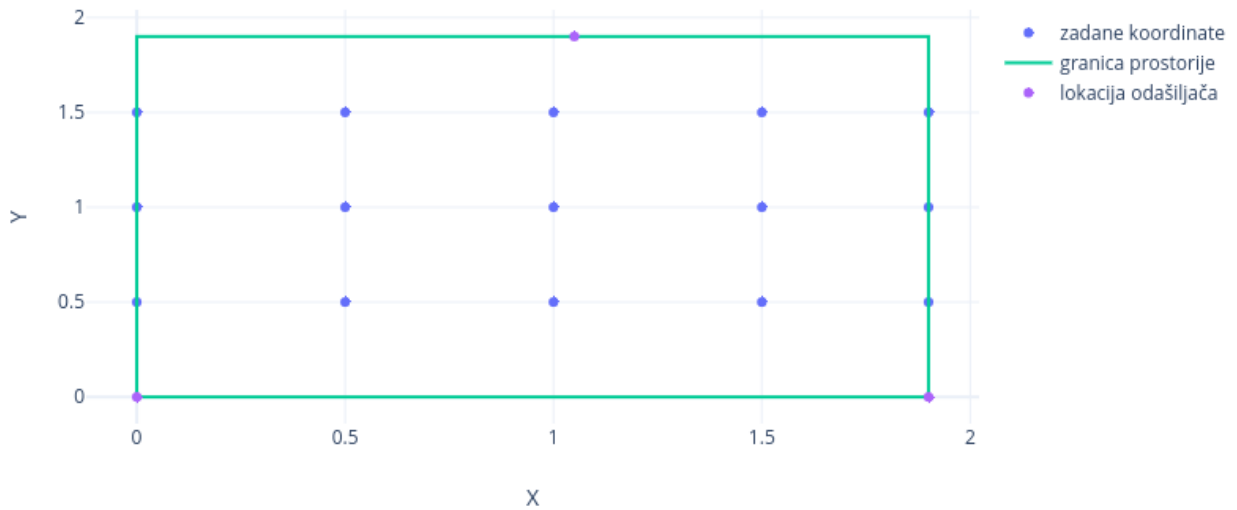
Iz tablice 6.1. se vidi kako niti jedna točka nije ni približno točna. Odstupanja se kreću u odnosu na lokaciju mobilnog uređaja. Kada se mobilni uređaj nalazi u središtu polja sve tri odašiljača pogreška je najveća. Na rubovima polja odstupanja su nešto manja. Netočnost lokacije se kreće od trostruke udaljenosti prostorije do 23 puta veće udaljenosti od veličine prostorije. Rezultati su prikazani i slikom 6.2. kako bilo uočljivija količina i veličina odstupanja. Primjetno je kako izmjerene lokacije nemaju nikakvo pravilno ponašanje.

Dimenzija prostorije: 1.9 × 1.5 m, Broj odašiljača: 3, Vrsta odašiljača: nRF24L01



Sl. 6.2. Prikaz rezultata za tablicu 6.1.

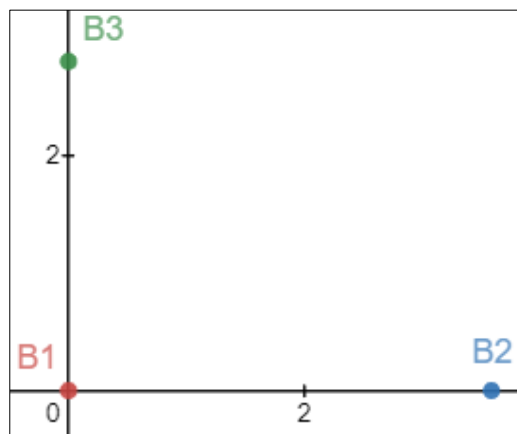
Dimenzije prostorije: 1.9×1.9, Broj odašiljača: 3 (prikaz rezultata unutar prostorije)



Sl. 6.3. Prikaz rezultata za tablicu 6.1. (samo rezultati unutar prostorije)

Na slici 6.3. je izvršen prikaz samo dobivenih rezultata unutar prostorije dimenzije $1,9 \times 1,9$ m. Vidi se kako uopće ni u legendi, a ni na prikazu nema točaka koje označavaju izmjerene lokacije. Takav prikaz ima jednostavno objašnjenje, niti jedno mjerenje nije dalo lokaciju unutar prostorije.

Bluetooth odašiljači su postavljeni u prostoriji veličine $3,6 \text{ m} \times 2,79 \text{ m}$. Odašiljači su smiješeni u prostoriji po rasporedu prikazanom na slici 6.4.



Sl. 6.4. Prikaz lokacije odašiljača u prostoriji za tablice 6.2. i 6.3.

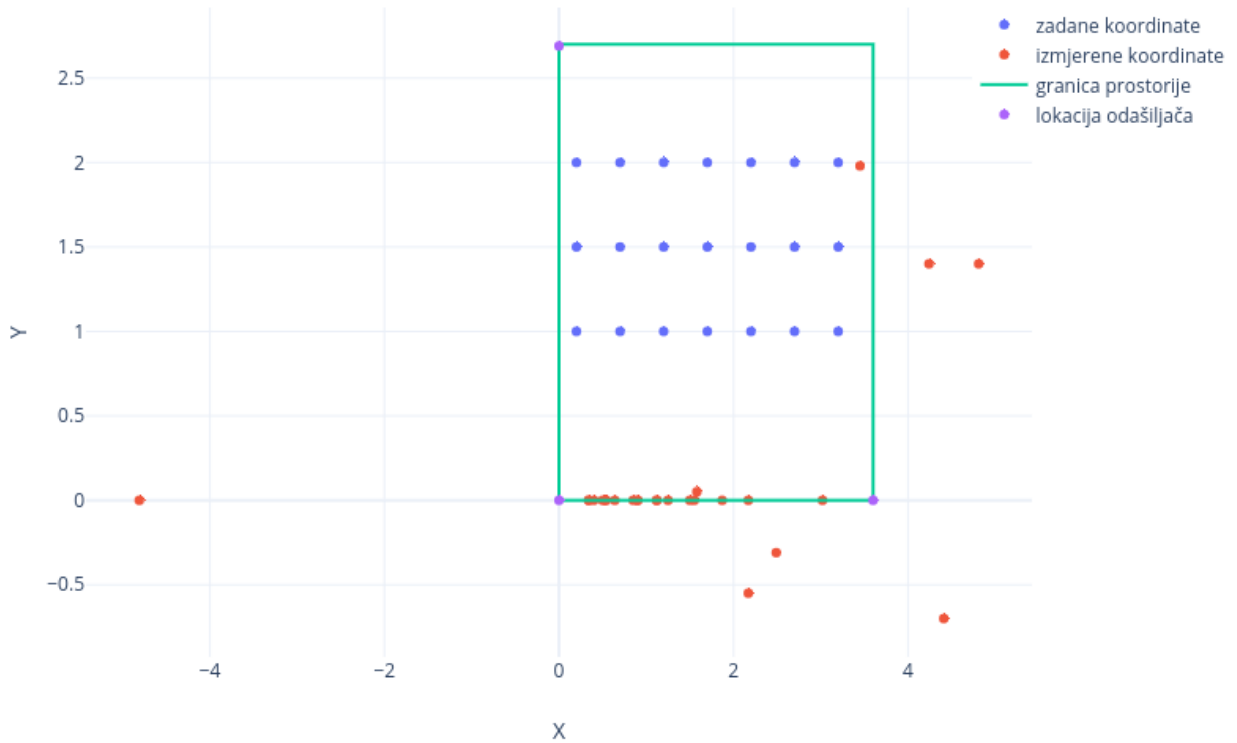
Tab. 6.2. Kombinacija zadanih i izmjerenih točaka pomoću 3 napravljena sklopa

Zadane koordinate (X, Y)	Prvo mjerenje (X, Y)	Drugo mjerenje (X, Y)	Treće mjerenje (X, Y)	Četvrto mjerenje (X, Y)
(0.2, 1)	(-4.81, 0)	(4.81, 1.4)	-	-
(0.7, 1)	-	-	(1.55, 0)	(2.49, -0.31)
(1.2, 1)	-	(0.4, 0)	-	-
(1.7, 1)	-	(1.25, 0)	-	-
(2.2, 1)	-	(2.17, 0)	(2.17, -0.55)	-
(2.7, 1)	-	-	-	-
(3.2, 1)	-	-	(4.24, 1.4)	-
(0.2, 1.5)	-	-	-	-
(0.7, 1.5)	-	-	(1.58, 0.05)	-
(1.2, 1.5)	-	(0.34, 0)	(0.34, 0)	(1.12, 0)
(1.7, 1.5)	(0.54, 0)	(0.53, 0)	-	-
(2.2, 1.5)	-	(0.64, 0)	-	-
(2.7, 1.5)	-	-	-	(1.5, 0)
(3.2, 1.5)	-	-1.13	-	(4.41, -0.7)
(0.2, 2)	-	-	(3.45, 1.98)	-
(0.7, 2)	-	(0.9, 0)	(0.9, 0)	-
(1.2, 2)	-	(0.5, 0)	-	-
(1.7, 2)	(3.02, 0)	-	-	(0.85, 0)
(2.2, 2)	-	-	-	(1.12, 0)
(2.7, 2)	-	-	-	-
(3.2, 2)	-	-	(1.87, 0)	-

U tablicama 6.2. i 6.3. je napravljeno mjerenje za po 21 točku. Za svaku točku su napravljena po 4 mjerenja, što je ukupno 84 mjerenja za pojedinu vrstu uređaja.

Pri mjerenjima s kućnom izradom Bluetooth odašiljača (Tablica 6.2.) za 58 mjerenja se dobio neodređen rezultat, tj. ili ne postoji sjecište između kružnica ili su koordinate kompleksni brojevi. Neka mjerenja su dala koordinate izvan prostorijske, a takvih je samo 6. Radi lakšeg uočavanja netočnih mjerenja, označena su crvenom bojom. Ostala mjerenja su dala koordinate unutar prostorijske. Neke koordinate su bile približnije mjerenoj točki, a neke dalje. Većina koordinata nije približna, ali je zadovoljavajuća s obzirom na činjenicu da je sustav postavljen u prostorijskoj 3,6 m × 2,79 m, a trebao bi biti primijenjen u većim prostorijama. Rezultati su prikazani na slici 6.5. kako bi bilo vidno poboljšanje u odnosu na prošlo mjerenje. Gotovo sve izmjerene lokacije unutar prostorijske se nalaze na x-osi.

Dimenzija prostorije: 3.6×2.79 m, Broj odašiljača: 3, Vrsta odašiljača: nRF24L01



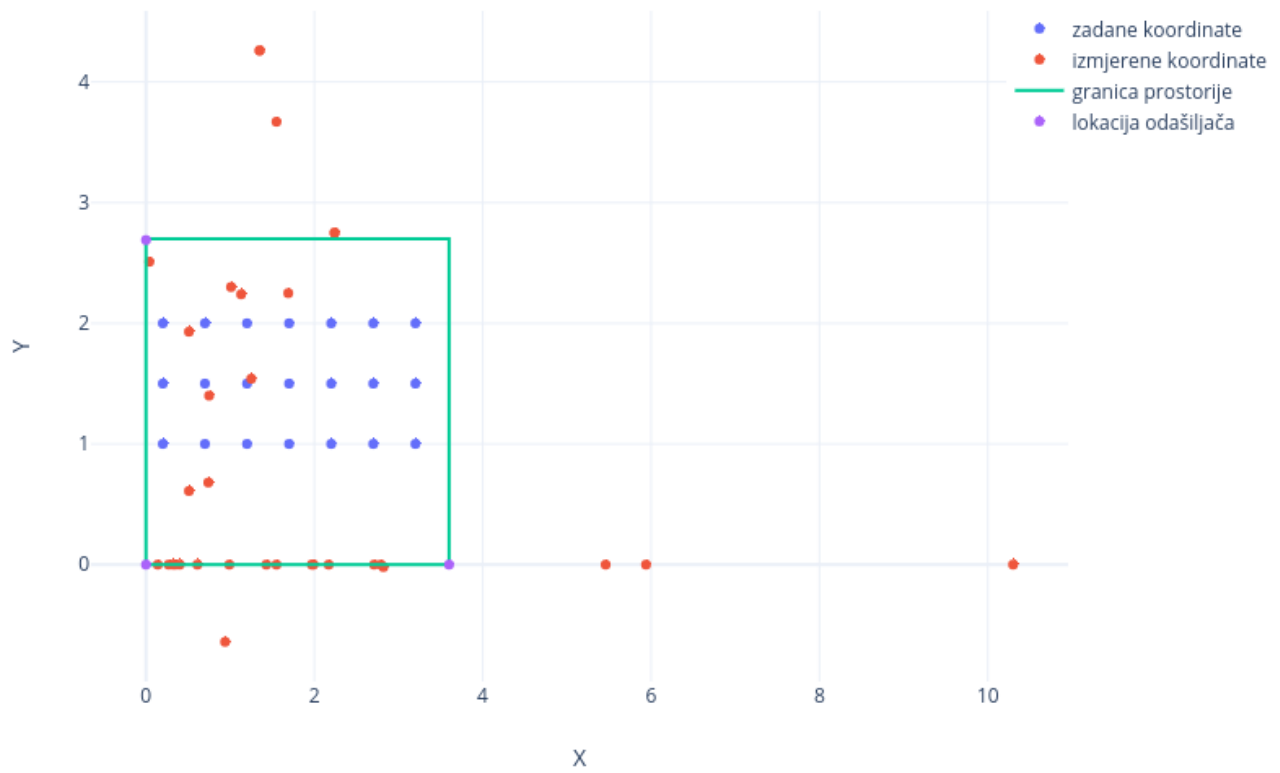
Sl. 6.5. Prikaz rezultata za tablicu 6.2.

Mjerenja s komercijalnim odašiljačima (Tablica 6.3.) su dala 51 neodređenih mjerenja, što je nešto manje nego pri ručno izrađenim Bluetooth odašiljačima, ali su dali 8 rezultata izvan prostorije što je veći broj pogrešnih mjerenja u odnosu na 6 pogrešaka kod mjerenja kućne izrade odašiljača. Dobivene koordinate su u maloj mjeri točnije za mjerenje s nRF24L01 Bluetooth odašiljačem kao što se vidi na slici 6.6. Kao i kod nRF24L01 odašiljača dosta lokacija se nalazi na x-osi, ali jednaka količina lokacija se nalazi i raspršena po cijeloj prostoriji. Točke izvan prostorije nemaju neku posebnu zakonitost ponašanja u odnosu na zadano.

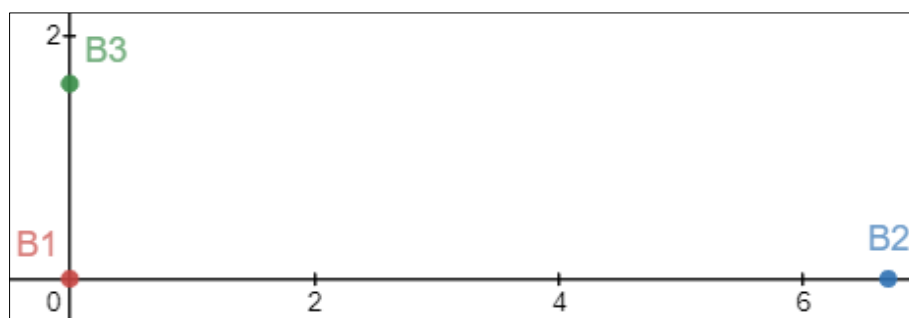
Tab. 6.3. Kombinacija zadanih i izmjerenih točaka pomoću 3 komercijalna odašiljača

Zadane koordinate (X, Y)	Prvo mjerenje (X, Y)	Drugo mjerenje (X, Y)	Treće mjerenje (X, Y)	Četvrto mjerenje (X, Y)
(0.2, 1)	-	(0.4, 0)	(0.61, 0)	(2.17, 0)
(0.7, 1)	-	(0.51, 1.93)	(0.04, 2.51)	(0.32, 0)
(1.2, 1)	-	(0.74, 0.68)	-	-
(1.7, 1)	(1.13, 2.24)	-	-	-
(2.2, 1)	-	-	-	(1.55, 3.67)
(2.7, 1)	-	-	-	-
(3.2, 1)	-	(1.43, 0)	-	(0.14, 0)
(0.2, 1.5)	(1.25, 1.54)	-	-	-
(0.7, 1.5)	-	(0.94, -0.64)	(1.99, 0)	(1.55, 0)
(1.2, 1.5)	(2.24, 2.75)	-	(1.35, 4.26)	-
(1.7, 1.5)	-	-	(1.69, 2.25)	-
(2.2, 1.5)	(1.97, 0)	-	-	(1.01, 2.3)
(2.7, 1.5)	-	(10.3, 0)	-	-
(3.2, 1.5)	-	-	-	(0.51, 0.61)
(0.2, 2)	-	-	-	-
(0.7, 2)	-	-	-	(0.99, 0)
(1.2, 2)	(2.24, 2.75)	-	(1.35, 4.26)	-
(1.7, 2)	-	-	-	-
(2.2, 2)	-	(0.27, 0)	(0.35, 0)	-
(2.7, 2)	(5.94, 0)	(2.82, -0.02)	-	-
(3.2, 2)	(2.76, 0)	(0.75, 1.4)	(5.46, 0)	(2.71, 0)

Dimenzija prostorije: 3.6×2.79 m, Broj odašiljača: 3, Vrsta odašiljača: komercijalni beacon



Sl. 6.6. Prikaz rezultata za tablicu 6.3.



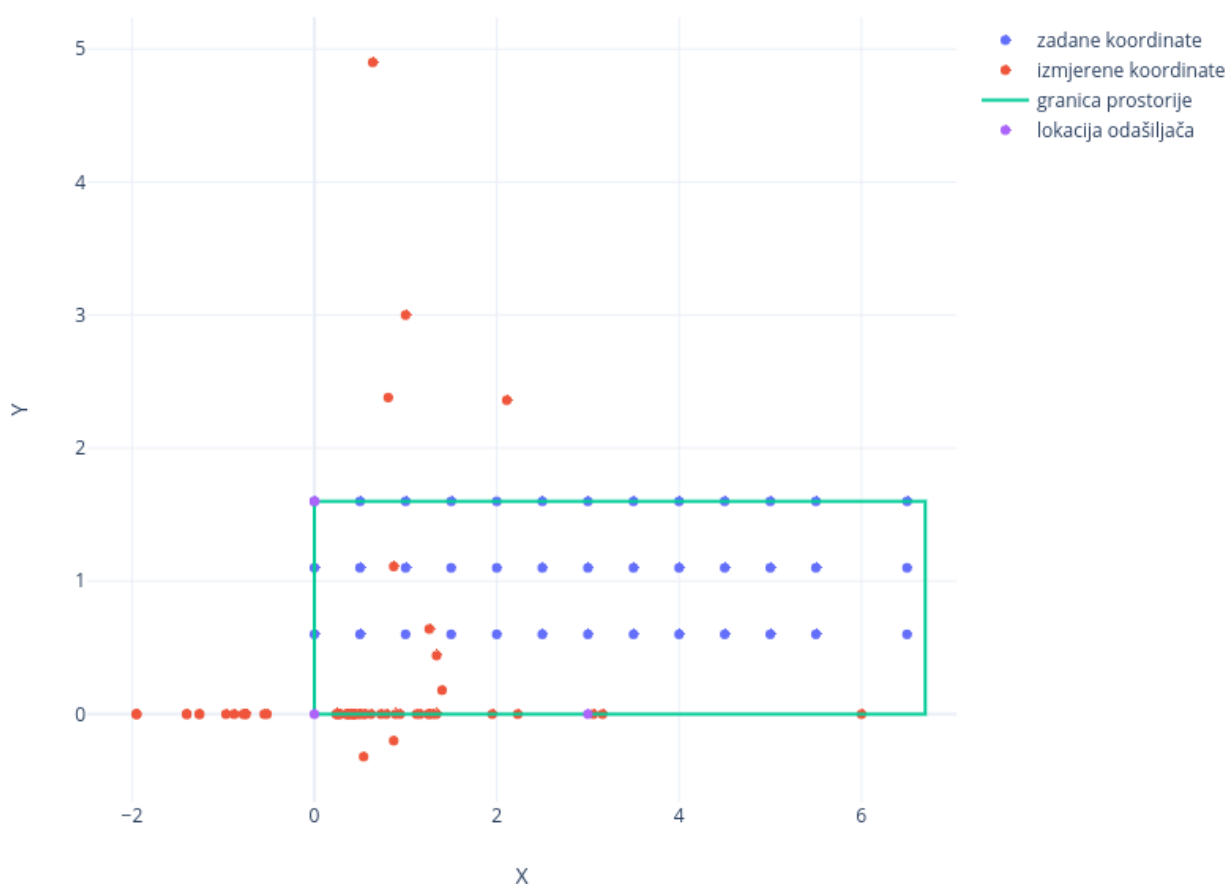
Sl. 6.7. Prikaz lokacije odašiljača u prostoriji za tablice 6.4. i 6.5.

Tab. 6.4. Kombinacija zadanih i izmjerenih točaka pomoću 3 nRF24L01 za prostoriju 6,5 × 1,6 m

Zadane koordinate (X, Y)	Prvo mjerenje (X, Y)	Drugo mjerenje (X, Y)	Treće mjerenje (X, Y)	Četvrto mjerenje (X, Y)
(0, 0.6)	(0.81, 2.38)	(1.12, 0)	-	-
(0.5, 0.6)	(0.25, 0)	-	-	-
(1, 0.6)	-	-	(0.5, 0)	-
(1.5, 0.6)	-	(0.37, 0)	(0.43, 0)	(0.43, 0)
(2, 0.6)	-	-	-	(0.49, 0)
(2.5, 0.6)	(0.39, 0)	(0.37, 0)	-	(3.06, 0)
(3, 0.6)	-	-	-	-
(3.5, 0.6)	-	(-0.78, 0)	-	(-1.4, 0)
(4, 0.6)	-	(-0.88, 0)	(-0.55, 0)	-
(4.5, 0.6)	-	-	-	-
(5, 0.6)	(-0.76, 0)	-	(-0.52, 0)	(-0.75, 0)
(5.5, 0.6)	-	-	(-1.4, 0)	-
(6, 0.6)	(-1.95, 0)	(-1.95, 0)	-	(-1.95, 0)
(6.5, 0.6)	-	-	-	-
(0, 1.1)	-	-	-	-
(0.5, 1.1)	-	-	-	(0.55, 0)
(1, 1.1)	-	-	(0.87, -0.2)	(0.54, -0.32)
(1.5, 1.1)	-	-	-	-
(2, 1.1)	-	-	-	(0.43, 0)
(2.5, 1.1)	-	(0.89, 0)	(0.73, 0)	-
(3, 1.1)	(1.95, 0)	-	-	-
(3.5, 1.1)	(-1.26, 0)	-	-	(-1.26, 0)
(4, 1.1)	(-0.97, 0)	(1.34, 0.44)	(0.87, 1.11)	(1.4, 0.18)
(4.5, 1.1)	(1.26, 0)	(1.16, 0)	(1.3, 0)	(1.26, 0.64)
(5, 1.1)	(0.44, 0)	-	-	-
(5.5, 1.1)	(0.79, 0)	(1.34, 0)	(0.43, 0)	-
(6, 1.1)	-	-	-	-
(6.5, 1.1)	(0.28, 0)	(0.35, 0)	(0.44, 0)	(0.39, 0)
(0, 1.6)	-	-	-	-
(0.5, 1.6)	-	-	-	-
(1, 1.6)	-	-	-	-
(1.5, 1.6)	-	-	(2.11, 2.36)	-
(2, 1.6)	-	-	-	-
(2.5, 1.6)	-	-	-	-
(3, 1.6)	(2.23, 0)	(0.64, 3.49)	-	-
(3.5, 1.6)	-	-	(0.94, 0)	-
(4, 1.6)	-	(1.06, 0)	-	-
(4.5, 1.6)	(0.62, 0)	-	(3.16, 0)	-
(5, 1.6)	(1.25, 0)	-	-	(0.25, 0)
(5.5, 1.6)	-	-	-	-
(6, 1.6)	-	-	(0.28, 0)	(0.24, 0)
(6.5, 1.6)	(0.36, 0)	-	-	(0.55, 0)

Pri promjeni omjera širine i duljine prostorije u kojoj se vrši mjerenje, također se mijenjaju i rezultati mjerenja. Za Bluetooth odašiljač kućne izrade (Tablica 6.4.) od 168 mjerenja 108 mjerenja je neodređeno što je otprilike jednak odnos kao i u prostoriji pretežno kvadratnog oblika. Razlika u lokacijama detektiranim izvan prostorije se pogoršala dvostruko u odnosu na kvadratnu prostoriju, a dogodila se 18 puta. Mjerenja su većinom neodređena, čak njih 64 %, a 11 % mjerenja je pogrešno. Dakle ako se izuzmu neodređena mjerenja, većim dijelom se signalizira ispravno prisustvo mobilnog uređaja u prostoriji što se vidi na slici 6.8. Velika većina izmjerenih lokacija se i dalje nalazi n x-osi, bilo unutar bilo izvan prostorije, iako postoje i točke raspršene po prostoru.

Dimenzija prostorije: 6.5 × 1.6 m, Broj odašiljača: 3, Vrsta odašiljača: nRF24L01



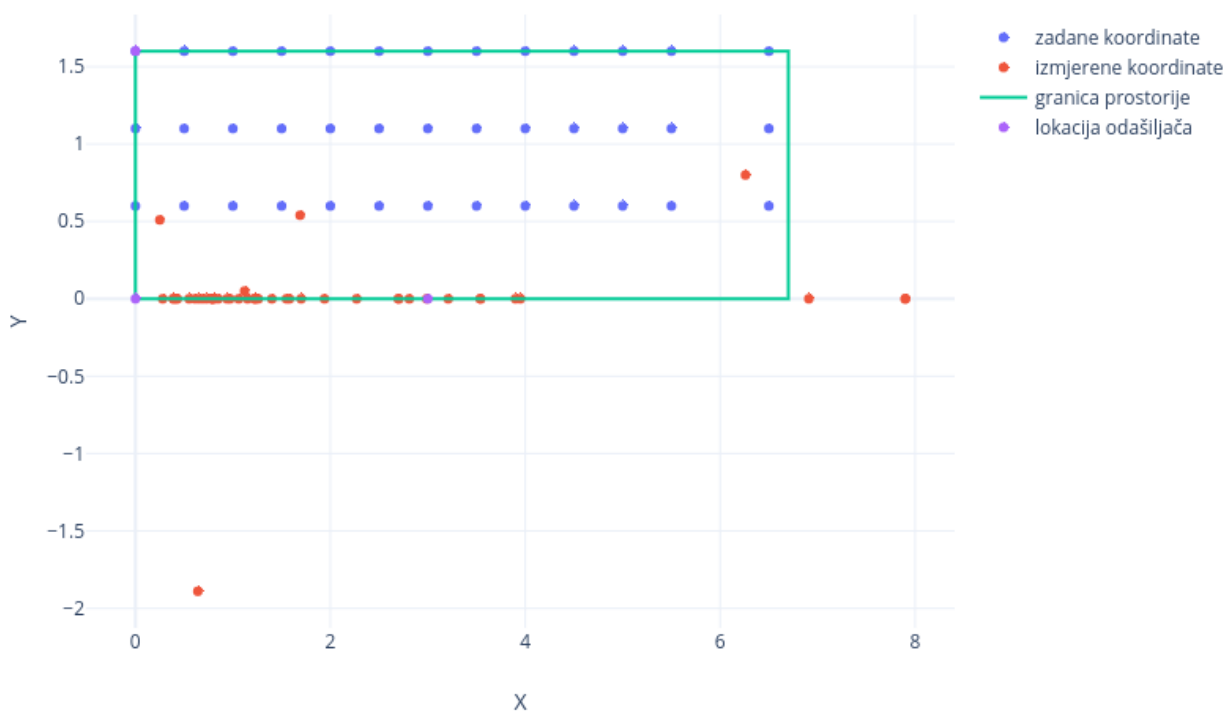
Sl. 6.8. Prikaz rezultata za tablicu 6.4.

Tab. 6.5. Kombinacija zadanih i izmjerenih točaka pomoću 3 komercijalna odašiljača za prostoriju
6,5 × 1,6 m

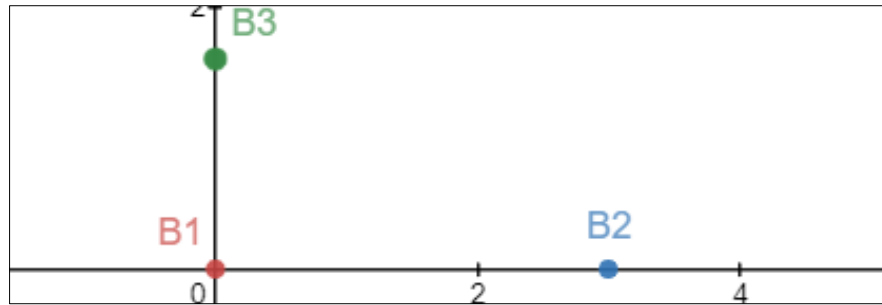
Zadane koordinate (X, Y)	Prvo mjerenje (X, Y)	Drugo mjerenje (X, Y)	Treće mjerenje (X, Y)	Četvrto mjerenje (X, Y)
(0, 0.6)	-	-	-	-
(0.5, 0.6)	-	-	(1.23, 0)	-
(1, 0.6)	-	(0.73, 0)	-	-
(1.5, 0.6)	(0.94, 0)	(0.79, 0)	-	-
(2, 0.6)	-	-	(1.69, 0.54)	-
(2.5, 0.6)	-	(2.99, 0)	(0.39, 0)	-
(3, 0.6)	-	(1.58, 0)	-	-
(3.5, 0.6)	-	-	-	-
(4, 0.6)	(3.9, 0)	-	-	-
(4.5, 0.6)	(2.7, 0)	-	-	(2.7, 0)
(5, 0.6)	(6.91, 0)	-	-	-
(5.5, 0.6)	(2.27, 0)	-	-	(1.7, 0)
(6, 0.6)	-	-	-	-
(6.5, 0.6)	(3.54, 0)	-	(3.95, 0)	-
(0, 1.1)	-	-	-	-
(0.5, 1.1)	-	(1.06, 0)	-	-
(1, 1.1)	-	-	-	-
(1.5, 1.1)	-	-	-	-
(2, 1.1)	-	-	(0.78, 0)	-
(2.5, 1.1)	-	-	(0.79, 0)	-
(3, 1.1)	-	-	-	-
(3.5, 1.1)	-	(0.69, 0)	(0.61, 0)	(7.9, 0.8)
(4, 1.1)	-	-	-	-
(4.5, 1.1)	-	-	(3.21, 0)	-
(5, 1.1)	-	-	-	-
(5.5, 1.1)	(1.12, 0.05)	-	-	(1.22, 0)
(6, 1.1)	-	-	-	-
(6.5, 1.1)	(1.4, 0)	-	-	(0.85, 0)
(0, 1.6)	-	-	-	-
(0.5, 1.6)	-	-	-	-
(1, 1.6)	(1.23, 0)	-	-	(1.26, 0)
(1.5, 1.6)	(0.39, 0)	-	(0.43, 0)	(0.42, 0)
(2, 1.6)	(0.81, 0)	-	(0.28, 0)	-
(2.5, 1.6)	-	-	(0.64, -1.89)	-
(3, 1.6)	-	(1.55, 0)	-	-
(3.5, 1.6)	(0.65, 0)	(0.55, 0)	-	-
(4, 1.6)	-	(2.81, 0)	-	-
(4.5, 1.6)	(0.79, 0)	(1.15, 0)	(6.26, 0.8)	-
(5, 1.6)	-	(7.9, 0)	(0.97, 0)	(1.94, 0)
(5.5, 1.6)	-	(3.54, 0)	-	-
(6, 1.6)	(0.25, 0.51)	-	-	-
(6.5, 1.6)	-	-	-	-

U izduženoj prostoriji, u odnosu na kvadratnu prostoriju, kod komercijalnih odašiljača (Tablica 6.5.) su izmjerena 121 neodređena mjerenja. Taj broj neodređenih mjerenja je veći u odnosu na odašiljače kućne izrade. Od ostalih rezultata samo su 4 signalizirala mobilni uređaj izvan prostorije. Vrlo mali broj krivih mjerenja daje puno bolje rezultate u odnosu na kućnu izradu odašiljača te u odnosu na kvadratni prostor s komercijalnim odašiljačima. Točnost mjerenja vidi se i na slici 6.9. Lokacije su se pokazale većinski unutar prostorije te na x-osi. Dvije od tri lokacije izvan prostorije su također na x-osi.

Dimenzija prostorije: 6.5 × 1.6 m, Broj odašiljača: 3, Vrsta odašiljača: komercijalni odašiljač



Sl. 6.9. Prikaz rezultata za tablicu 6.5.



Sl. 6.10. Prikaz lokacije odašiljača u prostoriji za tablicu 6.6.

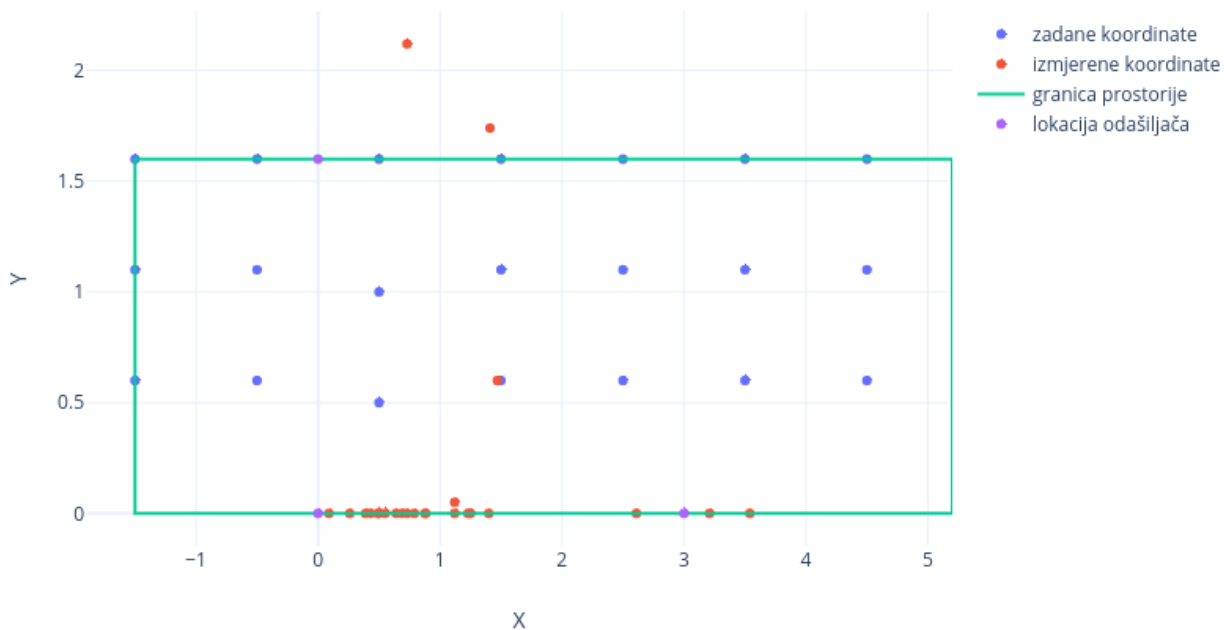
Tab. 6.6. Kombinacija zadanih i izmjerenih točaka pomoću 3 komercijalna odašiljača za prostoriju $6,5 \times 1,6$ m uz izmijenjenu lokaciju odašiljača

Zadane koordinate (X, Y)	Prvo mjerenje (X, Y)	Drugo mjerenje (X, Y)	Treće mjerenje (X, Y)	Četvrto mjerenje (X, Y)
(-1.5, 0.6)	(0.69, 0)	-	-	-
(-0.5, 0.6)	-	-	-	(0.26, 0)
(0.5, 0.6)	(0.88, 0)	(0.88, 0)	-	-
(1.5, 0.6)	0.09, 0)	(1.23, 0)	(1.12, 0)	(1.41, 1.74)
(2.5, 0.6)	-	-	(0.5, 0)	-
(3.5, 0.6)	(0.39, 0)	-	-	(0.49, 0)
(4.5, 0.6)	-	-	(1.47, 0.6)	(1.4, 0)
(-1.5, 1.1)	-	-	-	-
(-0.5, 1.1)	(0.73, 0)	-	-	-
(0.5, 1.1)	-	(0.55, 0)	-	-
(1.5, 1.1)	-	-	(3.21, 0)	-
(2.5, 1.1)	(2.61, 0)	-	-	-
(3.5, 1.1)	-	-	-	-
(4.5, 1.1)	-	(0.64, 0)	-	(1.25, 0)
(-1.5, 1.6)	-	-	-	-
(-0.5, 1.6)	-	-	-	-
(0.5, 1.6)	-	(0.73, 2.12)	-	-
(1.5, 1.6)	(0.43, 0)	-	(0.79, 0)	-
(2.5, 1.6)	-	-	(3.54, 0)	-
(3.5, 1.6)	-	-	-	-
(4.5, 1.6)	-	-	-	(1.12, 0.05)

U prošlim mjerenjima se vršila promjena dimenzija prostorije i promatrala razlika u rezultatima. Tablica 6.6. ima mjerenja u istoj prostoriji kao i tablica 6.5. i s istim odašiljačima, pri čemu su

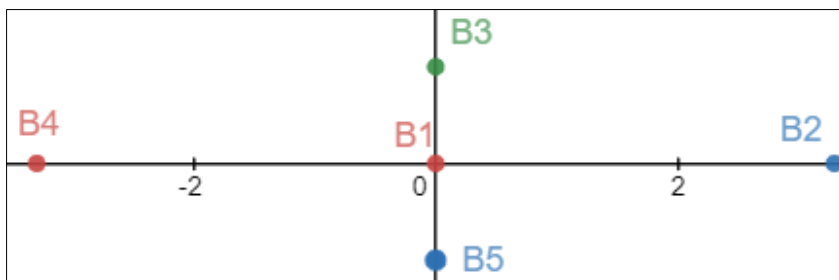
različite samo lokacije tri postavljena uređaja. Pri izmijenjenim lokacijama odašiljača (Slika 6.11.) dobilo se 60 neodređenih mjerenja i 2 pogrešna u odnosu na 84 ukupna mjerenja što je otprilike jednak postotak kao i s prethodnim lokacijama. Nastavno na prethodna mjerenja izmjerene lokacije i dalje ostaju najčešće na x-osi. Vidno je kako malo točaka istupa iz granica prostorije.

Dimenzija prostorije: 6.5×1.6 m, Broj odašiljača: 3, Vrsta odašiljača: komercijalni odašiljač



Sl. 6.11. Prikaz rezultata za tablicu 6.6.

Probno poboljšanje rezultata je napravljeno i povećanjem broja odašiljača. S 3 odašiljača, povećano je na 5 odašiljača.

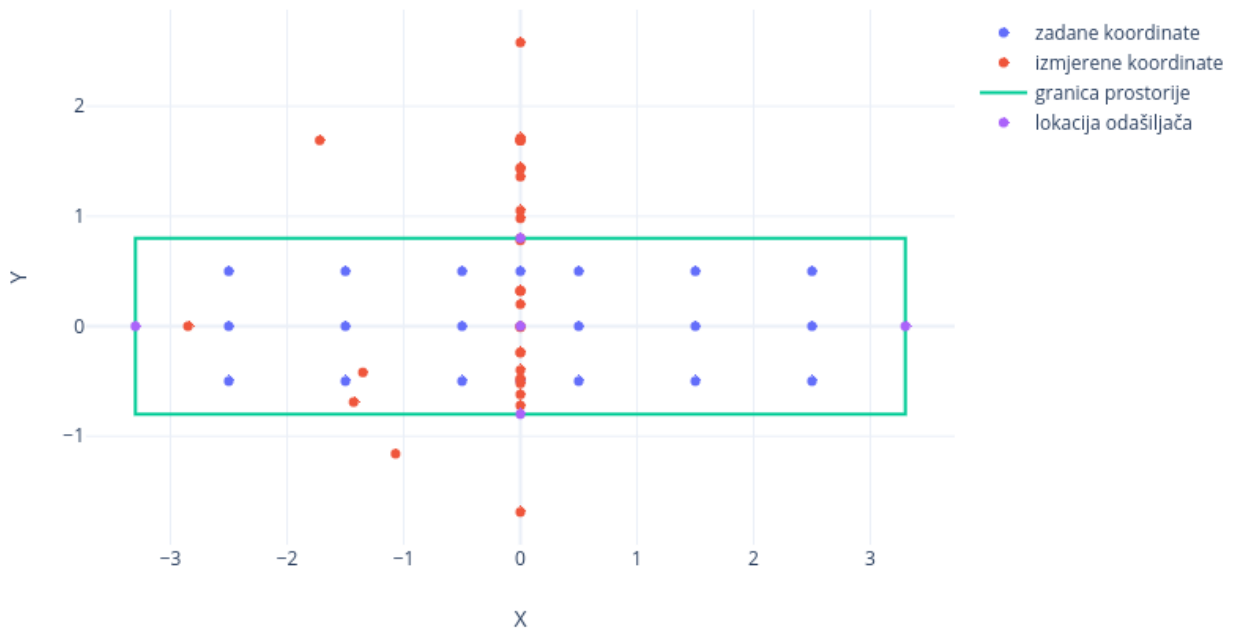


Sl. 6.12. Prikaz lokacije odašiljača u prostoriji za tablicu 6.7.

Tab. 6.7. Kombinacija zadanih i izmjerenih točaka pomoću 5 komercijalnih odašiljača za prostoriju
6,5 × 1,6 m

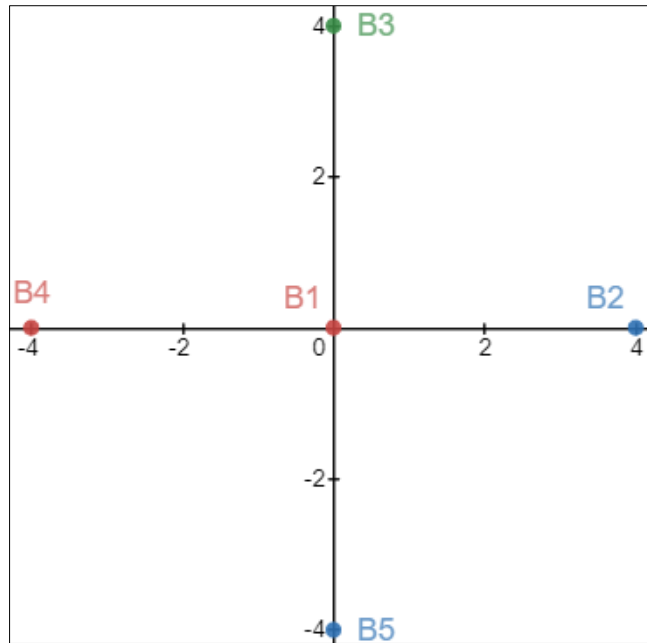
Zadane koordinate (X, Y)	Prvo mjerenje (X, Y)	Drugo mjerenje (X, Y)	Treće mjerenje (X, Y)	Četrto mjerenje (X, Y)
(-2.5, -0.5)	(0, 0.8)	-	-	-
(-1.5, -0.5)	-	-	-	-
(-0.5, -0.5)	-	-	-	-
(0, -0.5)	-	(-1.72, 0)	-	-
(0.5, -0.5)	(0, 1.69)	(0, 1.69)	(0, -0.62)	(0, -1.69)
(1.5, -0.5)	(0, 1.69)	(0, 1.69)	(0, -0.48)	(0, 1.69)
(2.5, -0.5)	(0, -0.52)	(0, 1.44)	(0, 1.36)	(0, 0.98)
(-2.5, 0)	-	-	(-2.85, 0)	-
(-1.5, 0)	(-1.43, -0.69)	-	-	(-1.35, -0.42)
(-0.5, 0)	-	-	(-1.07, -1.16)	-
(0, 0)	(0, -0.24)	(0, -0.24)	(0, -0.72)	(0, -0.01)
(0.5, 0)	(0, 0.32)	(0, 0.32)	(0, 0.2)	(0, 0.32)
(1.5, 0)	(0, -0.48)	(0, 0)	(0, 1.05)	(0, 2.58)
(2.5, 0)	(0, 0.78)	(0, 1.43)	(0, 1.71)	(0, -0.4)
(-2.5, 0.5)	-	-	-	-
(-1.5, 0.5)	-	-	(0, -0.01)	-
(-0.5, 0.5)	(0, -0.55)	(0, 1.3)	(0, 0.98)	(-1.87, 1.7)
(0, 0.5)	-	(0, -0.45)	(0, 1.08)	(0, 0.84)
(0.5, 0.5)	(0, 1.93)	(0, 1.08)	(0, -0.24)	(0, 2.8)
(1.5, 0.5)	(0, 0.09)	(0, 0)	(0, 2.8)	(0, 0.09)
(2.5, 0.5)	(0, 0)	(0, 0.09)	(0, 2.36)	(0, 1.8)

Dimenzija prostorije: 6.5×1.6 m, Broj odašiljača: 5, Vrsta odašiljača: komercijalni odašiljač



Sl. 6.13. Prikaz rezultata za tablicu 6.7.

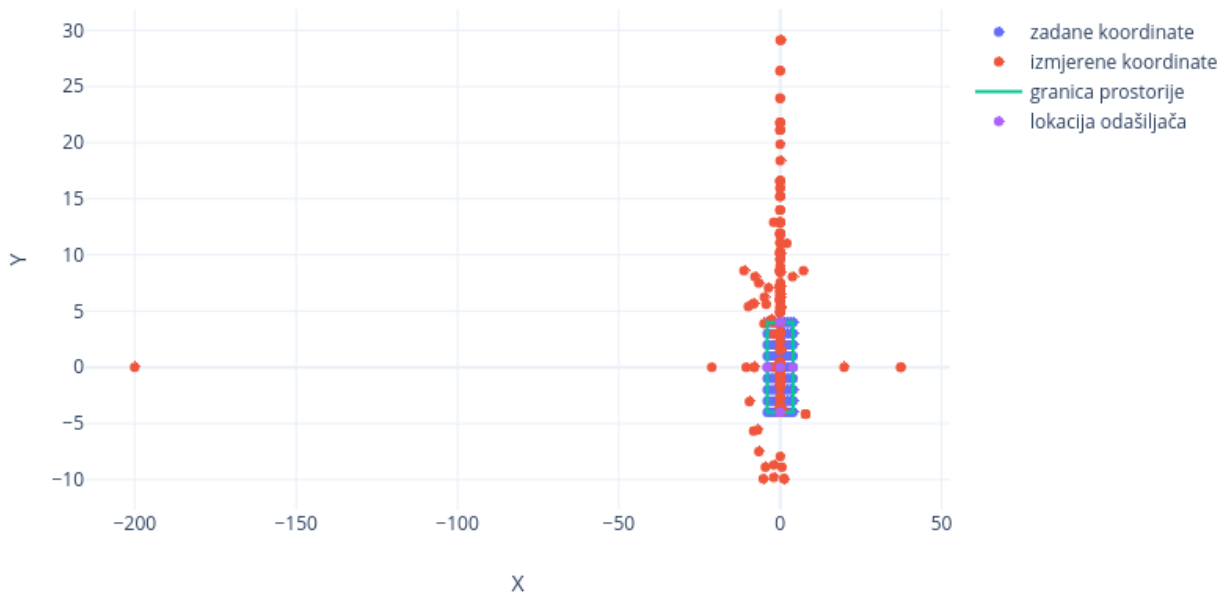
Dodavanje odašiljača je rezultiralo smanjen broj neodređenih mjerenja koja su se dvostruko umanjila pa je tako za 5 odašiljača (Tablica 6.7.) u prostoriji pri 84 mjerenja, samo 29 neodređenih mjerenja (Slika 6.13.). Smanjen broj neodređenih mjerenja je uvelike povećao broj pogrešnih mjerenja s 2 na 19. Pri ovakvom rasporedu i broju odašiljača većina mjerenja je na y-osi. Broj lociranja unutar prostorije je nešto veći od broja lociranih izvan prostorije.



Sl. 6.14. Prikaz lokacije odašiljača u prostori za tablicu P.6.1.

Pošto bi sustav tek bio koristan u većim prostorijama, npr. trgovačkim centrima, napravljeno je mjerenje u većoj prostori sa 5 odašiljača. Prostorija je bila za svaku dimenziju dvostruko veća od prostorije s 3 odašiljača gdje su mjerenja bila zadovoljavajuća te je postavljeno gotovo dvostruko više odašiljača. Udaljenost među odašiljačima je bila otprilike jednaka kao u prostori sa zadovoljavajućim mjeranjima.

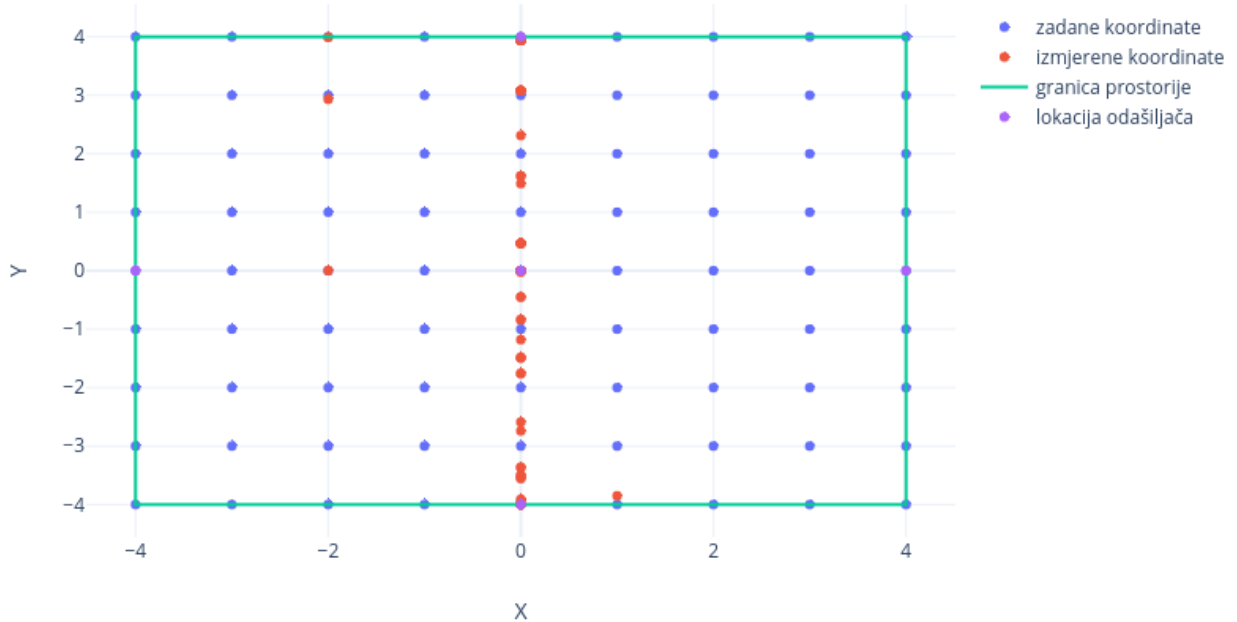
Dimenzija prostorije: 8 × 8 m, Broj odašiljača: 5, Vrsta odašiljača: komercijalni odašiljač



Sl. 6.15. Prikaz rezultata za tablicu P.6.1.

U tablici P.6.1. postoje izmjerene udaljenosti koje su veće i preko 20 puta od prostorije. Zbog toga dimenzija prostorije na slici 6.15. izgleda izrazito mala. Kako bi se bolje uočile lokacije izmjerene unutar prostorije, na slici 6.16. su prikazane vrijednosti samo unutar prostorije.

Dimenzije prostorije: 8×8, Broj odašiljača: 5 (prikaz rezultata unutar prostorije)



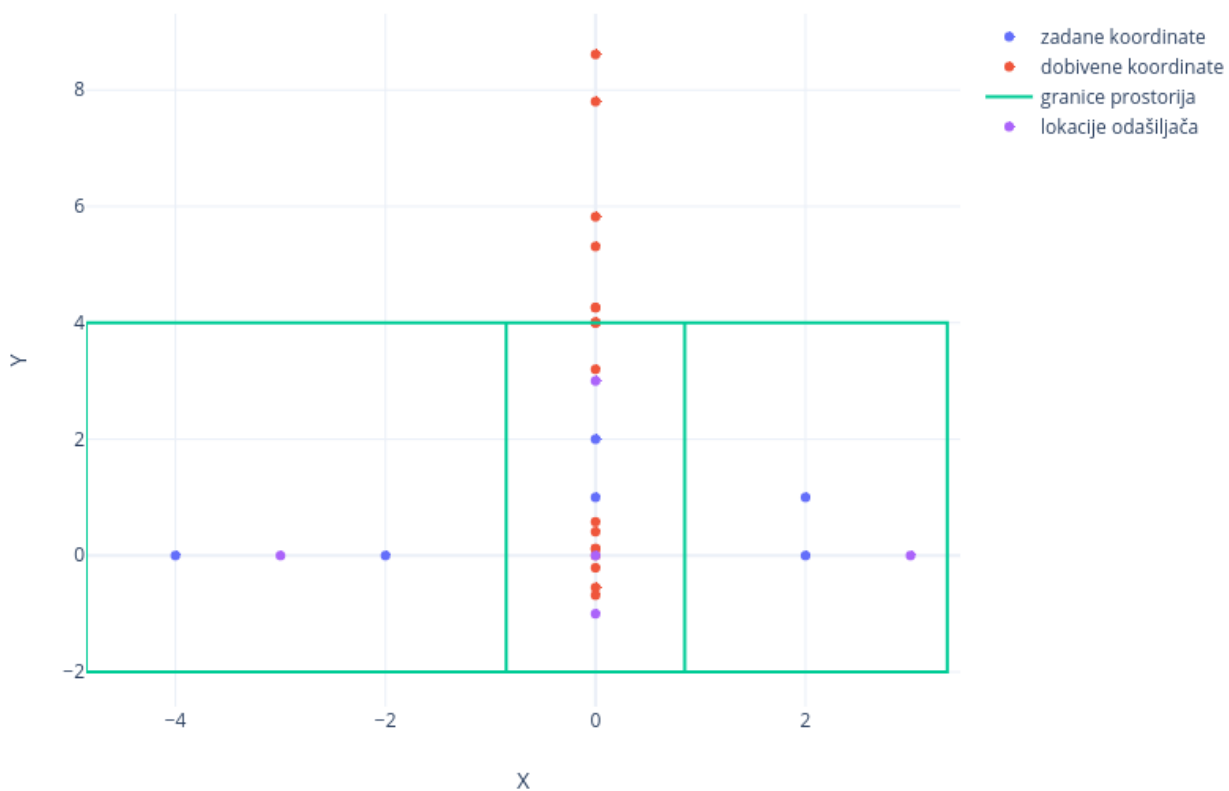
Sl. 6.16. Prikaz rezultata za tablicu 6.8. (samo rezultati unutar prostorije)

Broj neodređenih mjerenja se smanjio u tablici P.6.1. Tako da od 324 mjerenja su 106 neodređenih. Smanjenjem broja neodređenih mjerenja povećao se neželjeni efekt povećanja broja netočnih mjerenja. Broj netočnih mjerenja je znatno porastao(149), do mjere da ima više netočnih mjerenja nego točnih. Pri znatnom povećanju prostorije, znatno se povećala i pogreška. Na slici 6.15. se vidi kako je raspršenje vrlo veliko. Odstupanja po x-osi su i do 25 puta veća od prostorije, a po y-osi do 4 puta. Većina točaka se i dalje nalazi na y-osi, ali u ovom slučaju postoji i dosta točaka raspršenih na različite strane.

Tab. 6.8. Kombinacija zadanih i izmjerenih točaka pomoću 5 komercijalnih odašiljača koji su postavljeni u 3 različite prostorije

Zadane koordinate (X, Y)	Prvo mjerenje (X, Y)	Drugo mjerenje (X, Y)	Treće mjerenje (X, Y)	Četvrto mjerenje (X, Y)
(2, 0)	(0, 8.61)	(0, 4)	(0, 4.01)	(0, 4.26)
(2, 1)	(0, 0.12)	(0, -0.21)	(0, 4.26)	(0, 0.41)
(0, 1)	(0, 0)	(0, -0.68)	(0, 7.8)	(0, 0.12)
(0, 2)	(0, 4.26)	(0, -0.55)	(0, 3.2)	(0, -0.21)
(-4, 0)	(0, 0.12)	(0, 5.82)	(0, 5.31)	(0, 4.26)
(-2, 0)	(0, 0.58)	(0, 0.41)	(0, 4)	(0, 0)

Određivanje lokacije mobilnog uređaja ako su odašiljači u 3 različite prostorije



Sl. 6.17. Prikaz rezultata za tablicu 6.8.

Kada su odašiljači postavljeni u tri različite prostorije te se mobilni uređaj nalazi u jednoj od njih, mobilni uređaj nikada ne detektira sve uređaje. Iako je udaljenost među uređajima manja nego li u prostoriji 8×8 m, zbog zidova ne prolazi odaslani signal. Na svakoj lokaciji su detektirana po tri odašiljača te je određena lokacija. Samo 25 % mjerenja je dalo točnu prostoriju kao rezultat, a 42 % rezultata je izmjereno izvan bilo koje prostorije.

7. ZAKLJUČAK

Izvršena su mjerenja za lociranje mobilnog uređaja unutar prostorije pomoću Bluetooth tehnologije. U mjerenjima su upotrijebljene dvije vrste odašiljača: komercijalni Bluetooth odašiljač tvrtke Beaconstac te Bluetooth odašiljač izrađen od Arduina UNO-a, nRF24L01 i baterije. Zadani uvjeti za mjerenja su bili direktna vidljivost te ista ravnina u kojoj su postavljeni mobilni uređaj i odašiljač.

Prvo mjerenje je napravljeno s kućnom izradom odašiljača u vrlo maloj prostoriji dimenzija $1,9 \times 1,9$ m. U mjerenju su korištena tri odašiljača koji se nalaze na rubnim točkama prostorije. Takvo mjerenje je dalo vrlo netočne rezultate iz kojih je jasno kako se u izuzetno malim prostorima ne može koristiti takav sustav lociranja. Lociranje u tako malom prostoru ni nema prevelike korisnosti osim ako se koristi vrlo gusta mreža uređaja što je nepotrebno zbog njihovog većeg dometa.

U drugom mjerenju je povećana dimenzija prostorije u kojoj se vrši mjerenje sa $1,9 \times 1,9$ m na $3,6 \times 2,79$ m. Osim ručno izrađenih odašiljača, napravljena je usporedba s mjerenjima koristeći komercijalne odašiljače. Pri tom mjerenju se dobilo dosta neodređenih rezultata koji signaliziraju nepronalazak odašiljača ili kompleksan broj za lokaciju. Određeni tip rezultata je uglavom pozitivan. Nekoliko rezultata je krivih, ali ponavljajući mjerenje se zaključuje kako u prostorijama srednje veličine, koristeći 3 Bluetooth odašiljača se može pravilno registrirati nalazi li se mobilni uređaj u prostoriji ili ne.

Treće mjerenje je napravljeno u prostoriji kojoj je jedna dimenzija uvećana na 6,5 m, a druga umanjena na 1,6 m. Takvim omjerom dužine i širine su mjerenja bila malo lošija nego za kvadratnu prostoriju i za komercijalne i za ručno izrađene odašiljače. Lokacija odašiljača i dalje je bila uz rubove prostorije. Mjerenja su jednako dobra i za komercijalne odašiljače i za nRF24L01.

Za poboljšanje mjerenja je u četvrtom mjerenju izvršeno pomjerenje odašiljača od ruba prostorije. Pomjerenjem odašiljača s ruba se mjerenja nisu znatno promijenila. Mali je broj detekcije izvan prostorije te se sustav i dalje može upotrebljavati kao i kad su odašiljači na rubu prostorije.

U petom mjerenju za istu prostoriju $6,5 \times 1,6$ m je postavljeno pet Bluetooth komercijalnih odašiljača. Postavljena su 4 odašiljača na rubne točke i jedan na sredinu prostorije. Dobilo se dosta neodređenih mjerenja, ali većinom su dobivena pogrešna mjerenja.

Poboljšanje petog mjerenja je izvršeno proširenjem prostrije u kojoj je postavljeno pet odašiljača na dimenziju 8×8 m. Očekivani su dobri rezultati jer su odašiljači bili postavljeni otprilike na jednaku udaljenost kao u trećem mjerenju koje je dalo dobre rezultate. Suprotno očekivanom, rezultati su dali više netočnih mjerenja nego točnih.

U obje prostorije i $6,5 \times 1,6$ m i 8×8 m mjerenja s pet odašiljača su dali previše krivih rezultata iz čega se zaključuje kako postavljanjem pet odašiljača u jednoj prostoriji se dobivaju pogrešna mjerenja i sustav se ne može koristiti u takvim uvjetima.

Mjerenjima u kojima su odašiljači bili smješteni u tri različite prostorije te mobilni uređaj imao lokacije u svakoj od njih, se dobio veliki broj mjerenja detektiranih izvan prostorije. U svakoj prostoriji je bio najmanje jedan odašiljač. Mobilni uređaj u pojedinoj prostoriji je očitavao po tri od pet uređaja. Rezultati dobiveni unutar prostorija se ne mogu pouzdano uzeti pri detekciji u kojoj prostoriji se nalazi mobilni uređaj.

Mjerenja su često davala rezultate na nekoj od osi koordinatnog sustava. Većina mjerenja i izvan prostoje se nalazilo upravo na nekoj od osi. Ovisno o količini uređaja za lociranje mijenjalo se i os na kojoj se nalazila mjerena lokacija. Ako su u prostoriji 3 uređaja, lokacije su pripadale x-osi, ako je 5 uređaja, y-osi. Udaljenost između stvarnih točaka i točaka na osima nema uočenu ponovljivost.

Nakon izmjene četiri veličine prostorije, dvije vrste odašiljača te dva različita broja odašiljača, zaključuje se kako sustav nije dovoljno pouzdan kako bi se koristio u praktičnoj primjeni. Sustav bi se mogao koristiti samo u prostorijama srednje dimenzije, oko $9-12 \text{ m}^2$, dok u malim prostorijama, te velikim prostorijama se sustav ne može koristiti. U malim prostorijama dolazi do prejakih razina signala te mjerenje ne bude uspješno, dok u velikim prostorijama se uređaji nekada ne mogu ni pronaći, unatoč tome što bi se signal trebao vidjeti na udaljenosti i do 50 m. Problem udaljenosti se rješava dodavanjem više uređaja u mrežu, kako bi mreža bila gušća. Dodavanjem uređaja se lociranje znatno pogoršalo jer pri većoj količini odašiljača, mobilni uređaj obično ispravno odredi udaljenost između jednog ili nekoliko odašiljača, a ostale budu krivo izmjerene. Nakon krivo određenih udaljenosti, sam sustav ne može točno izračunati lokaciju, osim prilikom velike slučajnosti.

Sama aplikacija je troma te joj treba neko vrijeme da pronađe sve uređaje u blizini te neko vrijeme da detektira udaljenost od svakog uređaja. Kada se detektiraju udaljenosti treba neko vrijeme da se

izračunaju koordinate. Ako se prebrzo mijenjaju lokacije postoji mogućnost detektiranja prethodne lokacije na trenutnom položaju. Temeljni problem je netočno očitavanje snage pojedinog Bluetooth odašiljača koja je osnova za sve izračune i određivanje lokacije.

Trenutni sustav nije pouzdan za korištenje, a unaprijediti bi se mogao u nekoliko smjerova. Trebalo bi uzeti u obzir dijagrame zračenja i komercijalnog Bluetooth odašiljača i nRF24L01 te ustanoviti je li njihovo zračenje zaista kružno. Ako nije kružno prilagoditi matematičke formule u izračunu koordinata. U slučaju da se ne radi o slobodno prostoru, pri izračunu udaljenosti treba uzeti drugu vrijednost faktora N . Kada se prilagode formule, potrebno je prilagoditi i kod aplikacije. Aplikaciji se mogu dodati dijelovi tipa prikaza lokacije na slici prostorijske poput slika u poglavlju broj šest, prikaza djelovanja svakog odašiljača kao u poglavlju broj četiri te naravno potrebno ju je učiniti manje tromom.

LITERATURA

- [1] J. Lee, Y. Su, C. Shen, *A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi*, The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), 2007. Dostupno na:
http://eee.guc.edu.eg/Announcements/Comparaitive_Wireless_Standards.pdf (16.06.2019.)
- [2] Dostupno na: <http://www.akhayar.com/well-known-5-symbols-whose-meaning-we-knew-nothing-about/bluetooth-symbol/> (05.09.2019.)
- [3] M. B. Shoemake, *Wi-Fi (IEEE 802.11b) and Bluetooth, Coexistence Issues and Solutions for the 2.4 GHz ISM Band*, Texas Instruments, 2001. Dostupno na:
<http://www.ti.com/lit/wp/sply010/sply010.pdf> (06.09.2019.)
- [4] Dostupno na: https://img.dxcdn.com/productimages/sku_65631_1.jpg (06.09.2019.)
- [5] *Specification od the Bluetooth System*, 2004. Dostupno na linku:
http://www.bluetooth.org/docman/handlers/DownloadDoc.ashx?doc_id=40560&ei=25GiT8L3CuTa0QGnmqDVDA&usg=AFQjCNGXY5pm4Tkju1KGs4dYRJLtd03FEg (06.09.2019.)
- [6] *Bluetooth Core Specification*, 2019. Dostupno na:
https://www.bluetooth.org/docman/handlers/downloaddoc.ashx?doc_id=457080 (06.09.2019.)
- [7] Dostupno na: <https://irishtechnews.ie/wp-content/uploads/2019/04/eoz-air.jpg> (06.09.2019.)
- [8] Digi International Inc. , 2014-2019 Dostupno na: support@digi.com (20.08.2019)
- [9] *How to Calculate Distance from the RSSI value of the BLE Beacon*, IoT and Electronics, 2016. Dostupno na: <https://iotandelectronics.wordpress.com/2016/10/07/how-to-calculate-distance-from-the-rssi-value-of-the-ble-beacon/#comments> (07.09.2019.)
- [10] *What is Arduino?*, Arduino Documentation, 2015. Dostupno na:
<http://web.csulb.edu/~hill/ee400d/Technical%20Training%20Series/02%20Intro%20to%20Arduino.pdf> (18.06.2019.)
- [11] Dostupno na: <https://github.com/v-i-s-h/RF24Beacon> (20.08.2019)
- [12] D'Ausilio, *Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment*, Psychonomic Society, 2011. Dostupno na: <https://link.springer.com/content/pdf/10.3758%2Fs13428-011-0163-z.pdf> (18.06.2019.)
- [13] S. S. Sonavane, V. Kumar, B. P. Patil, *MSP430 and nRF24L01 based Wireless Sensor Network Design with Adaptive Power Control*, ICGST-CNIR Journal, Volume 8, Issue 2,

2009. Dostupno na:

[https://www.researchgate.net/publication/238771916 MSP430 and nRF24L01 based Wireless Sensor Network Design with Adaptive Power Control](https://www.researchgate.net/publication/238771916_MSP430_and_nRF24L01_based_Wireless_Sensor_Network_Design_with_Adaptive_Power_Control) (18.06.2019.)

- [14] X. Li, *Remote control LED dimmer using NRF24L01+ radio and microcontrollers*, School of Electrical and Computer Engineering of Cornell University, 2017. Dostupno na: https://people.ece.cornell.edu/land/courses/eceprojectsland/STUDENTPROJ/2016to2017/x1572/project_18_report.pdf (18.06.2019.)
- [15] R. Sidqi, B. R. Rynaldo, S. H. Suroso, R. Firmansyah, *Arduino Based Weather Monitoring Telemetry System Using NRF24L01+*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 336, 2018. Dostupno na: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/336/1/012024/pdf> (18.06.2019.)
- [16] Dostupno na: <https://www.beaconstac.com/buy-beacons/pocket-proximity-beacons> (12.08.2019.)

SAŽETAK

U ovom radu je opisan sustav lociranja mobilnog uređaja unutar prostorije koristeći Bluetooth. Lociranje se vrši na osnovu udaljenosti od tri ili pet komercijalnih Bluetooth odašiljača ili odašiljača koji su napravljeni sklopom Arduino UNO-a i nRF24L01-a. Mobilni uređaj se nalazi na jednoj od točaka sjecišta kružnica dva odašiljača koja se nalazi unutar radijusa trećeg odašiljača. Lokacija mobilnog uređaja, kao i prikaz Bluetooth vidljivih uređaja se vrši u Android aplikaciji.

Ključne riječi: Bluetooth, lociranje, nRF24L01, Arduino

ABSTRACT

OBJECT LOCALIZATION METHODS USING WIRELESS COMMUNICATION MODULES

This paper describes a system for indoor locating mobile devices using Bluetooth. The location is based on a distance of three or five commercial Bluetooth devices or devices made by the Arduino UNO and nRF24L01 assembly. The mobile device is located at one of the points of intersection of circles two of the transmitter located within the radius of the third transmitter. The location of mobile devices, as well as the display of Bluetooth visible devices, is done in Android application.

Key words: Bluetooth, locating, nRF24L01, Arduino

ŽIVOTOPIS

Irena Mostarac rođena je 25.08.1995. u Žepču, Bosna i Hercegovina. Osnovnu školu započinje 2002. godine u osnovnoj školi "Vinište", a završava 2010. u osnovnoj školi "Žepče". Nakon osnovne škole upisuje Tehničare za mehatroniku u srednjoškolskom centru KŠC "Don Bosco" Žepče. Po završetku srednje škole, 2014. godine upisuje "Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija" u Osijeku, odabire preddiplomski studij elektrotehnike, a nakon godinu dana se usmjerava na komunikacije i informatiku. Titulu prvostupnice elektrotehnike stječe 2017. godine, nakon čega upisuje diplomski studij elektrotehnike, komunikacije i informatika, smjer mrežne tehnologije. Od rujna 2019. godine radi kao profesorica fizike i računalstva u KŠC "Don Bosco" Žepče.

Potpis:

PRILOG

P.6.1. Rezultati mjerenja

Tab. P.6.1. Kombinacija zadanih i izmjerenih točaka pomoću 5 komercijalnih odašiljača za prostoriju 8×8 m

Zadane koordinate (X, Y)	Prvo mjerenje (X, Y)	Drugo mjerenje (X, Y)	Treće mjerenje (X, Y)	Četvrto mjerenje (X, Y)
(-4, -4)	-	-	-	-
(-3, -4)	(0.57, -8.89)	(-4.57, -8.89)	-	(0.04, -7.94)
(-2, -4)	-	(-6.61, -7.5)	-	-
(-1, -4)	(-11.2, 8.6)	-	-	-
(0, -4)	(0, -3.36)	(0, -3.37)	(0, -3.94)	(0, -3.91)
(1, -4)	-	-	-	-
(2, -4)	(0, -0.45)	(0, -1.49)	(0, -1.49)	(0, -1,18)
(3, -4)	(0, 4.91)	(0, 3.08)	(0, 2.31)	(0, 3.94)
(4, -4)	-	(-7.98, 0)	(-10.53, 0)	-
(-4, -3)	(1.24, -9.92)	(-8.24, -5.67)	(-9.52, -3.05)	(-2, -9.8)
(-3, -3)	(-2, -8.69)	(1.24, -9.92)	(7.88, -4.16)	(0, 3.08)
(-2, -3)	(0, -0.84)	(0, -0.45)	(0,0.47)	(0, -0.84)
(-1, -3)	-	-	-	-
(0, -3)	(0, -3.5)	(0, -3.55)	(0, -3.5)	(0, -3.55)
(1, -3)	(0, -1.76)	(0, -1.49)	(0, -1.76)	(0, 1.49)
(2, -3)	(0, 0.47)	(0, 1.62)	(0, 1.62)	(0, 0.47)
(3, -3)	(0, -0.02)	(0, 8.59)	(0, 7.22)	(0, 0.47)
(4, -3)	(0, 15.95)	(0, 11.85)	(0, 7.22)	(0, 21.12)
(-4, -2)	-	-	-	-
(-3, -2)	-	-	-	-
(-2, -2)	-	-	(-6.95, -5.58)	-
(-1, -2)	-	(-5.24, -9.92)	-	-
(0, -2)	(0, 7.22)	(0, 6)	(0, 4.91)	(0, 4.91)
(1, -2)	(0, -0.02)	(0, 0.47)	(7.88, -4.16)	(0, 0.47)
(2, -2)	(0, 3.94)	(0, -2.74)	(0, 3.08)	(0, 3.94)
(3, -2)	(0, 6)	(0, 3.94)	(0, 11.85)	(0, 0.47)
(4, -2)	(0, 10.13)	(0, 4.91)	(0, 6)	(0, 18.39)
(-4, -1)	-	-	-	-
(-3, -1)	-	-	(0, 4.91)	-
(-2, -1)	(-2.51, -3.69)	(-3.97, -3.98)	(-5, 3.89)	(-6.28, 0)
(-1, -1)	(-1.35, -4.26)	(1, -3.85)	(-2, 2.93)	(-1.35, -4.26)
(0, -1)	-	-	-	-
(1, -1)	(0, 8.59)	(0, 8.59)	(0, 0)	(0, 0)
(2, -1)	(0, 8.59)	(0, 26.39)	(0, 26.39)	(0, 8.59)
(3, -1)	(0, 10.13)	(0, 10.13)	(0, 10.13)	(0, 10.13)
(4, -1)	(0, 7.22)	(0, 7.22)	(0, 7.22)	(0, 7.22)
(-4, 0)	-	-	-	-

(-3, 0)	-	-	(-200.05, 0)	-
(-2, 0)	-	-	-	(-21.18, 0)
(-1, 0)	-	-	-	-
(0, 0)	-	-	-	-
(1, 0)	(0, 0)	(0, 3.08)	(0, 15.22)	(0, 0)
(2, 0)	(0, 21.78)	(0, 19.85)	(0, 29.12)	(0, 15.22)
(3, 0)	(0, 6)	(0, 11.85)	(0, 7.22)	(0, -2.59)
(4, 0)	(0, 16.59)	(0, 3.94)	(0, 11.08)	(0, 3.94)
(-4, 1)	-	-	-	-
(-3, 1)	-	-	(-8.07, 0)	-
(-2, 1)	-	-	-	-
(-1, 1)	-	-	-	-
(0, 1)	(0, 11.85)	-	(37.43, 0)	(37.37, 0)
(1, 1)	(0, 21.12)	(0, 21.78)	(0, 21.78)	(0, 21.12)
(2, 1)	(0, 23.95)	(0, 21.78)	(0, 0)	(0, 16.59)
(3, 1)	(0, 7.22)	(0, 16.59)	(0, 4.91)	(0, 0)
(4, 1)	(0, 8.59)	(0, 0)	(0, 8.59)	(0, 8.59)
(-4, 2)	-	-	(0, 29.12)	-
(-3, 2)	-	-	-	-
(-2, 2)	(19.83, 0)	-	(-2, 3.99)	(-2.65, 4.26)
(-1, 2)	(-3.62, 7.07)	(-4.31, 5.61)	-	(-4.91, 6.24)
(0, 2)	-	(0, 6.24)	(0, 6.24)	(0, 6.24)
(1, 2)	(0, 12.91)	(0, 12.91)	(0, 12.91)	(0, 12.91)
(2, 2)	(0, 0)	(0, 6)	(0, 6)	(0, 12.91)
(3, 2)	(0, 12.91)	(0, 0)	(0, 0)	(0, 6)
(4, 2)	(0, 15.22)	(7.88, -4.16)	(7.88, -4.16)	(0, 4.91)
(-4, 3)	(-6.61, 7.5)	(0, 16.59)	-	(-2, 0)
(-3, 3)	(0, 14)	(0, 12.91)	(0, 14)	(0, 14)
(-2, 3)	(3.81, 8.06)	(0, 23.95)	-	-
(-1, 3)	-	(-2, 12.43)	(7.2, 8.6)	(2.07, 11.03)
(0, 3)	(0, 5.41)	(0, 5.78)	(0, 5.26)	(0, 5.26)
(1, 3)	(-9.85, 5.41)	(0, 6.82)	(0, 6.82)	(0, 6.82)
(2, 3)	(-8.24, 5.67)	(-8.24, 5.67)	(-7.81, 8.06)	(0, 7.17)
(3, 3)	(0, 10.31)	(0, 9.62)	(0, 9.62)	(0, 9.62)
(4, 3)	(0, 3.08)	(0, 3.94)	(0, 3.94)	(0, 3.08)
(-4, 4)	-	(0, 15.95)	(0, 0)	-
(-3, 4)	-	-	-	-
(-2, 4)	-	(0, 8.47)	-	-
(-1, 4)	-	(0, 11.94)	(0, 11.94)	-
(0, 4)	(0, 4.03)	-	-	(0, 4.03)
(1, 4)	(0, 6.51)	(0, 7.55)	(0, 6.82)	(0, 6.51)
(2, 4)	(0, 11.08)	(0, 11.94)	(0, 11.08)	(0, 15.22)
(3, 4)	(0, 8.47)	(0, 10.31)	(0, 8.47)	(0, 9.01)
(4, 4)	(0, -4)	(0, -4)	(0, -4)	(0, -4)