



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Modestas Vaitaitis**

**Vietos nustatymo patalpose pagal RSSI sistema**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Paulius Tervydis

**Kaunas, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**  
**TELEKOMUNIKACIJŲ KATEDRA**

**Vietos nustatymo patalpose pagal RSSI sistema**

Baigiamasis magistro projektas  
**612H64002 Telekomunikacijų sistemos**

**Vadovas**

(parašas) Doc. dr. Paulius Tervydis

(data)

**Recenzentas**

(parašas) Doc. dr. S. Japertas

(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Modestas Vaitaitis

(data)

**KAUNAS, 2016**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

---

(Fakultetas)

Modestas Vaitaitis

---

(Studento vardas, pavardė)

**612H64002** Telekomunikacijų sistemos

---

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Vietos nustatymo patalpose pagal RSSI sistema“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

2016

m.

Birželio

3

d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Modesto Vaitaičio** baigiamasis projektas tema „**Vietos nustatymo patalpose pagal RSSI sistema**“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)

Vaitaičio, M. Vietos nustatymo patalpose pagal RSSI sistema. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Paulius Tervydis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Telekomunikacijų katedra.

Kaunas, 2016. 75 psl.

## **SANTRAUKA**

Šio darbo tikslas yra pasiūlyti metodą vietos nustatymo patalpose sistemai (IPS), kuri naudotų radijo bangų signalo lygius (RSSI). Šiai užduočiai įgyvendinti iškeltos užduotys kuriomis vadovaujantis yra atliktas šis darbas. Darbo pradžioje aiškinamasi vietos nustatymo paslaugų (LBS) aktualumas bei jų panaudojimo sritys. Sistemą planuojama pritaikyti išmaniesiems įrenginiams, todėl tikslinga naudoti technologiją kurią didžioji dalis šių įrenginių palaiko. Šiuo atveju išskirtos dvi populiariausios technologijos: Wi-Fi ir Bluetooth. Apžvelgiami vietos nustatymo sistemų matavimo parametrai kuriuos galime naudoti vietos nustatymo sistemose ir skaičiavimo metodai kuriais nustatomos objekto koordinatės.

Sistemai įgyvendinti sukuriama programėlė mobiliam įrenginiui kuria galima matuoti reikiamus parametrus gaunamus iš naudojamos sistemos įrangos. Atliekami tyrimai įvertinti signalo stiprumo lygį kintant atstumui bei įvertinti įvairių pastato paviršių keliamą slopinimą. Taip pat atliekami modeliavimai naudojantis sistema apskaičiuojamos įrenginio koordinatės ir įvertinamos gautų rezultatų paklaidos ir pasiūlyti trys skirtingi sistemos įrengimo variantai.

Vaitaitis, Modestas. Final project of *Indoor Positioning system Based on RSSI* / supervisor doc. dr. Paulius Tervydis; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Telecommunications.

Kaunas, 2016. 75 psl.

## **SUMMARY**

Objective of this task is to suggest a method of indoor positioning system (IPS) which is based on radio signal strength indicator (RSSI). First of all, task were generated to lead the way to accomplish this project. At the begging of the project investigation were made about (LBS) location based systems relevance and usability range. This system is projected to be used in smart devices and use one of the most popular technology used by smart devices. In this case, it is considered between Wi-Fi and Bluetooth. Also, review is made of location based systems dimensional parameters which could be used in navigation systems and methods of object coordinates calculation.

In the process of projecting, the software for smartphone is made which is used measure necessary parameters from system hardware. Then, research is made to evaluate signal strength level by changing distance and to evaluate signal suppression which is caused by different building textures. Also, practically calculate device coordinates by using created system and evaluate result error and suggested three different systems installation methods.

## TURINYS

SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS .....	7
ĮVADAS .....	9
1. Vietos nustatymo patalpose paslaugos aktualumas ir reikalavimai.....	10
2 Tinkamų vietos nustatymui radijo ryšio technologijų analizė.....	12
2.1 Bluetooth technologija.....	12
2.2 Wi-Fi technologija .....	14
2.3 Objekto vietos nustatymo metodai .....	15
3 IPS galimybių analizė .....	20
3.1 IPS naudojant trilateracijos metodą .....	20
3.2 Naudojama įranga .....	22
3.3 Programinės įrangos paruošimas .....	24
3.4 RSSI priklausomybės nuo atstumo tyrimas .....	27
3.5 Objekto vietos koordinatinių nustatymo modeliavimas.....	35
3.6 Praktinis objekto vietos nustatymo modeliavimas .....	42
3.7 Slopavimo įvertinimas.....	48
3.8 IPS vietos nustatymo metodas pagal stipriausią signalo lygį .....	51
3.9 IPS vietos nustatymo metodas pagal RSSI skirstinį.....	53
4. Sistemos ekonominis įvertinimas .....	61
IŠVADOS.....	68
NAUDOTOS LITERATŪROS IR KITŲ INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS .....	69
PRIEDAI .....	71

## SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

ACO	( <i>Authenticated Ciphering Offset</i> ) Autentifikuotas šifro ofsetas.
AC	Kintama srovė.
Beacon	Šiuo atveju Bluetooth siųstuvas veikiantis švyturio principu.
BR/EDR	( <i>Basic rate / Enchanted data rate</i> ) tipinės spartos / padidintos duomenų persiuntimo spartos Bluetooth versijos.
DC	Nuolatinė srovė.
DoD	( <i>departamen of defence</i> ) gynybos departamentas.
DSSS	( <i>Direct Sequence Spread Spectrum</i> ) tiesioginės sekos spektro skleidimo moduliacijos technologija.
FHSS	( <i>Frequency Hopping Spread Spectrum</i> ) šuoliuojančio dažnio spektro skleidimo technologija.
GPS	( <i>Global positioning system</i> ) globali vietos nustatymo sistema.
IEEE	( <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> ) Elektros ir elektronikos inžinierių institutas.
IPS	( <i>Indoor positioning system</i> ) vidaus patalpų vietos nustatymo sistema.
L2CAP	Loginio sujungimo valdymo ir suderinimo protokolas.
LBS	( <i>Location based services</i> ) paslaugos paremtos vietos nustatymu.
LMP	( <i>Link management protocol</i> ) sujungimo valdymo protokolas
MEO	Vidutinės trukmės elipsės formos Orbita
MIMO	( <i>Multi input, multi output</i> ) Antenas apibūdinantis terminas reiškiantis jog vienu metu gali priimti ir išsiųsti keletą signalų.
OFDM	( <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> ) dažninio sutankinimo moduliacija
OSI	( <i>Open Systems Interconnection Reference Model</i> ) yra abstraktus ryšio protokolų, naudojamų ryšio ir kompiuteriniuose tinkluose, aprašymas.
PIN	( <i>Personal Identification Number</i> ) personalus indentifikavimo numeris
RFID	( <i>Radio-frequency identification</i> ) radijo dažnio identifikavimas
RSSI	( <i>Received signal strength indicator</i> ) radijo signalo stiprumo lygis
SIG	( <i>Bluetooth Special Interest Group</i> ) Bluetooth standartizavimo komanda
SIMO	( <i>Single input, multi output</i> ) Antenas apibūdinantis terminas reiškiantis jog vienu metu gali priimti vieną signalą ir išsiųsti keletą signalų.

SISO	<i>(Single input, single output)</i> Antenas apibūdinantis terminas reiškiantis jog vienu metu gali priimti vieną signalą ir išsiųsti vieną signalą.
SNR	<i>(Signal to noise ratio)</i> Signalo ir triukšmo santykio matas.
SRES	<i>(Signed Response)</i> pasirašytas atsakymas autentifikavimo procese.
TDoA	<i>(Time different of Arrival)</i> laiko skirtumas per kurį signalas pasiekia imtuvą du skirtingo dažnio signalai.
ToA	<i>(Time of Arrival)</i> laikas per kurį signalas pasiekia imtuvą.
Wi-Fi	Bevielė vietinio kompiuterių tinklo technologija.
WLAN	<i>(Wireless local area network)</i> bevielis vietinis tinklas.
WPAN	<i>(Wireless personal area network)</i> asmeninis bevielis tinklas.



## IVADAS

Norint pasiekti kelionės tikslą žinodami tik adresą, bet nežinant kelio, griebiamasi GPS navigacijos prietaiso ar išmaniojo telefono teikiamomis paslaugomis. Suvedus duomenis mums tuojau pat pasiūlomas optimaliausias maršrutas iki mūsų siekiamo kelionės tikslo. Štai tokia elgsena yra natūrali šiuolaikiniam žmogui. Taigi ši globali vietos nustatymo sistema veikia visame pasaulyje ir žmonės sutaupo daug laiko. Šią sistemą išrado Amerikiečių gynybos departamentas (DoD) ir visiškai funkcionuojanti tapo 1995 metais. Ši sistema susideda iš 24 palydovų kurie yra išdėstyti MEO orbitoje (20200 km) taip užtikrindama, kad bet kuriuo laiku būtų matomi bent 4 palydovai. Nors GPS sistema nustato esamą vietą gana tiksliai, bet ji turi ir trūkumų, reikalingas tiesioginis matomumas, todėl patalpų erdvėje negalimas pozicijos nustatymas. Tai apriboja šios paslaugos galimybes.

Iki šiol yra ieškoma nebrangių būdų, kaip nustatyti objekto vietą patalpoje, kuri tikslumu prilygtų ar lenktų GPS sistemą. Naudojamos įvairios technologijos kaip Wi-Fi, Bluetooth LE, RFID, Fingerprint. Bet priežastis, kodėl iki šiol nepavyksta atrasti optimalaus sprendimo yra nepastovi aplinka, nuolatos judančios kliūtys ar skirtingo pralaidumo sienos. Šios sąlygos apsunkina objekto vietos nustatymo galimybes. Sprendžiant šias problemas yra pasitelkiami sudėtingesni skaičiavimo metodai, kurie įvertintų kuo daugiau pašalinių veiksnių, darančių įtaką vietos nustatymo tikslumui. Kad pasiekti tikslą, taip pat reikia kurti atitinkamai prisitaikančius pastatų žemėlapius, kurie padėtų įvertinti objekto buvimo vietą.

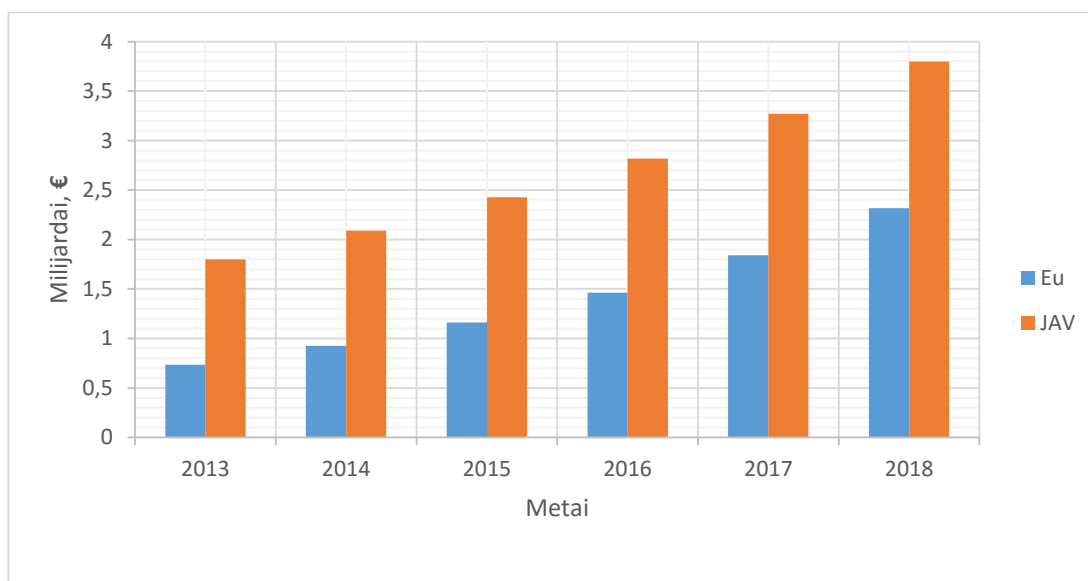
Pagrindinis šio darbo tikslas pasiūlyti ir įvertinti objekto vietos nustatymo patalpose pagal RSSI metodą, kuris galėtų būti naudojamas įgyvendinti objekto vietos nustatymu paremtas paslaugas.

Darbo tikslui įgyvendinti buvo iškelti tokie uždaviniai:

- Atlikti radijo ryšio technologijų ir vietos nustatymo metodų analizę.
- Atlikti RSSI priklausomybių nuo atstumo matavimus ir sudaryti jų matematinį modelį.
- Įvertinti vietos nustatymo patalpose pagal RSSI galimybes ir pasiūlyti tam tinkantį metodą.
- Pasiūlyti sprendimą, kuris leistų realizuoti vietos nustatymo pagal RSSI sistemą ir jos veikimo algoritmus.

## 1. Vietos nustatymo patalpose paslaugos aktualumas ir reikalavimai

Šiuo metu globalaus vietos nustatymo sistema yra nepakeičiamas įrankis tiek paprastiems vartotojams naudojantis navigacija keliuose ar pagalbos tarnyboms nustatyti nukentėjusiojo besikviečiančio pagalbos mobiliuoju telefonu turinčiu GPS bet ir žemėtvarkininkams tiksliai matuoti žemės sklypų plotus. Taigi atsiradus šiai technologijai atsirado nauja paslaugų kryptis LBS - vietovės nustatymu paremtos paslaugos. Tai yra tokios paslaugos, kaip socialiniuose tinkluose pranešimai apie netoliese esančius draugus, artimiausių restoranų, bankomatų ar parduotuvių vietovės, mobili navigacija, sveikatos priežiūros sistemoms, reklama kuri parenkama pagal vartotojo buvimo vietą, klientų daugiausia lankytinų vietų analizei ar logistikoje optimizuojant darbuotojų darbą bei daugelis kitų. Šiuo metu šios paslaugos yra labai paklausios, o rinka vis plečiasi pasiūlydama vis naujas paslaugas. 2013 metai Europoje LBS paslaugų pelnas siekė 735 milijonus eurų, o JAV siekė 1,8 milijardo eurų. Kasmet šių paslaugų pelnas auga ganėtinai dideliais šuoliais, Europoje vidutiniškai 25,8% per metus, o JAV 16.1% per metus. 1.1 pav. pavaizduotas LBS pajamų augimo prognozė „Berg Insight“ duomenimis. Todėl verta plėsti šią rinką plėtojant vietos nustatymo sistemas ir plečiant šios paslaugų galimybes.



1.1 pav. LBS paslaugų pajamų augimas Europoje ir JAV [2]

GPS tikslumas priklauso nuo kelių sąlygų, tai: oro ir atmosferos sąlygos, palydovų skaičiaus iš kurių gaunami duomenys, įrenginio antenos kokybės, žemėlapių kuriuose atvaizduojamos padėties koordinatės ir koordinacių apskaičiavimo metodo. Paprastiems vartotojams tipiška prieinama realaus laiko vietos nustatymo paslauga kurios urbanizuotose vietovėse siekia 1-15 m tikslumą priklausanti nuo prieš tai išvardintų sąlygų. Kadangi GPS yra reikalingas tiesioginis matomumas su palydovu, tai patalpose dėl per žemo signalo lygio sistema įveda laibai dideles paklaidas viršijančias net patalpų plotą

ar visai neveikia. Todėl tikslinga ieškoti alternatyvių būdų, kaip būtų galima nustatyti objekto vietą patalpose ir praplėsti LBS paslaugų galimybes. Dabar yra įvairių technologijų pritaikymo būdų nustatant objekto vietą patalpoje, bet visos turi atitinkamų trūkumų dėl brangios technologijos, taikymo lankstumo ar nepakankamo tikslumo. Atradus nebrangų būdą, kuris pakankamai tiksliai nustatytų objekto vietą patalpose bei būtų lankstus pasitelkiant technologijas atvertų kelią naujoms, kokybiškos paslaugoms.

Naudojantis vietos nustatymo patalpose sistema logistikoje yra sutaupoma laiko surandant tam tikrą krovinį, ar sekti darbuotojų esamas vietas, dideliuose sandėliuose, ir taip padėti optimizuoti įstaigos darbuotojų darbą ir padidinti našumą. Paprastaiems vartotojams naudojamas, kaip navigacijos įrankis prekybos centruose ar skaitmeninis gidas dideliuose muziejuose bei socialiniuose tinkluose. Komerciniams tikslams rinkti informaciją apie vartotojų maršrutus prekybos centruose, ar mažinti nuostoliams sekant prekybos centro vežimėlius, apsaugant juos nuo vagysčių. Taip pat užtikrinti saugumą tam tikruose pastatuose ir matyti lankytojų buvimo vietas pastate.

Šiuo metu yra siūloma įvairių vietos nustatymo patalpose sprendimų, kurios naudoja esamus Wi-Fi tinklus, taip pat diegia Bluetooth LE siųstuvus, naudoja RFID technologijas „fingerprint“ vietos nustatymui, bet reikalinga speciali programinė įranga, kuri yra brangi. Todėl ieškomas būdas kaip būtų galima pačiam realizuoti tokią sistemą ir siūlyti ją parduoti įmonėms

Šio darbo rezultatai galėtų būti naudojami projektuojant ir realizuojant vietos nustatymo patalpose naudojantis radijo bangų signalo lygiais (RSSI) sistemą (IPS – Indoor Positioning System). Todėl tikslinga įvertinti reikalavimus, kuriuos turi atitikti tokia sistema. Pagrindiniai kriterijai šiai sistemai yra naudojama technologija, vietos nustatymo tikslumas, įrangos ir išlaikymo kaina bei technologijos lankstumas pritaikant tam tikrai vietai. Taip pat svarbūs parametrai prisijungusių vartotojų kiekis, signalo aprėptis.

Pagrindiniai sistemos reikalavimai:

- Sistema turi naudoti išmaniesiems telefonams prieinama technologiją.
- Sistemos tikslumas turėtų prilygti GPS, tai reiškia šios sistemos tikslumas turi būti  $< 10$  m.
- Mažas energijos suvartojimas
- Įrenginių kaina turėtų būti vidutinė ar žemesnė.

Taigi, sistema turi naudoti vieną iš išmaniuosiuose telefonuose naudojamų technologijų, tai yra mobiliųjų ryšių, Wi-Fi ar Bluetooth technologijas. Naudojant vieną iš šių technologijų siekiame jog vietos nustatymo patalpose paslauga būtų prieinama didžiąjai daliai vartotojų. Sistemos tikslumas turi prilygti GPS sistemai, kurios tikslumas matuojant realiu laiku urbanizuotoje aplinkoje, judant yra 4 – 15 m jog tenkintų atitinkamą paslaugos kokybę. Sistemos įrengimo kaina turi neviršyti analogiškų sistemų vidutinės kainos, o sistemos išlaikymo kaštai minimalūs. Palaikyti pakankamą vartotojų skaičių, besinaudojant šia sistema ir išlaikytą paslaugos kokybę.

## 2 Tinkamų vietos nustatymui radijo ryšio technologijų analizė

Norint nustatyti objekto vietą patalpose pirmiausia reikalinga apžvelgti galimas radijo ryšio technologijas ir išrinkti tinkamiausią, bei apžvelgti vietos apskaičiavimo metodus ir parinkti tinkamiausią. Galimos nedidelio nuotolio radijo ryšio technologijos kurias turi didžioji dalis šiandien parduodamų išmaniųjų įrenginių, tai Wi-Fi ir Bluetooth. O vietos nustatymui dažniausiai naudojami apskaičiavimo metodai yra trilateracija ir trianguliacija,

### 2.1 Bluetooth technologija

Pirmoji apžvelgiamoji bevielio ryšio technologija yra Bluetooth. Tai yra trumpųjų radijo bangų, nelicencijuoto diapazono (2,4 – 2,485 GHz) technologija skirta perduoti informaciją nedideliu atstumu skirta sudaryti WPAN tinklus. Ši technologija buvo išrasta Ericsson kompanijos 1994 metais, norint sukurti ausines garsą perduodant belaide technologija. 1998 metais ši technologija standartizavo „Bluetooth Special Interest Group“ (SIG) sudarydama oficialius reikalavimus šiai technologijai, o 2002 metais IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) standartizavo Bluetooth 1.1 kuri yra aprašyta 802.15.1 standarte ir dažniausiai naudojama mobiliuosiuose įrenginiuose (telefonuose, planšetėse, nešiojamuose kompiuteriuose) bei periferiniuose įrenginiuose (pelės, klaviatūros, ausinės).

Bluetooth standartas naudoja FHSS (frequency hopping spread spectrum) technologija perduoti informaciją. Informacija yra perduodama 1 MHz kanalo pločio juosta iš 79 galimų kanalų. Kanalai keičiami kas 625  $\mu$ s, o tai reiškia jog perdavimo kanalas yra pakeičiamas 1600 kartų per 1 sekundę. Vykdam prietaisų paiešką kanalų keitimo sparta padvigubinama iki 3200 kartų per sekundę. Kanalų keitimas vykdomas pagal iš anksto nustatyta pseudoatsitiktine seka.

Taip pat Bluetooth technologija turi signalo galios lygio valdymą. Tai yra programiniu būdu galime keisti siunčiamo signalo galią. Tokiu būdu galima keisti įrenginių signalo aprėpties plotą ir energijos suvartojimą. Didinant signalo galią didėja signalo aprėpties plotas ir suvartojama energija.

Bluetooth technologija yra labai lanksti ir pigi, todėl yra vienas iš geriausių variantų kurti piko-tinklus (bent iš 2 įrenginių sudarytas mažas bevelis tinklas naudojantis Bluetooth technologiją nedideliu atstumu, tokiam pačiame kanale naudojant tą pačią dažnio keitimo seką). Technologijai populiarėjant, buvo stengiamasi plėsti jos galimybes didinant perdavimo greitį bei kitus aspektus. Šiai dienai naujausia šios technologijos versija yra Bluetooth 4.2. Apačioje pateikta visų technologijos versijų esminiai pasikeitimai bei duomenų perdavimo greitis 2.1.1 pav.

2.1.1 lentelė. Bluetooth technologijos versijų teorinės greitaveikos ir išleidimo metai[8]

Bluetooth Versija	Didžiausia greitaveika	Kada išleistas, m.
v1.1	723 kb/s	2002
v1.2	1.0 Mb/s	2005
v2.0	2.1 Mb/s	2004
v2.1	3.0 Mb/s	2007
v3.0	24 Mb/s	2009
v4.0	24 Mb/s	2010
v4.1	24 Mb/s	2013
v4.2	24 Mb/s	2014

Taip pat Bluetooth technologija yra skirstoma i tris klases pagal naudojama galią. Šis skirstymas atskiria skirtingos paskirties Bluetooth įrenginius, tai yra nurodo veikimo nuotolį bei naudojamą galią.

2.1.2 lentelė. Bluetooth galios klasių parametrai[8]

Galios klasė	Didžiausia signalo galia		Atstumas, m
	(mW)	(dB)	
1	100	20	~100
2	2,5	4	~10
3	1	0	~1

2.1.3 lentelė. Bluetooth ir Bluetooth LE pagrindiniai skirtumai[7]

Charakteristika	Bluetooth (BR/EDR)	Bluetooth LE
Radijo bangų fiziniai kanalai	79 kanalai 1 MHz pločio	40 kanalų 2 MHz pločio
Įrenginių paieška ir sujungimas	Skenavimas / Įrenginio kvietimas	Skelbiamasi apie atvira įrenginį
Galimas pikotinklų skaičius	Viso 255/ vienu metu aktyvių 7	Nelimituotas
Privatus įrenginių adresavimas	Neturi	Turi
Duomenų sparta	Iki 3 Mb/s	1 Mb/s naudojant GFSK moduliacija
Kodavimo algoritmai	E0/SAFER+	AES-CCM
Veikimo diapazonas	Iki 30 m	Iki 100 m
Vėlinimas	~100 ms	3 ms
Didžiausia signalo galia	100 mW (20 dB)	10 mW (10 dB)

Bluetooth 4.0 versijoje įdiegta papildoma funkcija žymima LE – vartojantis mažai energijos (Low Energy), o dar kartais vadinama Bluetooth smart. Ši papildoma funkcija praplečia technologijos galimybes. Naujosios technologijos techniniai parametrai skiriasi nuo standartinio Bluetooth, taigi galime Bluetooth technologija galime išskirti į 2 dalis ir palyginti, tai paprastasis Bluetooth versijos BR (Basic rate) bazinės spartos su EDR (Enchanted data rate) padidintos spartos ir Bluetooth 4.x LE (Low energy) mažos energijos suvartojimo specifikacijomis.

Kadangi šiam projektui nėra aktuali greitimeika, reikalinga tam tikra aprėptis ir energijos suvartojimas Bluetooth LE puikus variantas šiai sistemai.

## 2.2 Wi-Fi technologija

Mobiliuosiuose įrenginiuose viena populiariausių naudojamų technologijų duomenų perdavimui yra Wi-Fi. Ši technologija yra trumpųjų radijo bangų diapazono technologija skirta perduoti informaciją didele sparta vidutiniu atstumu ( iki 100m ) ir yra skirta sudaryti WLAN tinklus. Ši technologija, kaip ir Bluetooth, yra labai populiari, naudojama beveik visuose mobiliuosiuose įrenginiuose kaip priemone prisijungti prie tinklo. Ši technologija yra aprašoma kaip IEEE 802.11 standartas kuris gali naudoti 2.4 ir 5 Ghz dažnius. Pirmoji versija patvirtinta 1997 metais. Nuo 1997 metų išleista daugybė šio standarto versijų, bet šiuo metu plačiausiai naudojamos tik penkios Wi-Fi versijos (a,b,g,n,ac). Kiekvienoje versijoje yra didinamas technologijos efektyvumas, tai yra didinama perduodama sparta, stengiantis praplėsti veikimo diapazoną patalpose didinant atsparumą trukdžiams. Pagrindiniai standartai ir jų pagrindinės specifikacijos pateiktos 2.2.1 lentelėje.

Taigi, Wi-Fi standartus galime išskirti į dvi dalis, tai skirti vartotojams ar tam tikroms paslaugoms teikti (a, b, g, n, ac, ad, af ) ir kitos paskirties (d, e, f, h, i, lr, p, u, v, w, y), skirti suderinti tam tikrus protokolus ar naudoti kitas priemones perduoti informaciją, kaip 802.11lr standartas vietoj radijo bangų perduoti informacija naudoja infraraudonuosius spindulius. Taipogi Wi-Fi nepasižymi labai mažu energijos suvartojimu, remiantis „Demystifying 802.11n Power Consumption“ straipsnio duomenimis: „Tiriant 802.11n standarto energijos suvartojimą „Intel 4965“ įrenginį mažiausias pasiektas energijos suvartojimo lygis yra 46 mW“. Tai buvo pasiekta naudojant miego režimą. Priklausomai nuo perdavimo tipo (SISO, SIMO,MIMO) ir antenų skaičiaus (naudojama 1 ar 2) maksimalus energijos suvartojimas išauga iki 2,1 W.

2.2.1 lentelė. Wi-Fi standartų parametrai [4]

Protokolo versija	Standarto priėmimo data	Naudojamas dažnių diapazonas, GHz	Kanalo dydis, MHz	Didžiausia perdavimo sparta, Mb	Naudojama moduliacija	Veikimo atstumas patalpose, m	Veikimo atstumas, m
802.11	1997	2,4	22	2	DSSS, FHSS	20	100
802.11a	1999	3,7/5	20	54	OFDM	35	120
802.11b	1999	2,4	22	11	DSSS	35	140
802.11g	2003	2,4	20	54	OFDM, DSSS	38	140
802.11n	2009	2,4/5	20	72,2	OFDM	70	250
			40	150			
802.11ac	2013	5	20	96,3	OFDM	35	120
			40	200			
			80	433,3			
			160	866,7			
802.11ad	2012	60	2160	Iki 6912	OFDM	60	100
802.11af	2012	60	2160	Iki 6912	OFDM	60	100

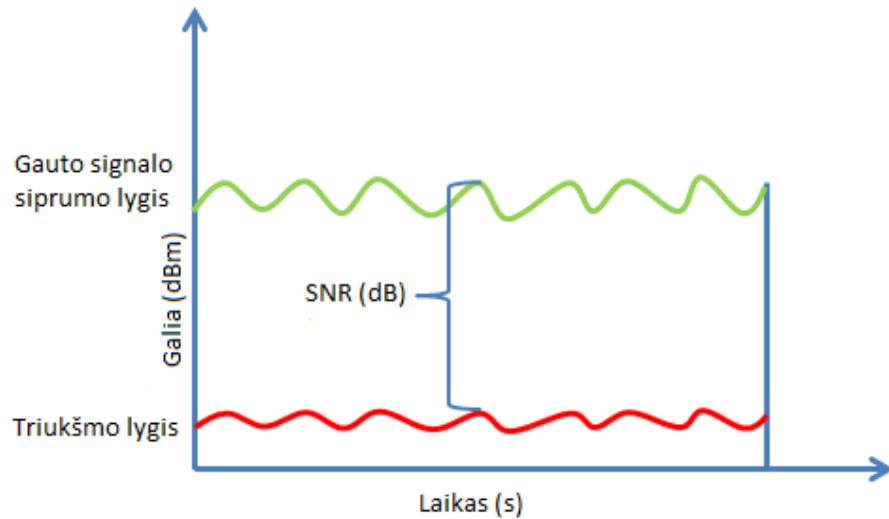
Taigi Wi-Fi stipriai nusileidžia Bluetooth LE pagal energijos suvartojimą, kai pastaroji, remiantis dokumentacija, vidutiniškai suvartoja 10 mW<sup>[17]</sup> energijos. Pagrindiniai Wi-Fi technologijos privalumai prieš Bluetooth, tai jog ji šiek tiek lenkia signalo aprėptimi ir didesne informacijos perdavimo sparta. Atsižvelgiant jog abiejų technologijų aprėptis yra ganėtinai panaši, bet žymiai skiriasi energijos suvartojimas, tinkamiausia šiai sistemai yra Bluetooth technologija.

### 2.3 Objekto vietos nustatymo metodai

Nustatyti objekto vietą naudojantis radijo bangomis, reikalinga išsirinkti tinkamiausią naudojamų parametų charakteristiką, kuri bus naudojama vietos nustatymui ir pritaikyti šiuos duomenis vietos apskaičiavimui.

Renkantis signalo charakteristiką apžvelgsime SNR ir RSSI parametrus.

SNR – tai triukšmo ir signalo lygio santykis kuris parodo kiek kartų signalas yra stipresnis už triukšmų lygį (2.3.1 formulė). Jei signalo lygis yra žemesnis nei triukšmų lygis, tai signalo neaptinkamas. Todėl šis parametras gali būti naudojamas kaip vietos nustatymo įrankiu, matuojant signalo lygį, įvertinant signalo kokybės lygį, arba aptikti, ar signalas yra aptinkamas.



2.3.1 pav. SNR atvaizdavimo grafikas

$$SNR = \frac{P_{sig}}{P_{triukš}}, \quad 2.3.1$$

kai SNR – signalo triukšmo santykis,  $P_{sig}$  - gauto signalo galia,  $P_{triukš}$  – triukšmo lygis.

RSSI – signalo stiprumo indikatorius decibelais. Šis parametras, kuriuo galima apibūdinti gaunamo signalo kokybę nurodo signalo galią. Bluetooth LE atveju, paprastai, signalo kokybė apibūdinta kaip nurodyta 2.3.1 lentelėje.

2.3.1 lentelė. Signalo kokybė pagal RSSI

RSSI	Signalų lygis
$\dots < -65$ dBm	Puikus
$-65$ dBm $< \dots < -80$ dBm	Geras
$-80$ dBm $< \dots < -97$ dBm	silpnas
$\dots > -97$ dBm	Nėra signalo

Naudojant RSSI reikšmę galima matuoti atstumą naudojant signalo galios priklausomybę nuo atstumo, priskiriant tam tikrą radijo bangų sklaidimo modelį. Tikslumas, nustatant atstumą tarp įrenginių naudojantis RSSI, priklauso nuo radijo bangų sklaidimo modelio, nes patalpose reikia įvertinti daugybę veiksnių, kurie skirtingose vietose nėra pastovūs. Kiekvienas veiksnys skirtingai įtakoja radijo bangų sklaidimą, tai yra skirtingai praleidžia ir skirtingai atspindi radijo bangas. Atstumui įvertinti tarp įrenginių naudojantis RSSI parametru formulė pavaizduota 2.3.2. Ši formulė naudojama skaičiuoti laisvoje erdvėje, todėl naudoti skaičiavimams netinkama. Reikalinga atlikti signalo stiprumo nuo atstumo priklausomybės tyrimą ir sudaryti matematinį modelį kuriamai sistemai.



$$d = 10^{((P_0 - F_m - P_r - 10 \times n \times \log_{10}(f) + 30 \times n - 32,44) / 10 \times n)}, \quad 2.3.2$$

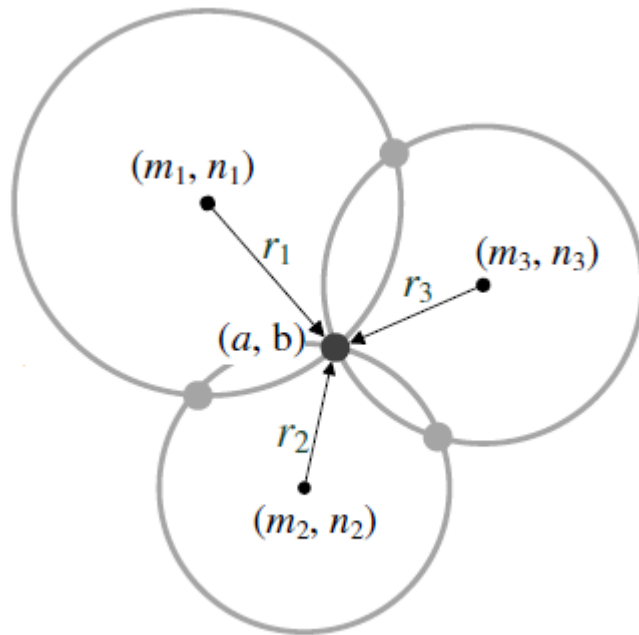
kai:  $d$  – atstumas;  $P_0$  – signalo išsiunčiama galia;  $F_m$  – signalo stiprumas iki kurio sistema dar veikia ( šiuo atveju iki -100 dBm), priklausomai nuo įrenginio jautrumo);  $P_r$  – signalo gaunama galia;  $n$  – signalo slopinimo eksponentė;  $(f)$  – naudojamas dažnis.

Signalų slopinimo eksponentė apibūdina signalo sklaidimo terpę, tai yra įvertina kaip signalas slopsta skirtingose vietovėse. Pavyzdžiui laisvoje erdvėje šis koeficientas yra lygus  $n=2$ , o pastato viduje svyruoja 4-6. Kadangi ši formulė naudojama skaičiuoti laisvoje erdvėje, o projektuojama sistema skirta vidaus patalpose, reikalinga atlikti matavimus ir išvesti matematinį modelį skirta būtent tam pastatui.

Analogiškai atstumui matuoti galima naudoti ToA (Time of arrival) – signalo sklaidimo laikas. Apskaičiuojamas laikas per kurį signalas iš siųstuvo nukeliauja iki imtuvo. Sistema skirta siųsti ir priimti signalus nedideliu atstumu ir todėl šis parametras yra netinkamas, nes naudojant jį reikalinga labai tiksli laiko sinchronizacija tarp naudojamų įrenginių. TDoA (Time different of arrival) – laiku skirtumas tarp gaunamų signalų. Šis parametras taip pat netinkamas, nes jam reikalinga papildoma aparatinė įranga, kad galėtų vienu metu skleisti 2 skirtingo dažnio signalus, kurių sklaidimo greičiai skiriasi. Pastarosios dvi charakteristikos yra naudojamos palydovinėje navigacijoje.

SNR ir RSSI charakteristikos gali būti naudojamos vietos nustatymo sistemose kuriose naudojama vadinama „Pirštų antspaudų“ (fingerprint) pagrindu apskaičiuojama buvimo vieta. Šis metodo vietos nustatymo tikslumas priklauso nuo atsižymėjimo taškų skaičiaus tam tikrame plote, o objekto vieta žemėlapyje nustatoma identifikuojant artimiausią „fingerprint“ ir objekto vieta nustatoma priskiriama esama „fingerprint“ vieta.

Trilateracija – tai vietos apskaičiavimo būdas naudojant bent tris žinomus taškus (1 taškas atskaitos, 2 taškai nustatyti vietos koordinatės), plokštumoje ar erdvėje, iš kurių sudaromos apskritimų sistemos, kuriomis naudojantis apskaičiuojama objekto koordinatės. Ši trimatė sistema buvo naudojama pirmose GPS navigacijos sistemose. Kad šią sistemą pritaikyti patalpų navigacijai sistema buvo pakeista į dvimatę supaprastinant skaičiavimus. Atstumas tarp įrenginių yra priskiriamas žinomo taško apskritimo spinduliu, kaip parodyta 2.3.2 pav.



2.3.2 pav. Dvimatės triliteracijos metodo diagrama

Žinomi taškai priskiriami kaip apskritimų centras kurių koordinatės priskiriamos  $m_x$  ir  $n_x$ , o atstumas iki objekto yra to apskritimo spindulys  $r_x$ . Sudaroma lygčių sistema 2.3.2.

$$\begin{cases} (a - m_1)^2 + (b - n_1)^2 = r_1^2 \\ (a - m_2)^2 + (b - n_2)^2 = r_2^2 \\ (a - m_3)^2 + (b - n_3)^2 = r_3^2 \end{cases} \quad 2.3.2$$

Kad gauti objekto koordinates, reikalinga suprastinti lygtis. Suprastinimas vyksta pasinaudojant Gauso teorema, lygtis paverčiant matricomis pritaikant 2.3.3 formulę.

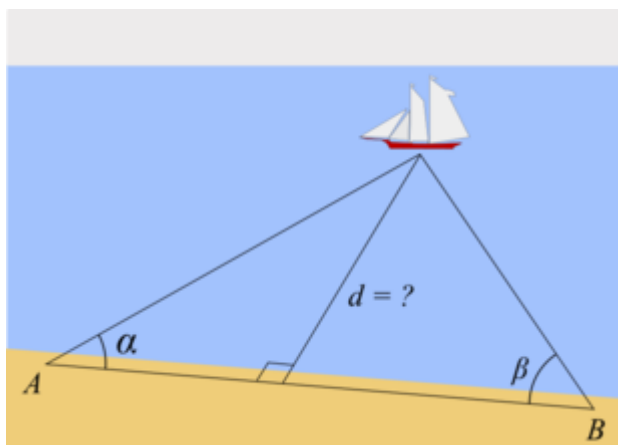
$$x = a^{-1}b \quad 2.3.3$$

Lygčių sistemą pavertus į matricą ir pritaikius Gauso teorema išvedama formulė 2.3.4

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2m_1 - 2m_2 & 2n_1 - 2n_2 \\ 2m_1 - 2m_3 & 2n_1 - 2n_3 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} r_2^2 - r_1^2 + m_1^2 - m_2^2 + n_1^2 - n_2^2 \\ r_3^2 - r_1^2 + m_1^2 - m_3^2 + n_1^2 - n_3^2 \end{bmatrix} \quad 2.3.4$$

Žinant stacionarias  $m_x$  ir  $n_x$  koordinates ir apskaičiuojant atstumus  $r_x$  naudojantis signalo stiprumo lygiais nustatomos objekto koordinatės.

Trianguliacija - objekto vietos nustatymo metodas sudarant trikampių sistemas tarp objekto ir taškų su žinomomis jų koordinatėmis. Žinant kampus tarp objekto ir taškų su žinomomis koordinatėmis apskaičiuojama pritaikant sinusų teoremą.



2.3.3 pav. Trianguliacijos metodas

Žinant atstumą tarp  $A$  ir  $B$  ir jį aprašius kaip simboli  $l$  galima apskaičiuoti atstumą  $d$  pagal žemiau pateiktas formulę.

$$d = l \frac{\sin(\alpha) \sin(\beta)}{\sin(\alpha + \beta)} \quad 2.3.5$$

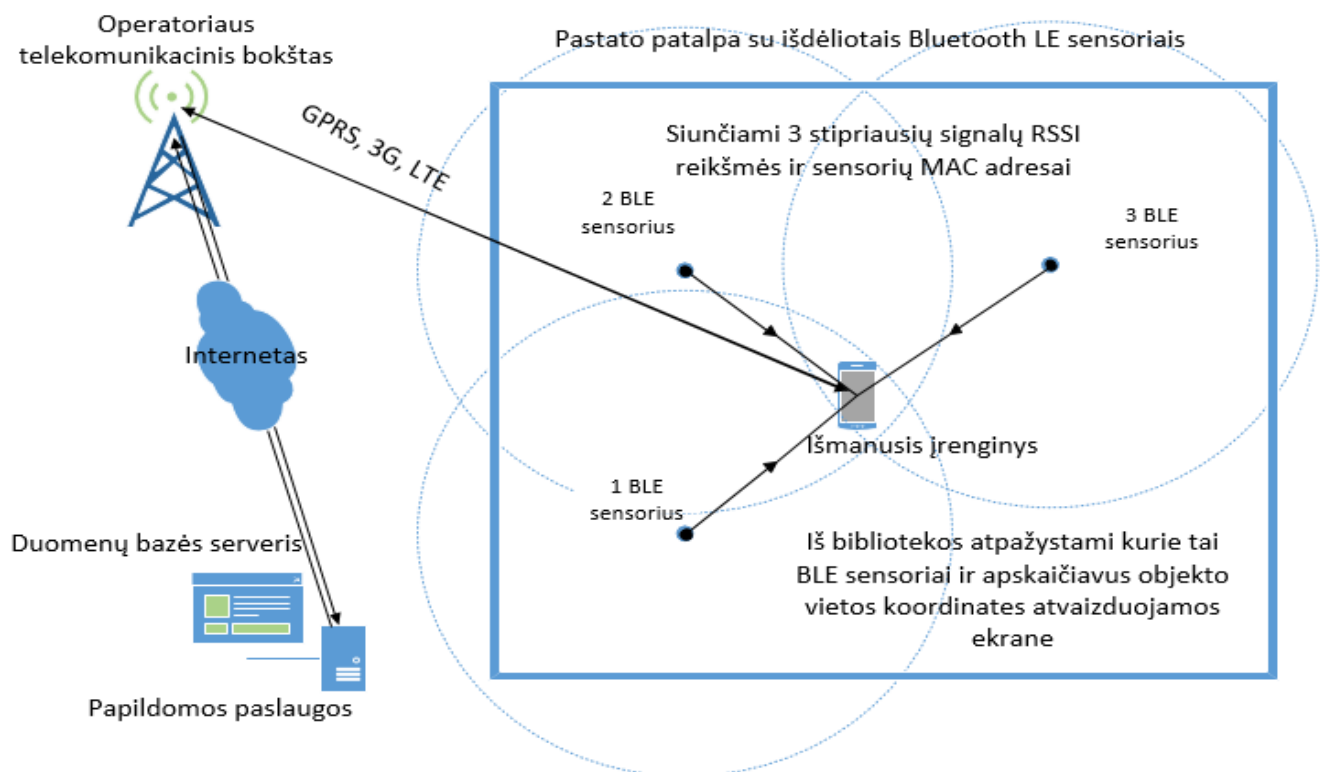
Trilateracija ir trianguliacija yra tinkami būdai apskaičiuoti objekto vietai, bet naudojantis RSSI negalime naudoti trianguliacijos, nes reikalinga žinoti kampus tarp siųstuvų ir įrenginio. Bluetooth technologijoje tokios funkcijos nėra numatyta ir negali nustatyti kampo tarp įrenginių, todėl tinkamiausias objekto vietos apskaičiavimo metodas yra trilateracija.

### 3 IPS galimybių analizė

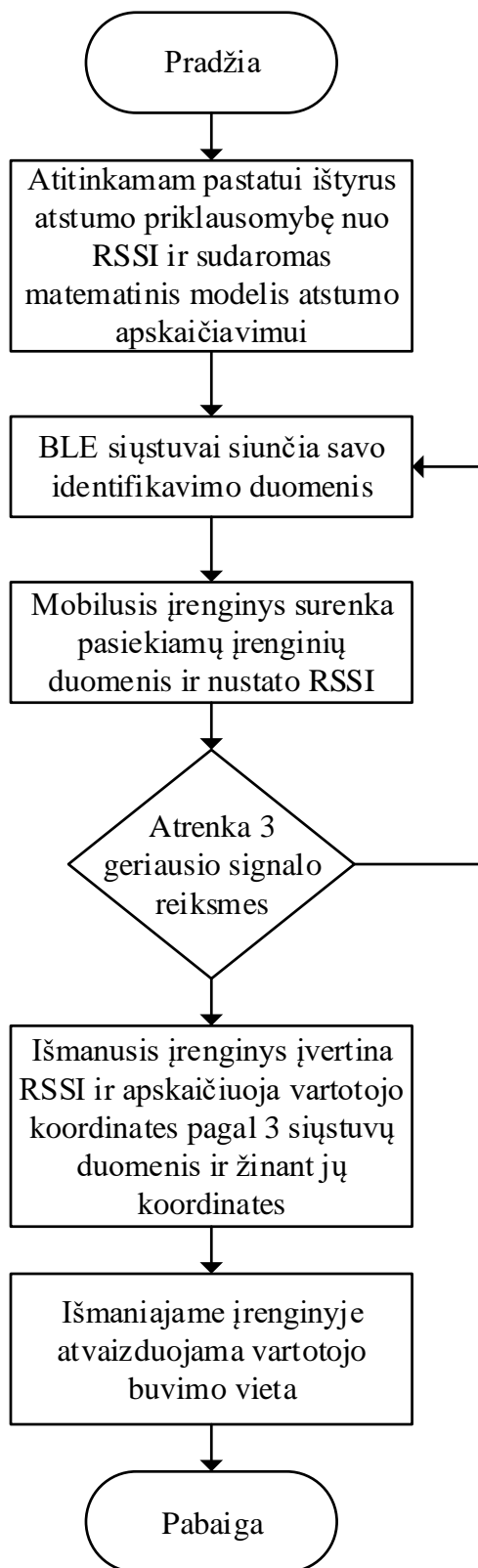
#### 3.1 IPS naudojant trilateracijos metodą

IPS sistemai parengti reikalinga pateikti sistemos modelį kuris atvaizduotų visą sistemos veikimo principą. Apačioje pateikta principinė sistemos schema 3.1.1 pav. ir paaiškintas veikimo principas.

Pirmiausia reikalingas pastatas kuriame tam tikru principu išdėlioti Bluetooth LE siųstuvai. Šio atveju siųstuvai išdėstyti lygiagrečiai, vienodu atstumu vienas iki kito, o bet kuriame šio pastato taške turime pasiekti bent 3 siųstuvų signalus. Kiekvienas siųstuvas identifikuojamas MAC adresu ir yra žinomos tikslios kiekvieno įrenginio koordinatės sudarytame pastato žemėlapyje. Mobilus įrenginys su Bluetooth LE siųstuvu ir programėle sugebančia surinkti signalų lygius (RSSI) ir turinčia pastato planą kuriame būtų galima atvaizduoti vartotojo poziciją. Mobilus įrenginys prieiga prie interneto perduoti gautus duomenis (Wi-Fi, GPRS, 3G, LTE) į duomenų apdorojimo serverį. Duomenų apdorojimo serveris, kuris gautus duomenis apdoroja, tai yra atrenka 3 geriausius signalo lygius, atpažįsta kurie tai siųstuvai ir įvertina atstumą iki įrenginio naudojantis gautu matematinio modeliu. Objekto vietos nustatymas atliekamas žinant tikslias bent trijų Bluetooth siųstuvų koordinatės iš kurių gaunami geriausi signalų lygiai. Apskaičiavus iš RSSI į atstumą metrais naudojantis 2.3.4 formule apskaičiuojamą objekto vieta. Iš duomenų apdorojimo serverio išsiunčiama informacija atgal išmaniajam įrenginiui. Išmanusis įrenginys atvaizduoja vartotojo buvimo vietą.



3.1.1 pav. IPS, kurioje naudojama trilateracija, principinė schema



3.1.2 pav. Sistemos veikimo algoritmas

Pateiktame sistemos algoritme sutrumpintai atvaizduoti pagrindiniai veiksmai atliekant objekto vietos nustatymą.

Siekiant įvertinti tokios sistemos galimybes, reikia praktiškai ištirti kokia yra atstumo priklausomybė nuo RSSI lygio.

### 3.2 Naudojama įranga

Tyrimams atlikti ir įvertinti reikalingus parametrus reikalingas android įrenginys ir Bluetooth LE modulis. „Android“ įrenginys turi atitikti reikalavimus, tai yra turi turėti ne žemesnę nei „Android KitKat“ 4.3 operacinės sistemos versiją ir turėti bent „Bluetooth 4.0“ integruotą modulį. 3.2.1 pav. pavaizduotas naudojamas įrenginys LG L90. Šiame įrenginys įdiegta Android Loli-pop 5.0.2 operacinės sistemos versija ir turi reikalingą „Bluetooth 4.0“ integruotą modulį.



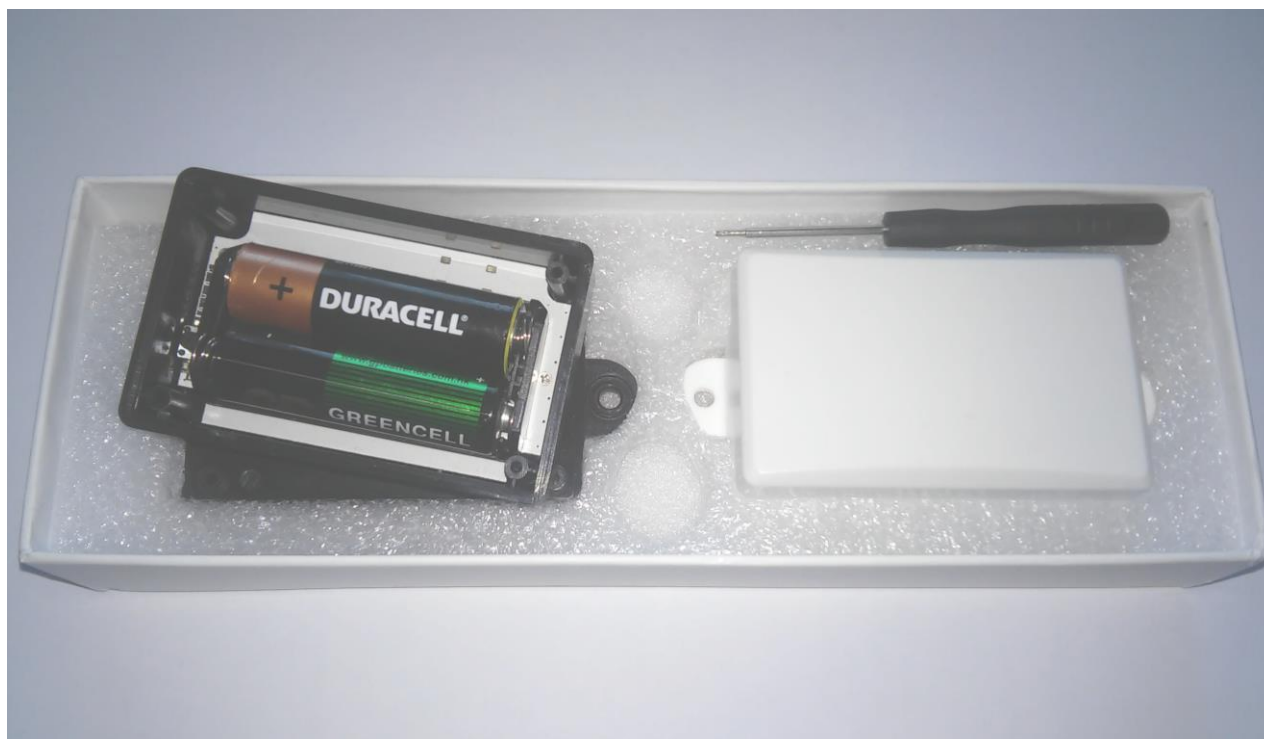
3.2.1 pav. LG L90 Android įrenginys

Bandymams atlikti naudojamas Bluetooth LE įrenginys „MINEW Technologies“ kompanijos produktas „The MiniBeacon i3“ pavaizduotas 3.2.2 pav. Įrenginys pagamintas naudojant šios kompanijos aparatine ir programinę įrangą. Įrenginys suprojektuotas naudojant CC2540/CC2541 BLE 4.0 lustą, kuris pasižymi didelės spartos integruota antena kuri, pasak gamintojų, leidžia priimti signalą iki 180 m atstumu laisvoje erdvėje. Kaip energijos šaltinį naudoja dvi AA tipo baterijas kurios pasak gamintojo naudojant numatytuosius parametrus veikia iki 5 metų. Pagrindinės šio modulio specifikacijos pateiktos 3.2.1 lentelėje.

3.2.1 lentelė. Bluetooth LE modulio charakteristikos [20]

	Reikšmė	Detalesnis aprašymas
Programinė aparatinė įranga	BLE 4.0 stekas	V1.4x
Energijos šaltinis	2xAA	1000 mAh, 3.0 V
Naudojama įtampa	1.8-3.6 V	DC (nuolatinė įtampa)
Grandinės perdavimo srovė	10.5 mA	Maksimali reikšmė naudojant 0dBm perdavimo galią.
Veikimo atstumas	180 m	Maksimalus atstumas laisvoje erdvėje.
Antena	50ohm	Mikroschemoje įmontuota PCB Antena
Atiduodama galia	0 dBm	Pagal numatytuosius parametrus, gali būti programiškai keičiamas (-30dBm to +4dBm)
Imtuvo jautrumas	- 97 dBm	Minimalus signalo lygis

Apacioje pavaizduoti naudojami „Bluetooth LE Beacon“ įrenginiai.

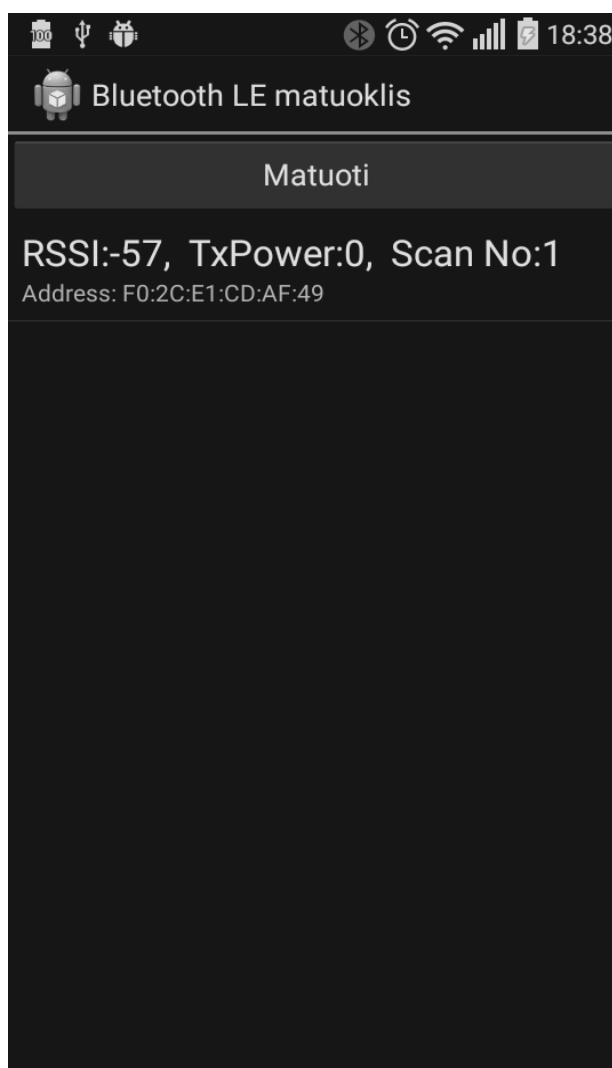


3.2.2 pav. Bluetooth LE moduliai

### 3.3 Programinės įrangos paruošimas

Tam kad būtų galima atlikti tyrimus reikalinga paruošti programinę įrangą, kuri „Android“ platformoje galėtų aptikti „Bluetooth LE beacon“, jį identifikuoti nurodant MAC adresą ir nurodyti signalo stiprumo lygį RSSI. Pradinės programėlės versijos vaizdas nurodytas 3.3.1 pav. kuriame nurodomas RSSI lygis, matavimų skaičius ir įrenginio adresas.

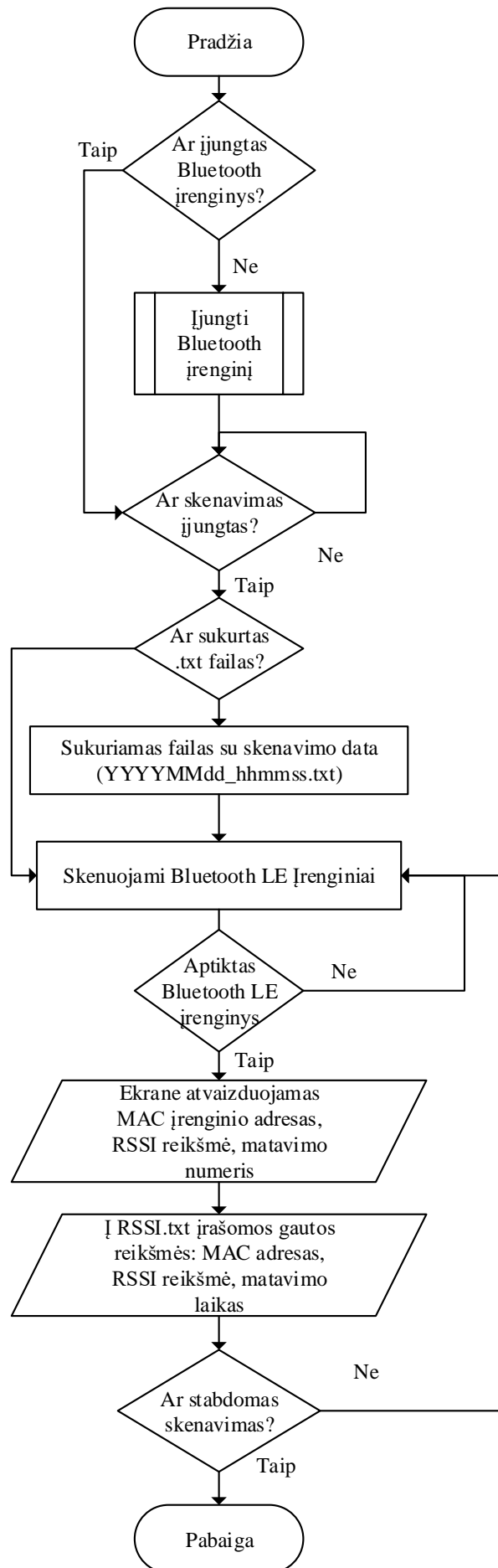
Programėlė skirta matuoti signalo stiprumo lygį kurta naudojant C# (C sharp) kalbą. Pilnas šios programėlės kodas pateiktas 1 priede. Programėlė kurta naudojantis „Microsoft Visual Studio 2015“ programine įranga su papildiniu skirtu kurti programėles Android ir iOS platformoms – „Xamarin“, bei naudojant atvirojo kodo šaltinius.



3.3.1 pav. Android programėlė signalo stiprumui matuoti

Pateiktas sukurtos programėlės veikimo algoritmas 3.3.2 pav. kuris atvaizduoja programėlės veikimo eigą.





3.3.2 pav. RSSI matavimo programėlės algoritmas

Pateikiamos pagrindinės programėlės funkcijos ir jos paaiškinamos plačiau.

Programos naudojamos bibliotekos;

```
using System;
using Android;
using Android.Bluetooth;
using System.Collections.Generic;
using System.Threading.Tasks;
using System.IO;
using Android.Bluetooth.LE;
```

Priskiria duomenų saugojimų vietą;

```
string filepath = „./storage/emulated/0/rssi/“;
string newPath = string.Empty;
FileStream _fileStream = null;
```

Skenavimo funkcijos pradžia;

```
public async Task BeginScanningForDevices()
{
    try
    {
```

Patikrina ar yra sukurta failo saugojimo direktorija;

```
        if (Directory.Exists(„./storage/emulated/0/“))
        {
            if (!Directory.Exists(„./storage/emulated/0/rssi/“))
                Directory.CreateDirectory(„./storage/emulated/0/rssi/“);
```

Sukuriamas .txt failas kuriame saugojami duomenys;

```
            newPath = filepath + DateTime.Now.ToString(„YYYYMMdd_hhmmss“).ToString() + „.txt“;

            if (_fileStream != null)
                _fileStream.Close();
            _fileStream = new FileStream(newPath, FileMode.OpenOrCreate, FileAccess.ReadWrite, FileShare.Read);
            foreach (byte Byte in DateTime.Now.ToString() + System.Environment.NewLine)
                _fileStream.WriteByte(Byte);
        };
    }
}
```

Sukuriamas atrastų Bluetooth įrenginių sąrašas;

```
{
    this._isScanning = true;
    this._discoveredDevices = new List<BluetoothDevice>();

    {
```

Nustatomas laiko intervalas (ms) matavimams atlikti (kas kokį laiko tarpą atnaujinti duomenis);

```
this._adapter.StartLeScan(this);
    await Task.Delay(500);
    this._adapter.StopLeScan(this);
```

Skenavimo sustabdymas ir duomenų rašymo į failą sustabdymas;

```
        {
            scanneris = false;
```

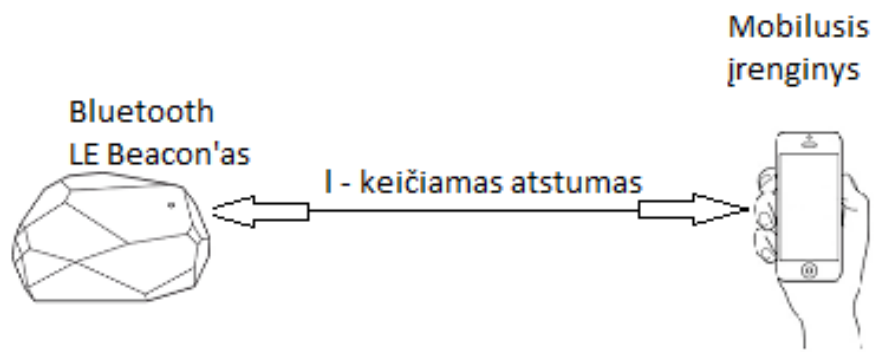
```
this._isScanning = false;
this._adapter.StopLeScan(this);
_fileStream.Close();
}
```

Bluetooth LE Beacono išsiunčiamo signalo stiprumo (TX Power) gavimas iš gauto Bluetooth duomenų paketo;

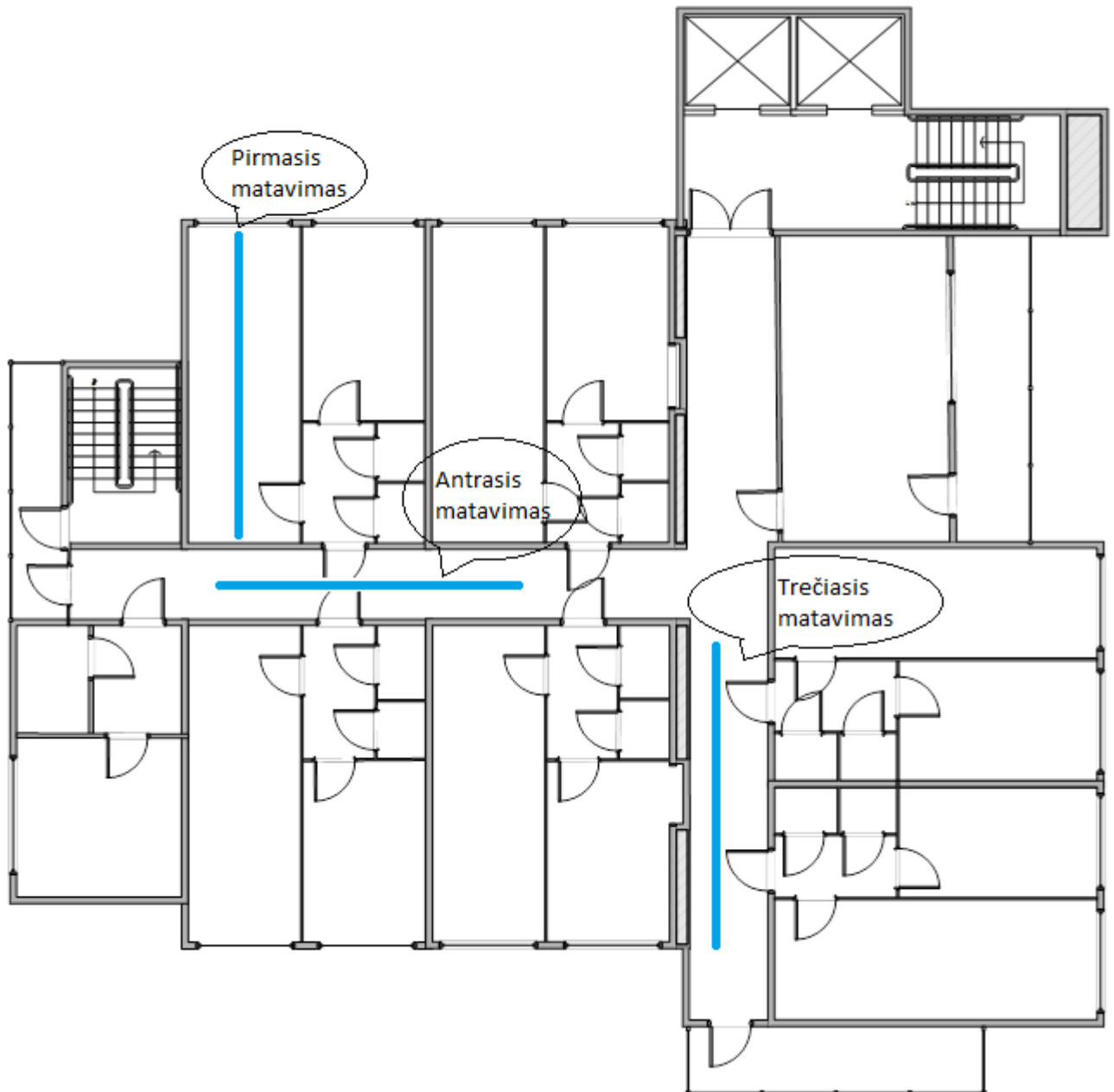
```
public void OnLeScan(BluetoothDevice device, int rssi, byte[] scanRecord)
{
    try
    {
        if (scanRecord == null)
        {
            return;
        }
        int txPower = int.MinValue;
        int currentPos = 0;
        bool nextDataTypeBlock = false;
        bool nextTxPower = false;
        foreach (byte baitas in scanRecord)
        {
            if (currentPos == 0)
            {
                currentPos = baitas;
                nextDataTypeBlock = true;
            }
            else
            {
                if (nextTxPower)
                {
                    txPower = baitas;
                    nextTxPower = false;
                }
                if (nextDataTypeBlock)
                {
                    if (baitas == 0x0A)
                        nextTxPower = true;
                    nextDataTypeBlock = false;
                }
            }
            currentPos--;
        }
    }
}
```

### 3.4 RSSI priklausomybės nuo atstumo tyrimas

Naudojantis „Bluetooth LE beacon“ ir mobiliuoju telefonu LG L90. Šiame mobiliajame įrenginyje yra Bluetooth 4.0 versijos modulis ir operacinės sistema Android 5.0.2, kuriame įdiegta sukurta programinė įranga matuoti signalo stiprumo lygį RSSI. Tyrimui atlikti buvo pasirinktas atitinkamas atstumas kiekvienam atvejui iki 10 m. Kiekviename taške atlikti bent 20 matavimų įrenginius pastačius stacionariai, vienodame aukštyje ( 0.5 m ) ir nesudarant kliūčių tiesioginiam matomumui tarp įrenginių. Paruošus įrenginius atliekame matavimus ir nustatome vidutinį RSSI kiekvienam iš pasirinktų atstumų. Matavimo schema pavaizduota 3.4.1 paveikslėlyje.



3.4.1 pav. RSSI matavimo schema



3.4.2 pav. Pastato planas kuriame atliekami matavimai

3.4.3

Matavimai atliekami patalpoje kurios planas nurodytas 3.4.2 pav, nesudarant kliūčių tarp įrenginių. Prieš atliekant matavimus, parenkamas reikalingas atstumas ir naudojantis matavimo rulete

išmatuojamas atstumas įrenginiams išdėstyti. Įrenginiai pastatomi vienodame aukštyje ir nejudinami kol nebaigiama atlikti matavimų.

Tikslumui padidinti, matavimo ciklas buvo pakartotas dar 2 kartus tam pačiam atstumui po 20 matavimų, jog įsitikinti, kad matavimo sąlygos nesikeičia, ir gauti kuo tikslesnius matavimų rezultatus bei tiksliau įvertinti RSSI vertės priklausomybei nuo atstumo. Žemiau pateikta atliktų matavimų rezultatai.

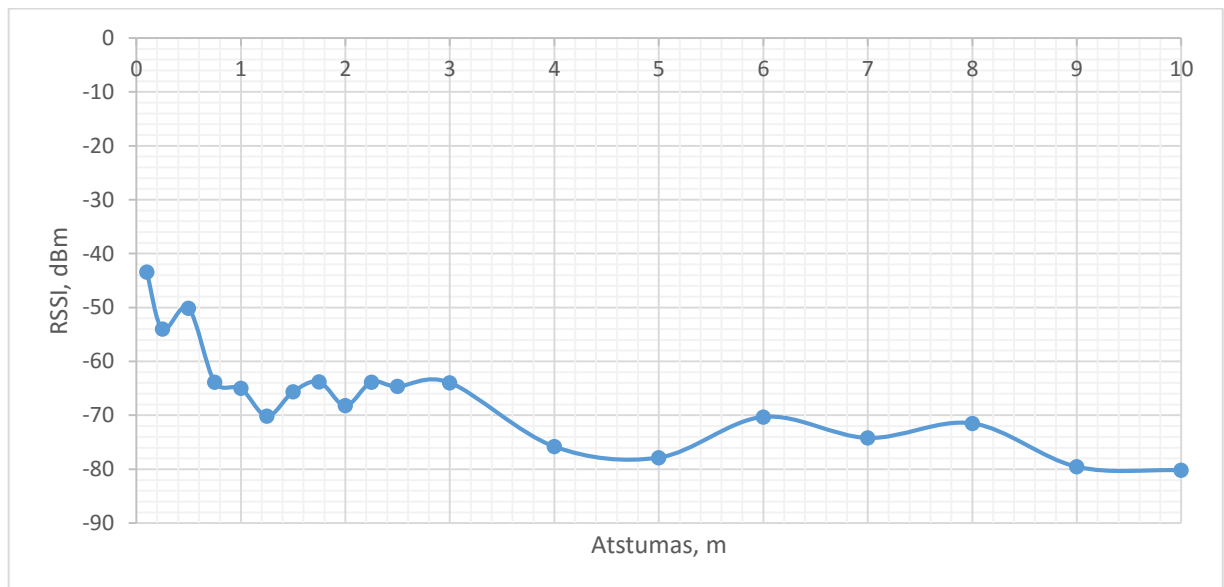
3.4.1 lentelė. Signalo stiprumo lygiai dBm, 1 bandymas

Matavimo Nr.	l=0,1 m	l=0,25 m	l=0,5 m	l=0,75 m	l=1 m	l=1,25 m	l=1,5 m	l=1,75 m	l=2 m
1	-45	-46	-52	-62	-63	-65	-67	-60	-73
2	-43	-52	-50	-61	-71	-64	-67	-77	-72
3	-44	-59	-49	-64	-71	-74	-66	-60	-72
4	-45	-59	-49	-62	-61	-68	-66	-59	-66
5	-44	-54	-48	-66	-61	-71	-68	-62	-69
6	-44	-53	-50	-63	-70	-64	-66	-60	-66
7	-43	-56	-53	-61	-61	-65	-68	-77	-65
8	-42	-56	-49	-66	-70	-76	-69	-60	-66
9	-42	-56	-50	-61	-61	-72	-64	-60	-71
10	-43	-55	-50	-61	-70	-64	-65	-60	-65
11	-43	-51	-52	-63	-61	-76	-63	-60	-71
12	-42	-52	-52	-67	-61	-64	-64	-60	-71
13	-44	-59	-49	-64	-61	-76	-64	-61	-65
14	-44	-52	-47	-66	-63	-72	-64	-76	-66
15	-44	-53	-51	-65	-70	-72	-64	-61	-70
16	-44	-52	-50	-65	-70	-71	-64	-61	-72
17	-43	-52	-51	-67	-62	-72	-66	-61	-70
18	-43	-50	-51	-66	-61	-70	-65	-77	-66
19	-42	-58	-49	-62	-62	-72	-66	-61	-65
20	-45	-54	-51	-65	-70	-75	-67	-63	-63
Vidurkis, dBm.	-43,45	-54	-50,15	-63,85	-65	-70,15	-65,65	-63,8	-68,2

Pirmojo bandymo metu pastebėta jog RSSI reikšmė kinta, nors tarp įrenginių nėra keičiamas atstumas ar sudaromos papildomos kliūtys signalo sklidimui. Mažiausiam atstumui, 0,1 m RSSI kinta 3 dBm, o didėjant atstumui amplitudė didesnė. Taigi, šis reiškinys apunkina galimybe tiksliai nustatyti objekto vietą.

3.4.2 lentelė. Signalo stiprumo lygiai dBm ,1 bandymas

Matavimo Nr.	l=2,25 m	l=2,5 m	l=3 m	l=4 m	l=5 m	l=6 m	l=7 m	l=8 m	l=10 m
1	-67	-63	-67	-74	-77	-71	-84	-78	-84
2	-62	-63	-60	-78	-77	-68	-82	-68	-77
3	-66	-67	-66	-74	-74	-70	-71	-72	-84
4	-68	-63	-60	-75	-86	-67	-73	-73	-77
5	-67	-63	-60	-77	-86	-70	-73	-67	-80
6	-63	-64	-61	-76	-76	-70	-70	-78	-77
7	-66	-70	-66	-77	-76	-70	-69	-74	-86
8	-66	-68	-61	-74	-72	-70	-79	-70	-83
9	-62	-63	-66	-80	-71	-67	-77	-77	-76
10	-66	-67	-66	-76	-84	-70	-74	-71	-79
11	-60	-63	-67	-76	-77	-70	-70	-77	-83
12	-62	-67	-67	-74	-73	-67	-74	-70	-77
13	-66	-63	-65	-80	-77	-72	-79	-69	-77
14	-60	-63	-60	-76	-77	-73	-72	-68	-84
15	-61	-67	-67	-76	-77	-74	-69	-76	-76
16	-61	-63	-60	-73	-81	-72	-70	-66	-77
17	-66	-63	-61	-73	-85	-71	-72	-72	-84
18	-62	-63	-67	-80	-75	-68	-77	-66	-77
19	-60	-63	-66	-73	-75	-73	-78	-66	-80
20	-66	-67	-66	-74	-81	-73	-71	-72	-86
Vidurkis, dBm	-63,85	-64,65	-63,95	-75,8	-77,85	-70,3	-74,2	-71,5	-80,2



3.4.4 pav. RSSI priklausomybė nuo atstumo

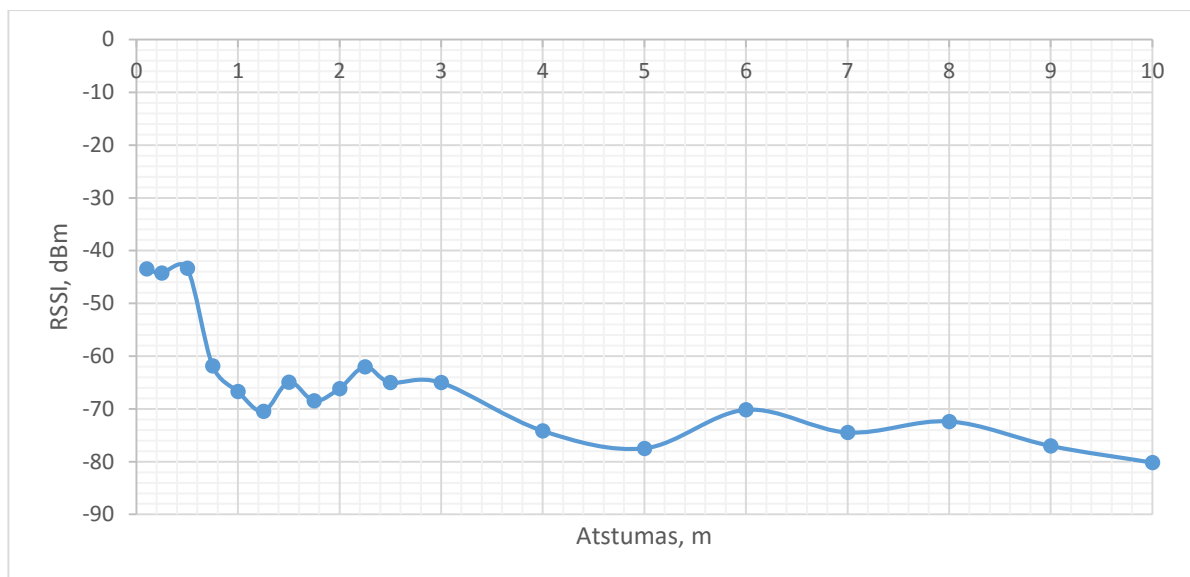
Atlikus pirminius matavimus, pastebėta jog RSSI reikšmė tolygiai nemažėja, o slopstant signalui iki tam tikros ribos, vėl pastebimas signalo lygio pakilimas. Taip yra todėl, nes aplinkoje yra nemažai trukdžių, tai yra to paties dažnio signalų (Wi-Fi), taip pat atspindžiai nuo patalpos paviršių, kurie sukelia interferencinius trikdžius.

3.4.5 lentelė. Signalų stiprumo lygiai dBm, 2 bandymas

Matavimo Nr.	l=0,1 m	l=0,25 m	l=0,5 m	l=0,75 m	l=1 m	l=1,25 m	l=1,5 m	l=1,75 m	l=2 m
1	-40	-46	-44	-58	-64	-70	-66	-71	-61
2	-42	-43	-43	-59	-66	-73	-66	-68	-64
3	-39	-45	-44	-62	-66	-72	-67	-73	-60
4	-42	-43	-42	-60	-64	-70	-67	-73	-64
5	-41	-45	-42	-59	-66	-73	-67	-65	-73
6	-41	-45	-43	-63	-70	-70	-65	-67	-60
7	-41	-44	-44	-63	-70	-70	-65	-74	-64
8	-42	-44	-43	-61	-66	-68	-67	-67	-60
9	-44	-44	-43	-67	-66	-72	-65	-67	-72
10	-46	-44	-44	-65	-66	-71	-62	-63	-64
11	-46	-44	-44	-62	-66	-71	-65	-64	-65
12	-46	-44	-44	-61	-70	-70	-65	-73	-61
13	-45	-44	-42	-61	-70	-70	-65	-72	-66
14	-46	-44	-42	-59	-64	-70	-62	-67	-63
15	-43	-45	-43	-66	-64	-70	-65	-63	-71
16	-42	-43	-44	-61	-64	-70	-62	-75	-61
17	-46	-45	-42	-62	-70	-69	-62	-66	-78
18	-46	-45	-45	-61	-64	-70	-62	-65	-61
19	-46	-44	-44	-61	-65	-70	-67	-67	-76
20	-45	-44	-44	-65	-73	-70	-66	-69	-78
Vidurkis	-43,45	-44,25	-43,3	-61,8	-66,7	-70,45	-64,9	-68,45	-66,1

3.4.6 lentelė. Signalų stiprumo lygiai dBm, 2 bandymas

Matavimo Nr.	l=2,25 m	l=2,5 m	l=3 m	l=4 m	l=5 m	l=6 m	l=7 m	l=8 m	l=10 m
1	-66	-63	-67	-73	-73	-68	-76	-80	-79
2	-60	-63	-67	-79	-78	-71	-74	-76	-75
3	-66	-64	-67	-71	-79	-71	-74	-73	-77
4	-61	-64	-70	-70	-73	-70	-76	-71	-80
5	-61	-64	-61	-77	-82	-72	-76	-69	-78
6	-60	-64	-60	-76	-82	-68	-76	-72	-82
7	-61	-64	-69	-70	-82	-67	-70	-70	-82
8	-61	-69	-66	-72	-79	-70	-77	-69	-82
9	-61	-64	-66	-79	-73	-67	-77	-68	-81
10	-61	-64	-60	-77	-78	-71	-73	-67	-82
11	-62	-64	-60	-79	-83	-68	-71	-80	-76
12	-67	-64	-60	-72	-74	-72	-80	-76	-83
13	-61	-64	-61	-81	-82	-72	-79	-71	-81
14	-62	-64	-67	-80	-79	-72	-78	-77	-78
15	-66	-69	-67	-70	-79	-68	-70	-71	-81
16	-61	-64	-61	-68	-74	-69	-70	-76	-81
17	-60	-64	-62	-71	-74	-71	-67	-78	-83
18	-60	-64	-71	-80	-74	-71	-74	-67	-81
19	-61	-70	-69	-69	-78	-73	-78	-67	-81
20	-62	-69	-69	-69	-73	-72	-73	-69	-80
Vidurkis, dBm	-62	-64,95	-65	-74,15	-77,45	-70,15	-74,45	-72,35	-80,15



3.4.3 pav. RSSI priklausomybė nuo atstumo antras bandymas

Atlikus bandymus, pakartojame dar sykį analogiškus bandymus, jog patvirtinti gautus rezultatus.

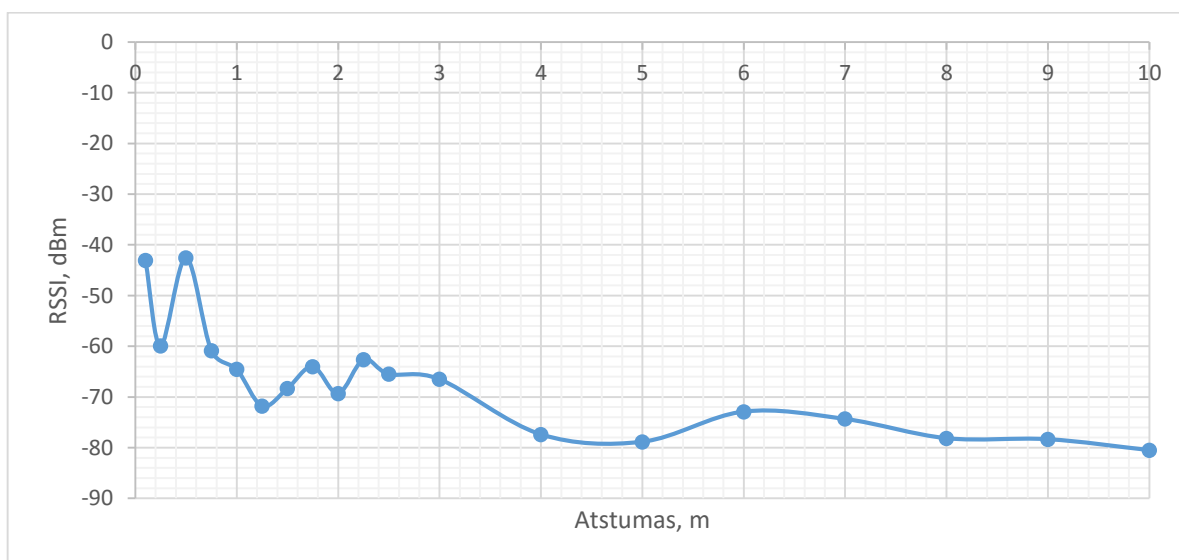
3.4.7 lentelė. Signalų stiprumo lygiai dBm, 3 bandymas

Matavimo Nr.	l=0,1 m	l=0,25 m	l=0,5 m	l=0,75 m	l=1 m	l=1,25 m	l=1,5 m	l=1,75 m	l=2 m
1	-47	-54	-41	-72	-62	-76	-63	-68	-76
2	-42	-57	-43	-62	-64	-79	-68	-70	-62
3	-44	-59	-43	-63	-64	-67	-66	-69	-62
4	-42	-57	-42	-60	-64	-66	-66	-61	-63
5	-42	-54	-44	-61	-62	-67	-67	-61	-82
6	-42	-54	-41	-60	-62	-79	-72	-61	-63
7	-43	-53	-42	-59	-66	-67	-68	-64	-82
8	-40	-53	-43	-60	-63	-67	-72	-69	-61
9	-43	-62	-42	-61	-63	-67	-68	-61	-81
10	-43	-58	-42	-59	-65	-67	-72	-61	-80
11	-44	-62	-41	-60	-63	-67	-66	-64	-81
12	-42	-66	-41	-60	-63	-78	-72	-61	-64
13	-42	-60	-44	-59	-64	-78	-66	-68	-62
14	-45	-59	-43	-61	-63	-68	-67	-64	-62
15	-44	-70	-42	-61	-66	-78	-72	-61	-64
16	-46	-70	-42	-59	-66	-68	-65	-64	-62
17	-46	-59	-43	-59	-66	-77	-72	-68	-64
18	-43	-67	-42	-61	-66	-70	-65	-61	-74
19	-40	-62	-45	-59	-70	-74	-72	-62	-78
20	-41	-63	-45	-61	-69	-76	-68	-62	-64
Vidurkis, dBm	-43,05	-59,95	-42,55	-60,85	-64,55	-71,8	-68,35	-64	-69,35

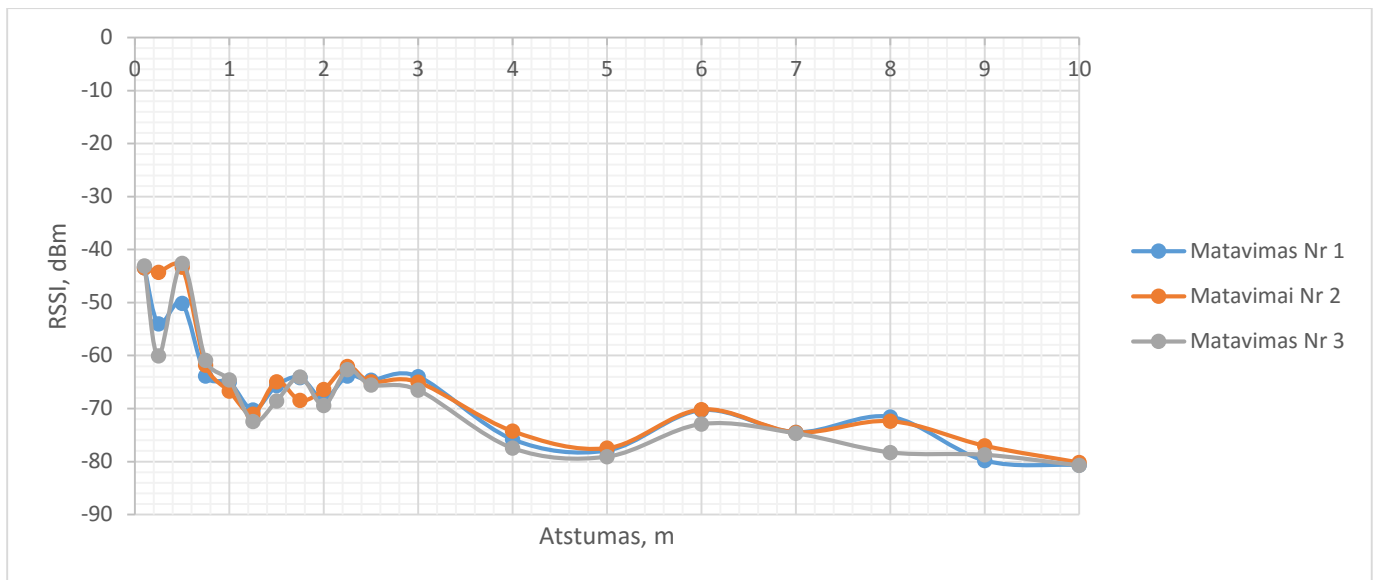


3.4.8 lentelė. Signalų stiprumo lygiai dBm, 3 bandymas

Matavimo Nr.	l=2,25 m	l=2,5 m	l=3 m	l=4 m	l=5 m	l=6 m	l=7 m	l=8 m	l=10 m
1	-61	-65	-69	-84	-81	-75	-70	-75	-78
2	-60	-68	-70	-82	-82	-72	-71	-75	-81
3	-62	-63	-67	-86	-85	-72	-74	-80	-77
4	-62	-68	-62	-88	-72	-71	-72	-76	-83
5	-60	-63	-70	-70	-76	-72	-70	-80	-83
6	-60	-63	-63	-72	-76	-74	-70	-80	-80
7	-68	-63	-70	-88	-85	-75	-71	-84	-80
8	-62	-64	-63	-72	-72	-72	-70	-75	-80
9	-62	-68	-66	-72	-84	-71	-70	-84	-79
10	-61	-67	-69	-88	-72	-70	-79	-76	-81
11	-61	-63	-66	-71	-85	-70	-80	-79	-83
12	-68	-63	-66	-71	-84	-75	-70	-79	-79
13	-61	-68	-62	-87	-73	-75	-83	-75	-77
14	-62	-68	-62	-72	-77	-74	-86	-74	-82
15	-63	-68	-66	-71	-73	-74	-71	-75	-83
16	-63	-64	-62	-71	-83	-71	-71	-80	-81
17	-62	-63	-68	-72	-74	-74	-77	-74	-80
18	-61	-64	-73	-87	-85	-74	-76	-79	-79
19	-70	-68	-70	-72	-85	-74	-70	-84	-82
20	-64	-69	-66	-72	-73	-73	-86	-79	-82
Vidurkis, dBm	-62,65	-65,5	-66,5	-77,4	-78,85	-72,9	-74,35	-78,15	-80,5



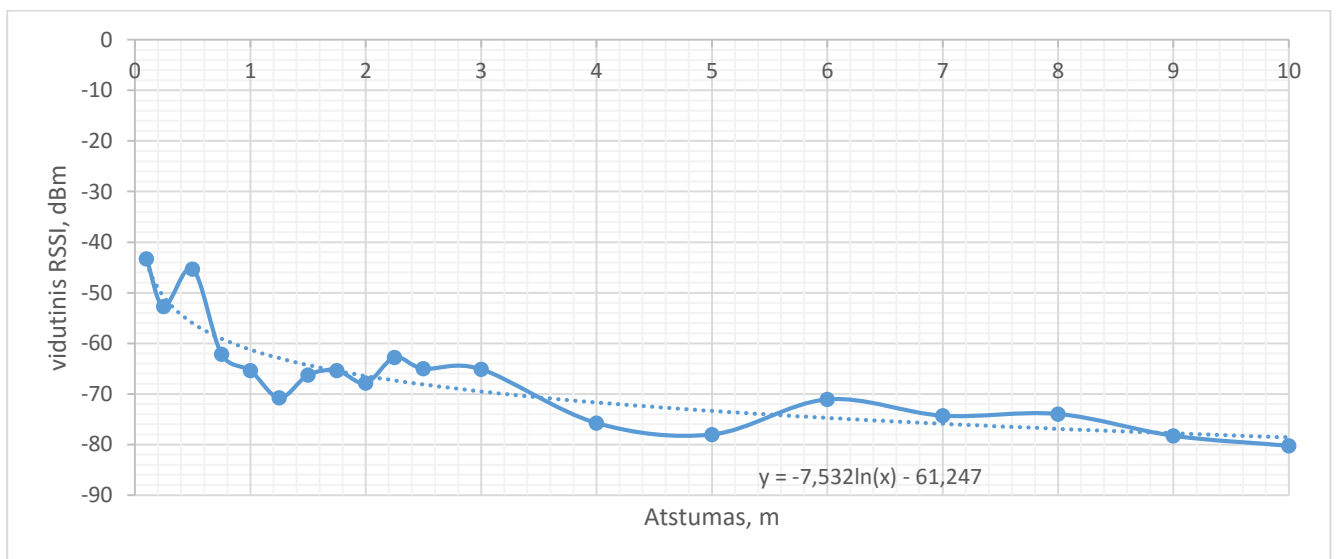
3.4.4 pav. RSSI priklausomybė nuo atstumo, trečias bandymas



3.4.5 pav. RSSI priklausomybė nuo atstumo visi trys bandymai

Atlikus matavimus ir juos palyginus tarpusavyje matyti, jog rezultatai yra labai panašūs, turintys labai nedidelių svyravimų. Įvertinus šiuos skirtumus galime įvertinti paklaidą patalpose kuriose nėra tiesioginių kliūčių signalui. Šios paklaidos susidaro dėl patalpos paviršių (grindų, sienų, lubų, metalinių paviršių) kurios sudaro pagrindą atspindėti signalui. Tokiu būdu galima apskaičiuoti paklaidos dydį ir įvertinti absoliučiąją paklaidą. Taip pat, paklaidos pasireiškia dėl interferencinių reiškinių, nes naudojamas 2,4 Ghz dažnio signalas kuris yra plačiai paplitęs ir naudojamas daugelyje įrenginių.

Įvertintas įrenginių maksimalus veikimo atstumas laisvoje erdvėje. Bandymai atliekami laisvoje erdvėje miesto sąlygomis. Atlikti keletą matavimų skirtingose vietose. Bandymu metu signalas aptinkamas vidutiniškai 90 m atstumu, bet didžiausias pasiektas rezultatas yra 126 m. Matuojant patalpose su mūrinėmis sienomis vidutinis atstumas siekė apie 15 m.



3.4.6 pav. Vidutinės RSSI reikšmės skirtingam atstumui ir logaritminė RSSI priklausomybės nuo atstumo funkcija

Iš gautų rezultatų išvedama logaritminė lygtis pagal kurią  $RSSI = y$  reikšmės priskiriamos tam tikroms atstumo reikšmėms.

$$y = 7,532 \ln(x) - 61,247 \quad 3.4.1$$

Iš gautos to rezultato išvedama formulė pagal kurią yra apskaičiuojamas atstumas ( $x$ ) nuo RSSI dydžio reikšmės kuris įstatomas į  $y$  reikšmę.

$$x = e^{\frac{-1000y-61247}{7532}} \quad 3.4.2$$

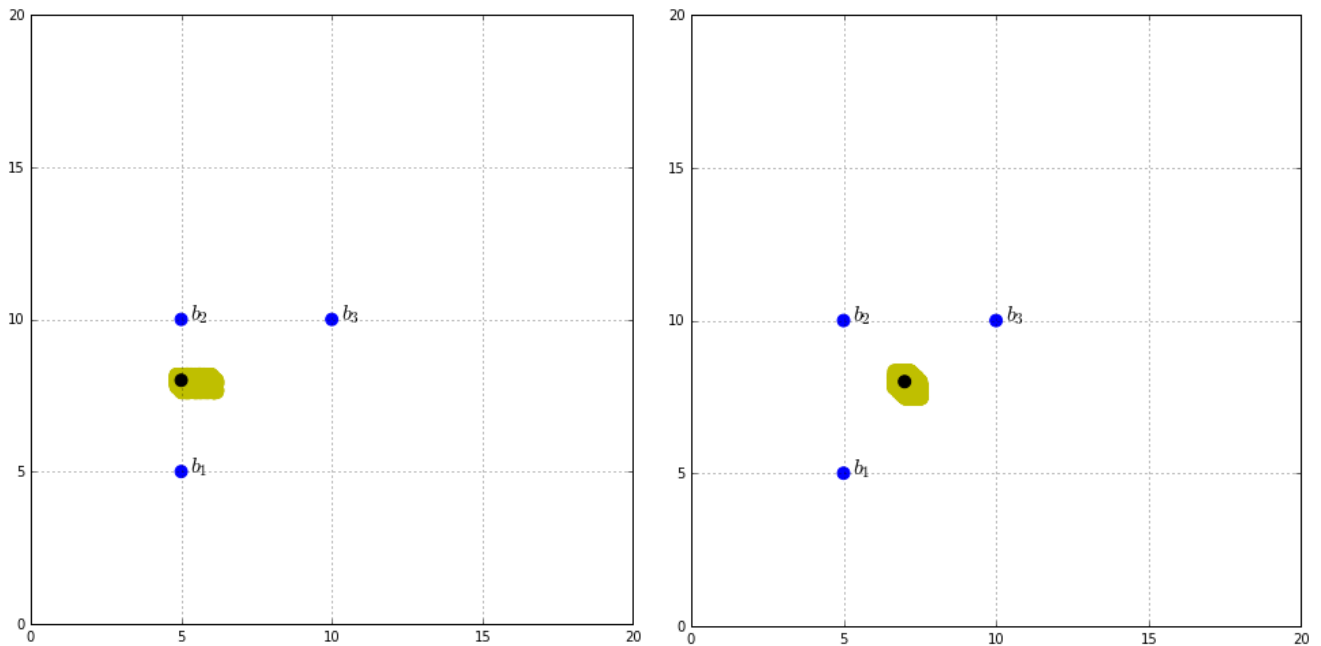
### 3.5 Objekto vietos koordinatinių nustatymo modeliavimas

Objekto vietai nustatyti pirmiausia naudojama teorinis matematinis modeliavimas. Modeliavimas atliekamas naudojantis „Jupiter Notebook“ programine įranga. Šioje programoje naudojama „Python“ programavimo kalba. Mobilaus įrenginio koordinatėms nustatyti naudojamas triliteracijos principas kuris yra aprašytas 2.3 skyriuje. Modeliavimas atliekamas parenkant kiekvieno įrenginio koordinatės. RSSI reikšmės generuojamos atsitiktine tvarka nuo tikrosios reikšmės pridėdant paklaidą. Įvedama paklaida reikalinga aprašyti RSSI reikšmės svyravimas kuris aiškiai pastebimas atliktuose bandymuose, nors įrenginiai visiškai nejudinami. Formulėje 3.5.1  $m_x$   $n_x$  yra žinomos siųstuvų koordinatės,  $r_x$  - apskaičiuojamas atstumas iš sugeneruotos RSSI reikšmės naudojantis 3.4.2 formule,  $a, b$  – atitinkamai  $x$  ir  $y$  ašyje apskaičiuojamos koordinatės. Modeliavimas atliekamas norit įvertinti kaip mobilaus įrenginio vieta įtakoja paklaidas, tai atliekama naudojant tą pačią siųstuvų išdėstymą, o keičiama tik mobilaus įrenginio vieta. Taip pat įvertinti ar siųstuvų išdėstymas įtakoja paklaidas, atliekant kitokį siųstuvų išdėstymą. Ir galiausiai kaip įtakoja paklaidas keičiant atstumą tarp siųstuvų, tai yra naudojant vieną iš prieš tai naudotų išdėstymo būdų, tik padidinus atstumą tarp siųstuvų. Pilnas modeliavimo kodas pateiktas 3 priede.

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2m_1 - 2m_2 & 2n_1 - 2n_2 \\ 2m_1 - 2m_3 & 2n_1 - 2n_3 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} r_2^2 - r_1^2 + m_1^2 - m_2^2 + n_1^2 - n_2^2 \\ r_3^2 - r_1^2 + m_1^2 - m_3^2 + n_1^2 - n_3^2 \end{bmatrix} \quad 3.5.1$$

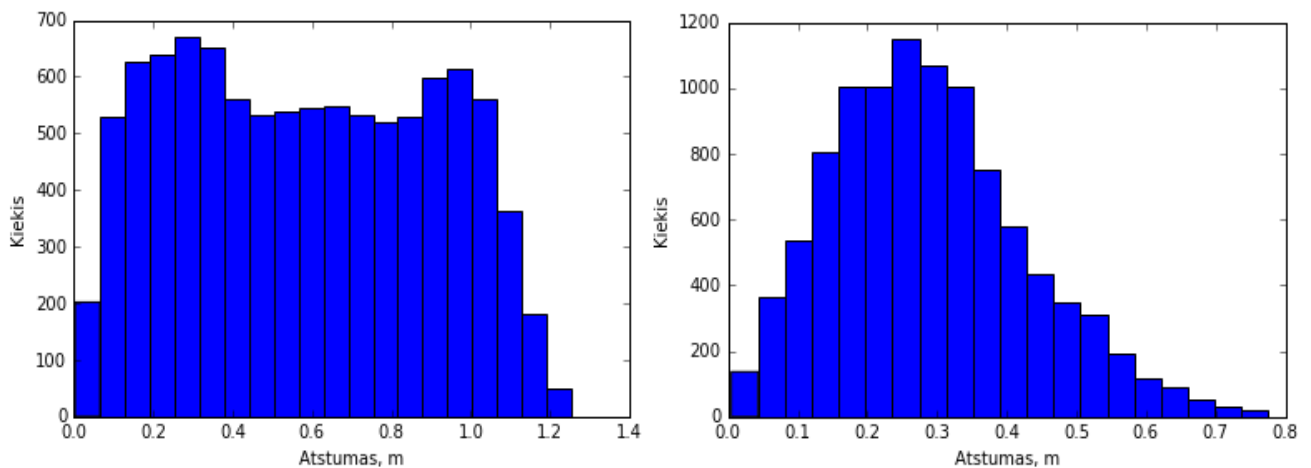
Pirmajam tyrimui vietos koordinatinių nustatymui naudosime dvimatę plokštumą, tai skaičiavimams galima naudoti paprasčiausią  $x, y$  koordinatinių sistemą. Koordinatinių sistemos matą pasirenkame vienam vienetui 1 m ir pirmąjį siųstuvą pastatome pasirinktoje koordinatinių sistemos vietoje, tai yra  $m_1=5, n_1=5$ , antrasis siųstuvas –  $m_2=5, n_2=10$ , trečiasis –  $m_3=10, n_3=10$ . Pirmiausia atliekami du modeliavimai ir imamos momentinės RSSI reikšmės, kai mobilaus įrenginio koordinatės

$a=5, b=8$  (brėžinys kairėje) ir  $a=7; b=8$  (brėžinys dešinėje). Pirmųjų modeliavimų rezultatai pateiktas 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3 pav.



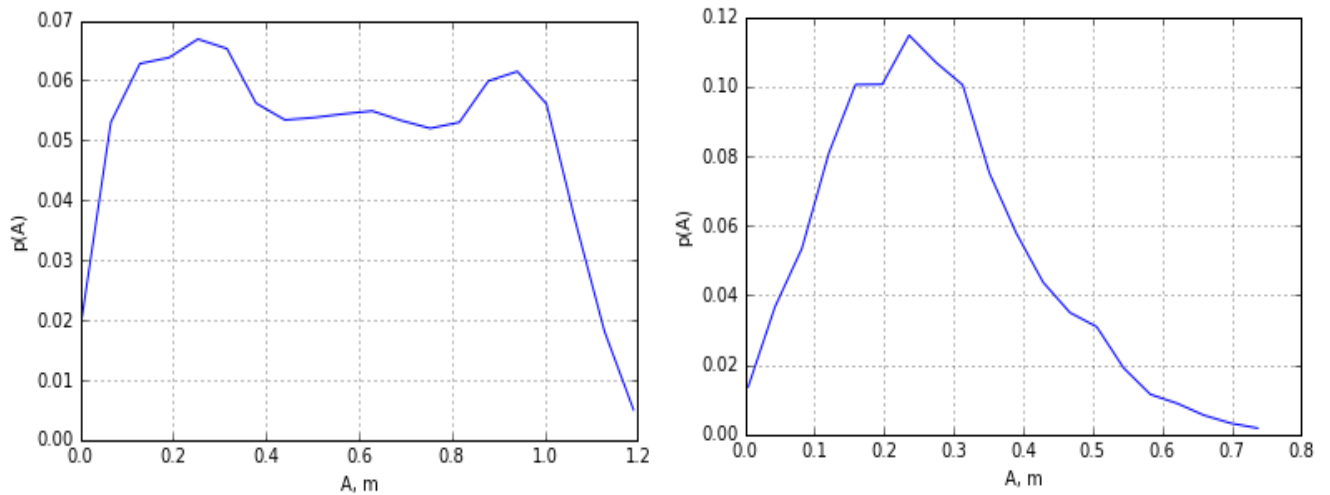
3.5.1 pav. Pirmojo tyrimo modeliuojamo vietos nustatymo rezultatas

Su modeliavimo programa sugeneruojam dešimt tūkstančių reikšmių ir nubrėžiamas atsitiktinių RSSI reikšmių debesis. Mėlini taškai ( $b_1, b_2, b_3$ ) žymi Bluetooth siųstuvų vietas, geltonas debesis nurodo galima objekto vietą, o juodas taškas tikrąją objekto vietą.



3.5.2 pav. . Pirmojo tyrimo atstumo nuo realios reikšmės pasiskirstymo histograma

Paveikslėlyje 3.5.2 pateikta realaus atstumo skirtumas nuo sugeneruotų reikšmių skirstiniai. Pirmojo modeliavimo, kai mobilus įrenginys koordinatės  $a = 5, b = 8$ , antrasis dešinėje, kai  $a = 7, b = 8$ . Skirstiniuose matyti kokių tankiu yra pasiskirsčiusios paklaidos.



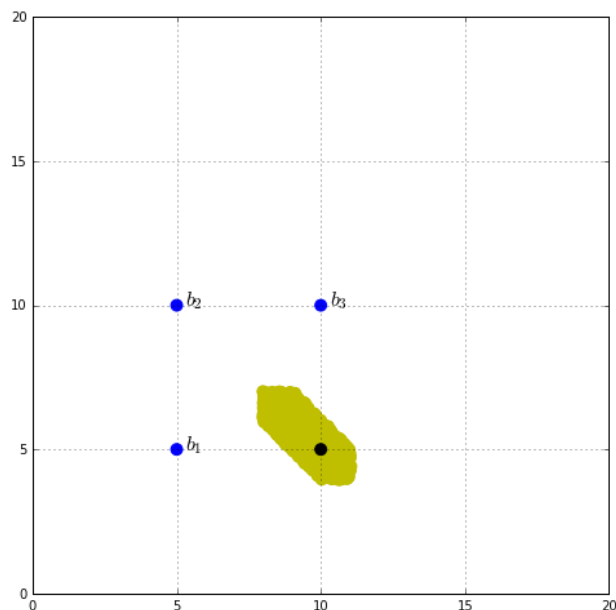
3.5.3 pav. . Pirmojo tyrimo paklaidos skirstinio grafikai

Iš prieš tai sudarytų paklaidų skirstinių sudaromi paklaidos tikimybės grafikai, kai  $A$  yra paklaidos dydis išreikštas metrais, o  $p(A)$  paklaidos tikimybė.

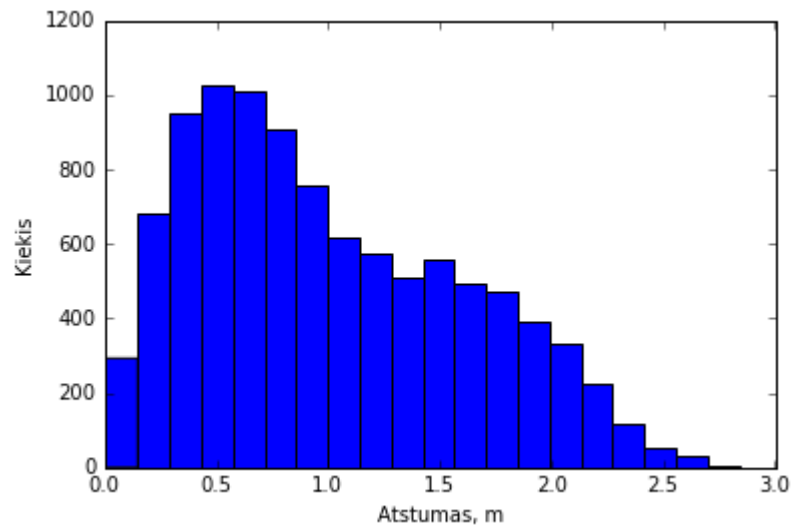
Iš visų duomenų apskaičiuojama vidutinė paklaida ir standartinis nuokrypis, kuris nurodo didžiosios paklaidos reikšmių dalies išsibarstymą apie vidutinės paklaidos reikšmę. Pirmojo modeliavimo vidutinė paklaida - 0,581 m, o standartinis nuokrypis - 0,319 m. Antrojo modeliavimo vidutinė paklaida - 0,288 m, o standartinis nuokrypis - 0,140 m.

Palyginus du pirmuosius modeliavimo bandymus pastebėta, jog pakeitus objekto vietą link centro vidutinė paklaida yra beveik dvigubai mažesnė, o išsibarstymas apie vidurkį mažesnis daugiau nei dvigubai.

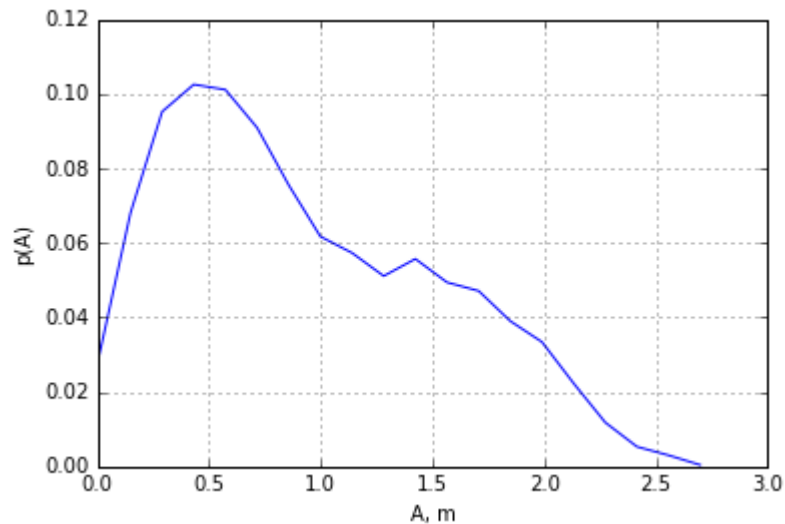
Toliau atliekamas trečiasis modeliavimas, kai įrenginio vieta nukeliama tolesniame kampe nuo visų Bluetooth siųstuvų, kai  $a=10$ ,  $b=5$ .



3.5.4 pav. . Pirmojo tyrimo modeliuojamo vietos nustatymo rezultatas



3.5.5 pav. . Pirmojo tyrimo atstumo nuo realios reikšmės pasiskirstymas

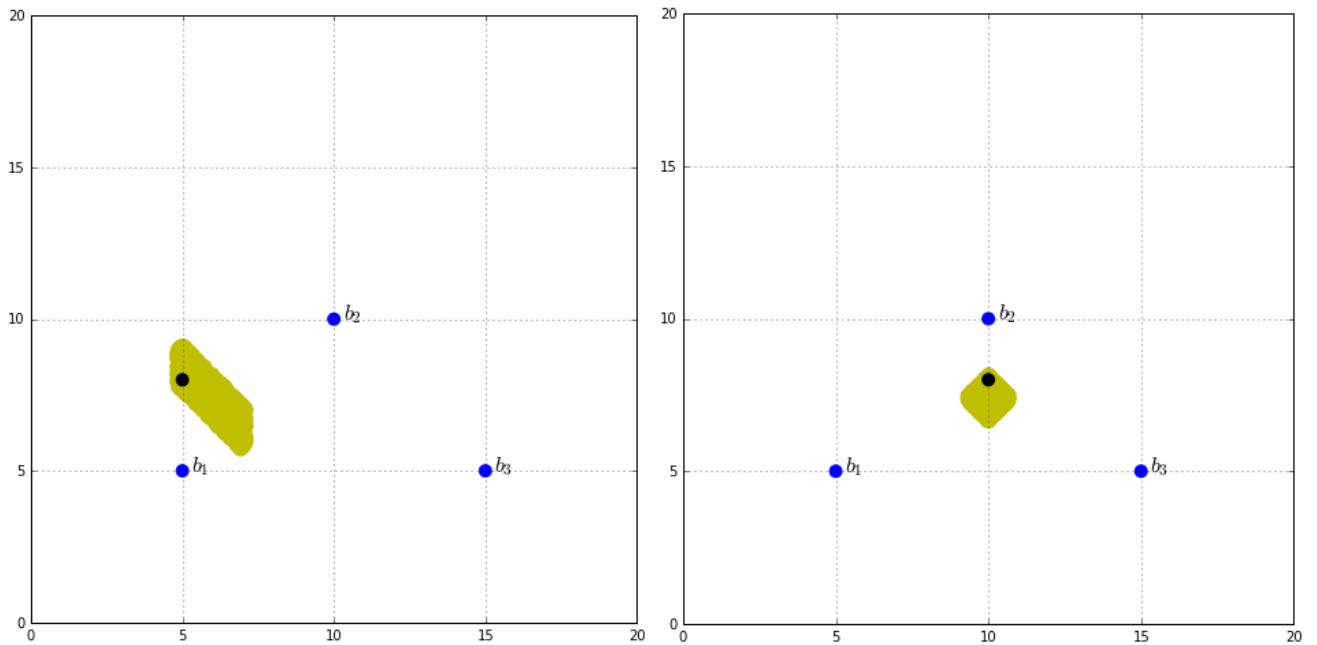


3.5.6 pav. . Pirmojo tyrimo paklaidos skirstinio grafikas

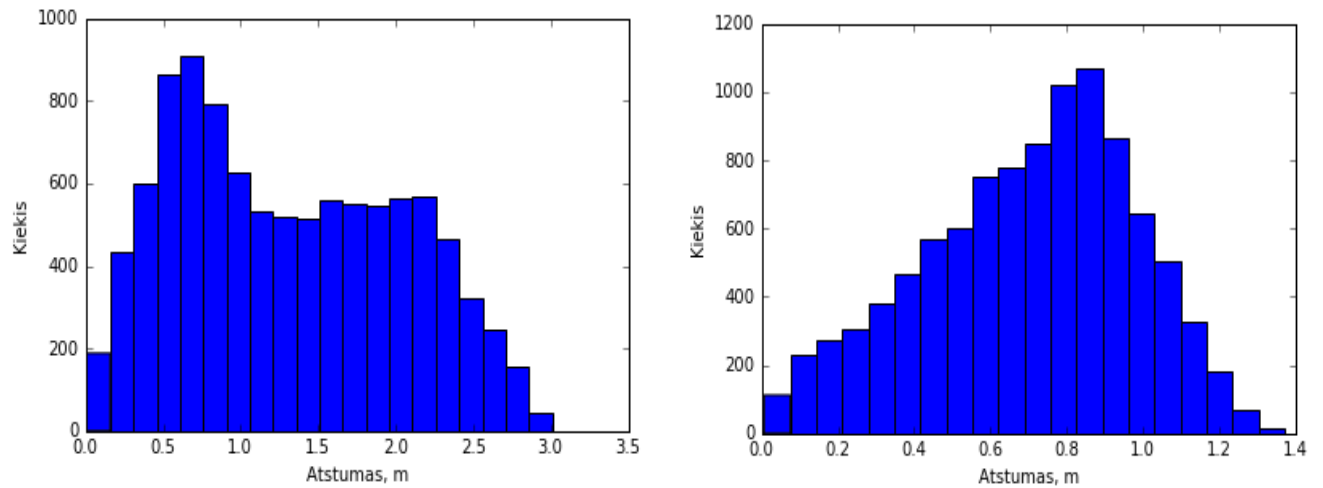
Trečiojo modeliavimo vidutinė paklaida - 1,005 m, o standartinis nuokrypis - 0,603 m. Taigi, padidinus mobilaus įrenginio atstumą nuo siūstuvų vidutinė paklaida ženkliai padidėja, o iš histogramos matyti jog tolimiausias užfiksuotas taškas nuo realios reikšmės nutolęs 2,7 m atstumu. Apžvelgus gautus rezultatus matome, jog skirtinga mobilaus įrenginio vieta skirtingai įtakoja paklaidas. Geriausi rezultatai gaunami, kai mobilusis įrenginys yra panašiu atstumu iki kiekvieno siūstuvo.

Sekančiuose grafikuose pateikiami bandymai su pakeistomis Bluetooth siūstuvų vietomis, kaip pavaizduota 3.5.7 pav. Atliekame antrąjį tyrimą kaip įtakoja debesies forma keičiant siūstuvų vietą. Bluetooth siūstuvų vietos:  $b_1 = (5;5)$ ;  $b_2 = (10;10)$ ;  $b_3 = (15;5)$ .

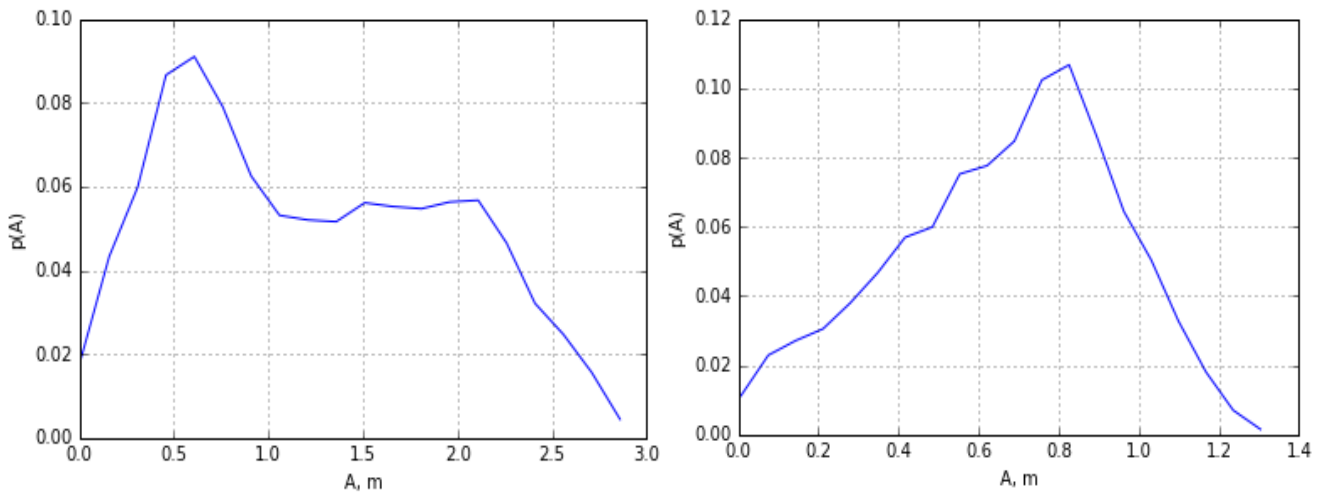
Pirmasis modeliavimas atliekamas, kai mobilaus įrenginio koordinatės  $a=5$ ,  $b=8$ , antrasis, kai  $a=7$ ,  $b=8$ . Modeliavimo rezultatai pateikti paveikslėliuose 3.5.7, 3.5.8, 3.5.9, Pirmasis modeliavimas kairėje, antrasis dešinėje.



3.5.7 pav. Antrojo tyrimo modeliuojamo vietos nustatymo pakeitus siųstuvų vietas rezultatas

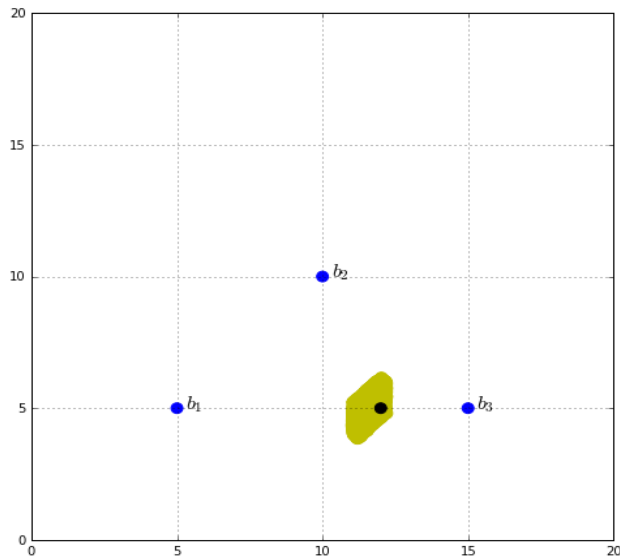


3.5.8 pav. Antrojo tyrimo atstumo nuo realios reikšmės pasiskirstymas pakeitus siųstuvų vietas

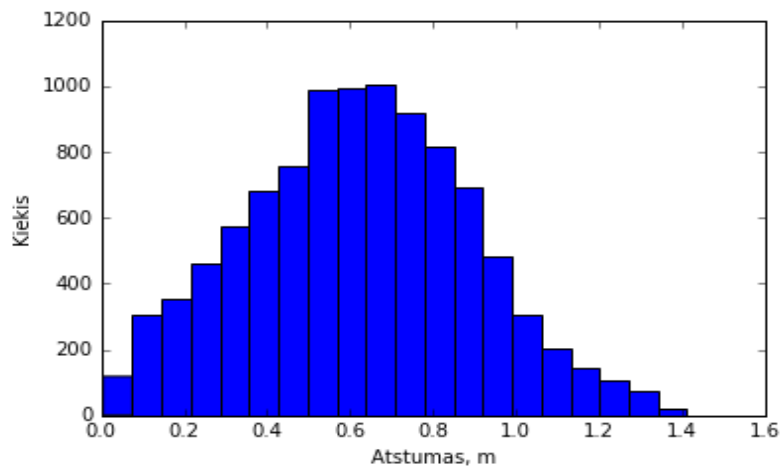


3.5.9 pav. Antrojo tyrimo paklaidos skirstinio grafikai

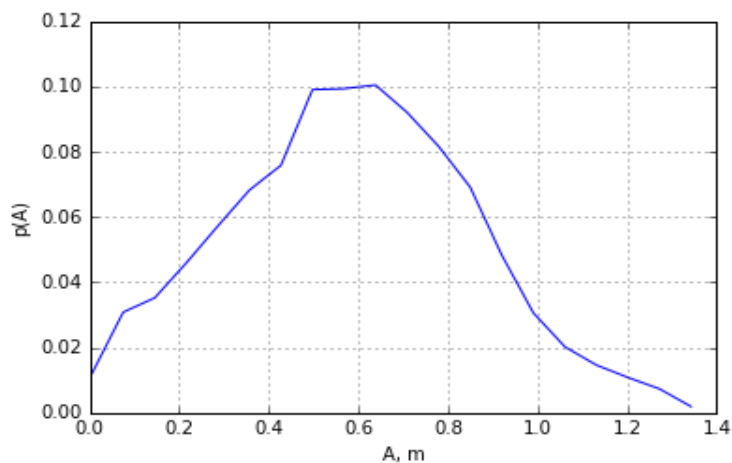
Pirmojo modeliavimo apskaičiuota vidutinė paklaida – 1,306 m, o standartinis nuokrypis - 0,728 m. Antrojo modeliavimo vidutinė paklaida – 0,699 m, o standartinis nuokrypis - 0,278 m. Trečiasis atliekamas, kai mobiliojo įrenginio koordinatės  $a = 12$ ,  $b = 5$ .



3.5.10 pav. Antrojo tyrimo modeliuojamo vietos nustatymo pakeitus siųstuvų vietas rezultatas



3.5.11 pav. Antrojo tyrimo atstumo nuo realios reikšmės pasiskirstymas pakeitus siųstuvų vietas



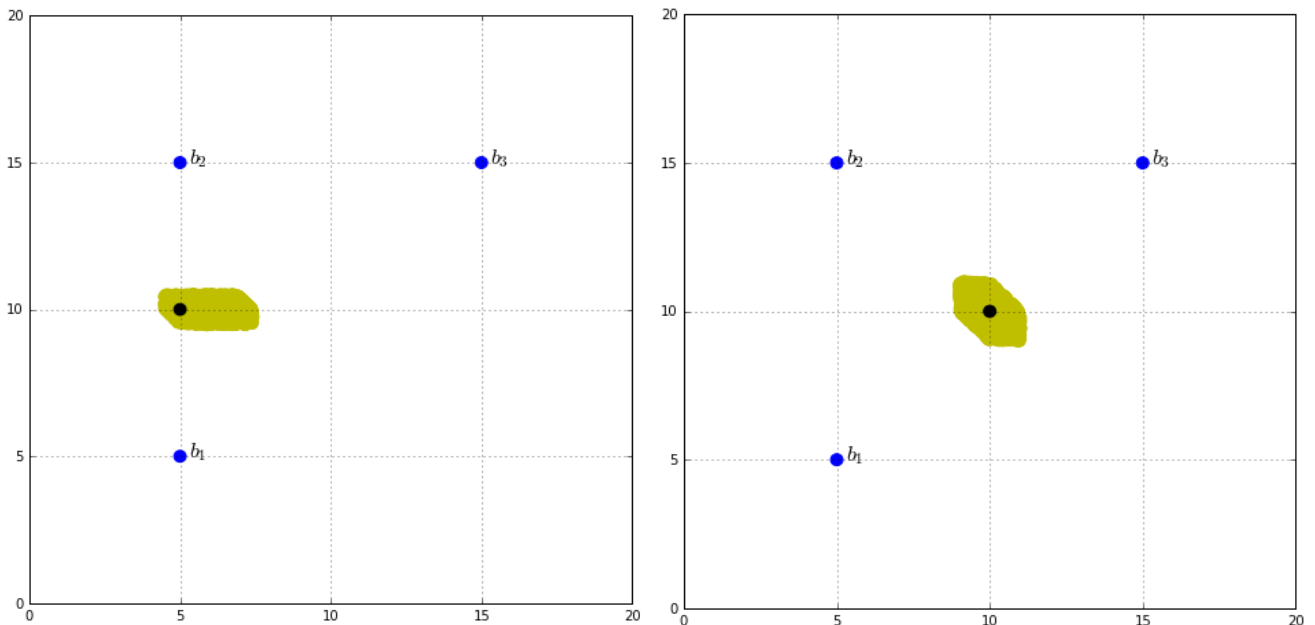
3.5.12 pav. Antrojo tyrimo paklaidos skirstinio grafikas



Trečiojo modeliavimo apskaičiuota vidutinė paklaida – 0,621 m, o standartinis nuokrypis - 0,271 m.

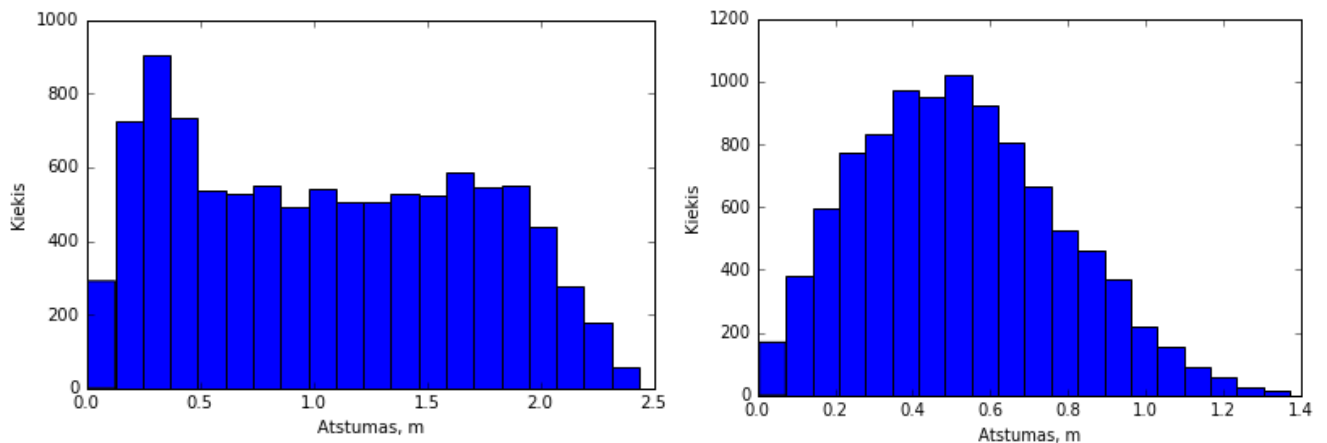
Lyginant histogramų duomenis, matyti jog siūstuvų piramidės išdėstymo būdu gaunami šiek tiek didesni nukrypimai nuo realios vietos nei naudojant stačiojo trikampio. Lyginant vidutines paklaidas pirmojo tyrimo metu gautos 0,581 m; 0,288; 1,005 m; paklaidos, o antrajame tyrime atitinkamai 1,306 m; 0,699 m; 0,621 m. Antrojo tyrimo metu gautos didesnės paklaidos. Taigi, įvertinus gautus rezultatus galime teigti jog skirtingas Bluetooth siūstuvų išdėstymas įtakoja vietos nustatymo tikslumą.

Toliau atliekamas trečiasis tyrimas, kai padidinamas atstumas tarp Bluetooth siūstuvų. Bluetooth siūstuvų vietos:  $b_1 = (5;5)$ ;  $b_2 = (5;15)$ ;  $b_3 = (15;15)$ . Modeliavimas atliekamas, kai mobilaus įrenginio koordinatės  $a=5$ ,  $b=10$ , antrasis, kai  $a=10$ ,  $b=10$ .

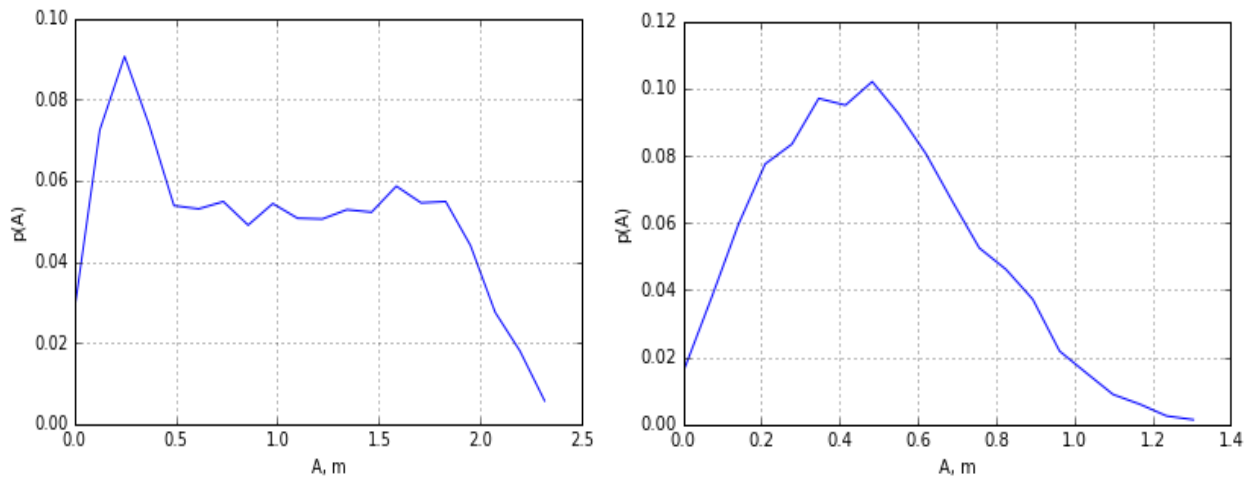


3.5.13 pav. Trečio tyrimo modeliuojamo vietos nustatymo, pakeitus atstumą tarp siūstuvų,

rezultatas



3.5.14 pav. Trečio tyrimo atstumo nuo realios reikšmės pasiskirstymas pakeitus atstumą tarp siūstuvų



3.5.15 pav. Trečio tyrimo paklaidos skirstinio grafikai

Pirmojo modeliavimo apskaičiuota vidutinė paklaida – 1,060 m, o standartinis nuokrypis - 0,635m. Antrojo modeliavimo vidutinė paklaida – 0,523 m, o standartinis nuokrypis - 0,259 m.

Padidinus atstumą tarp Bluetooth siųstuvų ir atlikus modeliavimą, lyginant pirmojo tyrimo duomenis su trečiuoju tyrimu aiškiai matyti jog pasiskirstymo reikšmės nuo realios vietos ženkliai padidėjo. Pirmuoju atveju, kai atstumas mažesnis tarp įrenginių, vidutinė paklaida nuo realios reikšmės siekė 0,581 m ir 0,288 m. Dvigubai padidinus atstumą ir išlaikant panašų mobilus įrenginio vietas, kaip pirmame tyrime, vidutinės paklaidos siekia 1,060 m ir 0,523 m. Apibendrinant atliktų tyrimų rezultatus pastebėta jog tiek siųstuvų išdėstymo tvarka, tiek atstumas tarp siųstuvų įtakoja paklaidas.

### 3.6 Praktinis objekto vietos nustatymo modeliavimas

Praktiniam objekto vietos tikslumo nustatymui naudojami 3.4 skyriuje surinkti duomenys. Įvertinamos RSSI reikšmės naudojantis 3.4.2 formule jas perskaičiuojant į atstumą metrais. Siekiant įvertinti realioje aplinkoje galimas paklaidas įvertinamos tam tikram atstumui gaunamos didžiausios ir mažiausios RSSI reikšmės, tai pateikta 3.6.1 lentelėje.

3.6.1 lentelė. Didžiausios ir mažiausios RSSI reikšmės tam tikram atstumui

Atstumas, m	0,1	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25
Mažiausia, dBm	-46	-46	-45	-67	-73	-73	-67	-75	-78	-67
Didžiausia, dBm	-39	-43	-42	-58	-64	-68	-62	-63	-60	-60
Skirtumas, dBm	7	3	3	9	9	5	5	12	18	7
Atstumas, m	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10	
Mažiausia, dBm	-70	-71	-81	-83	-73	-80	-80	-85	-83	
Didžiausia, dBm	-63	-60	-68	-73	-67	-67	-67	-72	-75	
Skirtumas, dBm	7	11	13	10	6	13	13	13	8	

Matyti jog daugeliu atveju skirtumas siekia 10 dBm ir daugiau. Kad pamatyti realų RSSI svyravimo rezultata, kokių atstumu daugiausiai ir mažiausiai nukrypstama nuo realios reikšmės, lentelės duomenys perskaičiuojamos iš RSSI reikšmės į atstumą metrais, tai pateikta 3.6.2 lentelėje.

3.6.2 lentelė. Didžiausios ir mažiausios RSSI reikšmės tam tikram atstumui perskaičiuota metrais

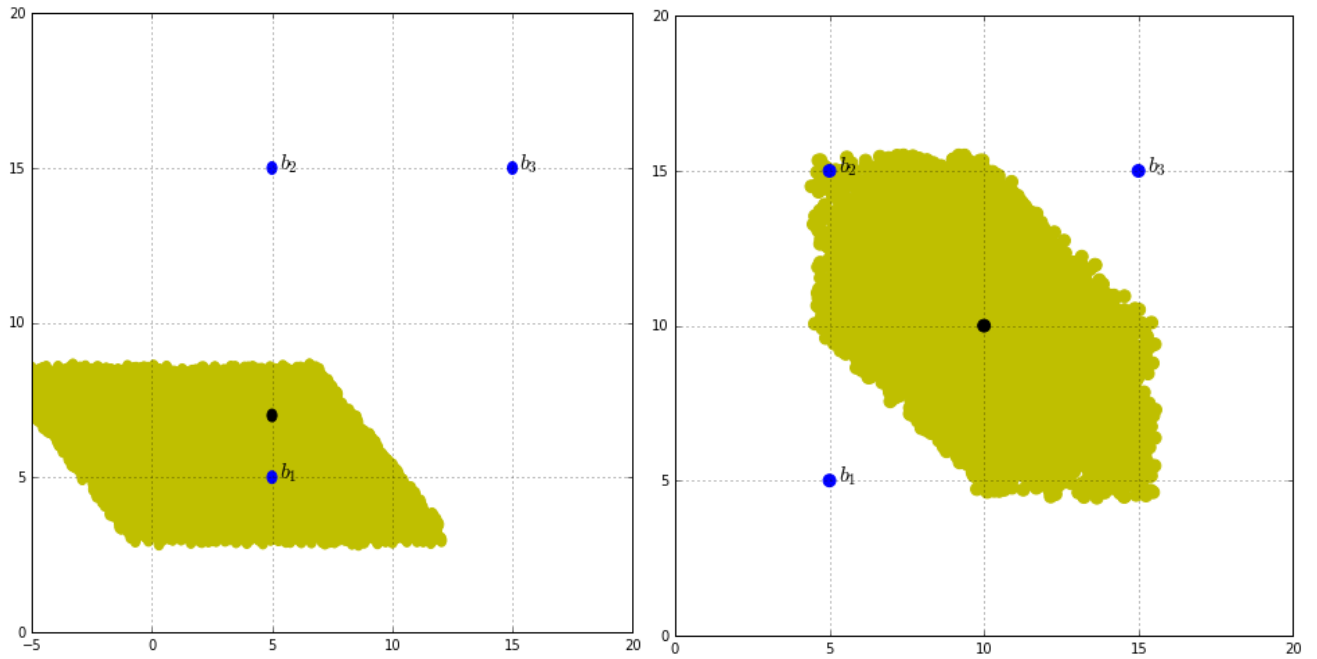
Atstumas, m	0,1	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25
Didžiausia(m)	0,13	0,13	0,12	2,15	4,76	4,76	2,15	6,21	9,24	2,15
Mažiausia(m)	0,05	0,09	0,08	0,65	1,44	2,45	1,11	1,26	0,85	0,85
Skirtumas	0,08	0,04	0,04	1,50	3,32	2,31	1,04	4,95	8,40	1,30
Atstumas, m	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10	
Didžiausia(m)	3,20	3,65	13,77	17,95	4,76	12,06	12,06	23,41	17,95	
Mažiausia(m)	1,26	0,85	2,45	4,76	2,15	2,15	2,15	4,17	6,21	
Skirtumas	1,93	2,80	11,32	13,19	2,61	9,91	9,91	19,24	11,75	

Iš 3.6.2 lentelės matyti jog reikšmių išsibarstymo diapazonas ties kai kuriomis reikšmėmis yra labai platus, ties 9 m gaunamas net 19,24 m išsibarstymo diapazonas. Tai viršija realią vertę daugiau nei 2 kartus. Sekančioje 3.6.3 lentelėje pateiktos reikšmės iš gautų rezultatų atimta reali reikšmė ir matyti paklaida, kiek metrų apskaičiuotas atstumas skiriasi nuo tikrosios reikšmės.

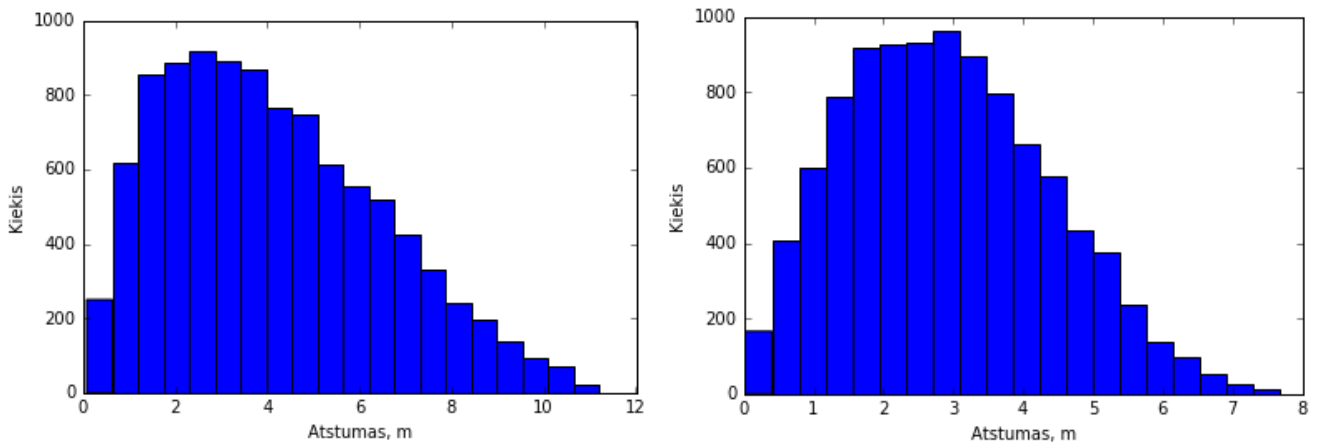
3.6.3 lentelė. Didžiausias ir mažiausias skirtumas metrais nuo realios objekto pozicijos

Atstumas, m	0,1	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25
Didžiausia(m)	0,03	-0,12	-0,38	1,40	3,76	3,51	0,65	4,46	7,24	-0,10
Mažiausia(m)	-0,05	-0,16	-0,42	-0,10	0,44	1,20	-0,39	-0,49	-1,15	-1,40
Atstumas, m	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10	
Didžiausia(m)	0,70	0,65	9,77	12,95	-1,24	5,06	4,06	14,41	7,95	
Mažiausia(m)	-1,24	-2,15	-1,55	-0,24	-3,85	-4,85	-5,85	-4,83	-3,79	

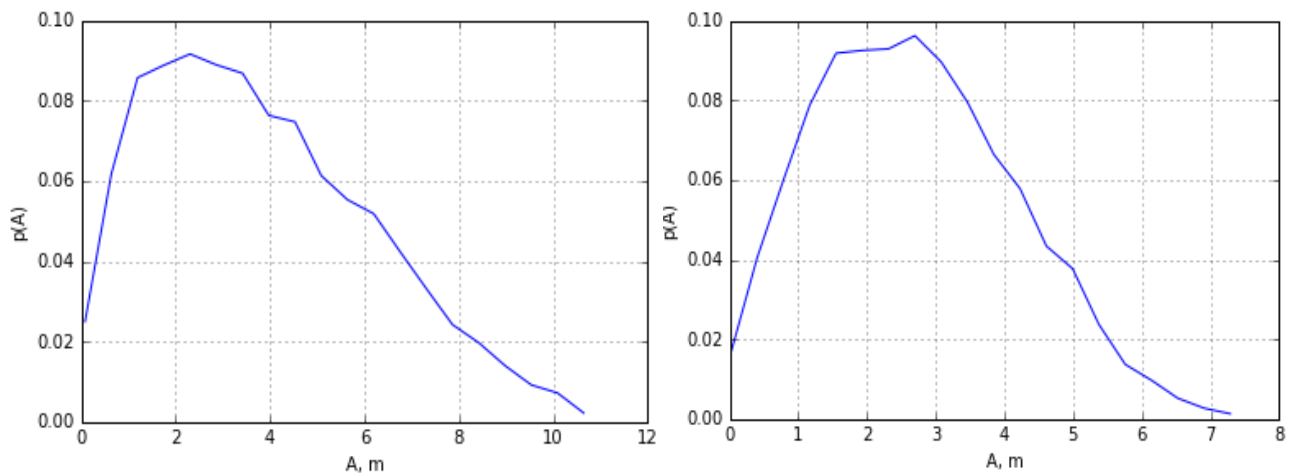
Apibendrinus rezultatus, prie skirtingo atstumo vyrauja skirtingi nukrypimai nuo realios reikšmės, o didžiausias nukrypimas užfiksuotas prie 9 m atstumo ir gauta paklaida siekia 14,41 m. Naudojantis šia paklaidų pasiskirstymo 3.6.3 lentele sumodeliuojamas praktinis vietos nustatymo vaizdas. Geltonu debesėliu pažymėta galima objekto vieta, juodas taškas – reali objekto vieta, *b* raide pažymėti siųstuvai. Bluetooth siųstuvų vietos:  $b_1 = (5;5)$ ;  $b_2 = (5;15)$ ;  $b_3 = (15;15)$ . Modeliavimas atliekamas pirmuoju atveju, kai mobilus įrenginio koordinatės  $a=5$ ,  $b=7$ , antruoju atveju, kai  $a=10$ ,  $b=10$ .



3.6.1 pav. Pritaikius praktinius duomenis objekto galimos vietos vaizdas



3.6.2 pav. Pritaikius praktinius duomenis objekto galimos vietos paklaidų skirstinys



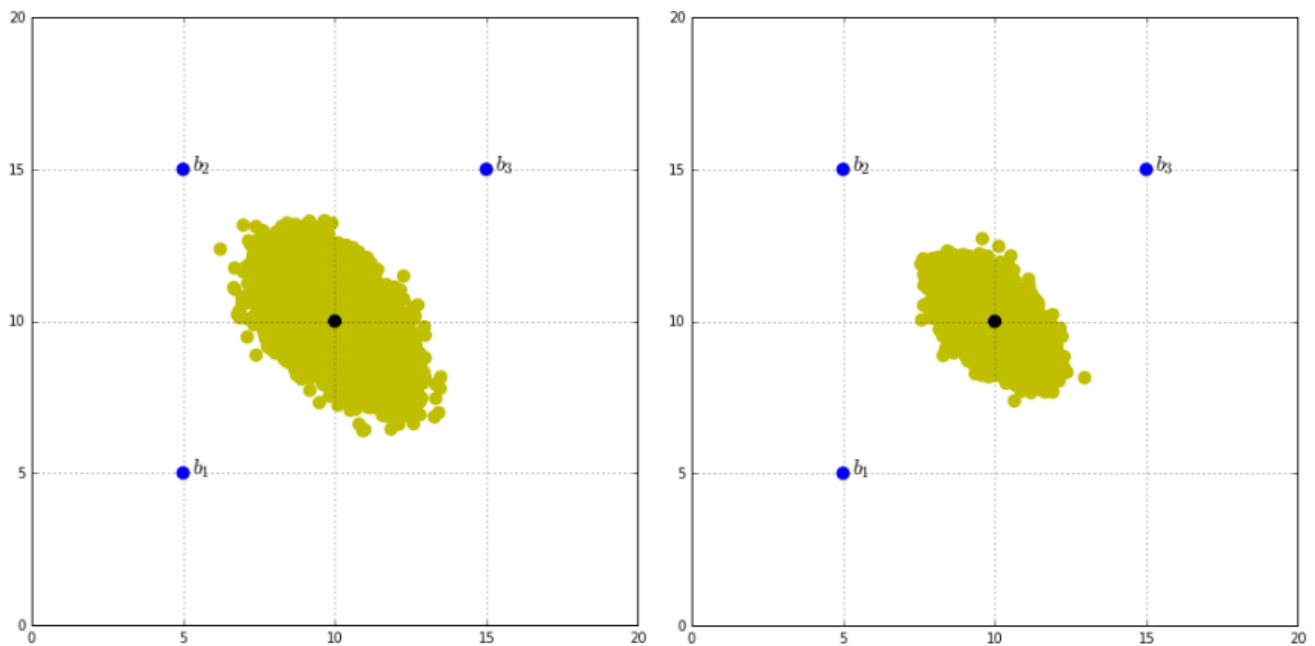
3.6.3 pav. Pritaikius praktinius duomenis objekto galimos vietos paklaidos skirstinio grafikai

Pirmuoju bandymu gauta vidutinė paklaida yra 4,122 m, o standartinis nuokrypis - 2,341 m. Antruoju bandymu gauta vidutinė paklaida yra 2,911 m, o standartinis nuokrypis – 1,455 m.

Modeliuojant trilateracijos metodu ir pritaikius praktinius rezultatus gaunamas nepatenkinamas rezultatas, gaunamos galimos objekto vietos ploto diapazonas gali apimti visą patalpos plotą ar net peržengti kitą patalpą. Pirmuoju atveju didžiausia paklaida gali siekti daugiau nei 10 m ir viršija nustatyta paklaidos ribą. Taip yra dėl bandymu metu pastebėtos neigiamos šio dažnio savybės – jautrumo aplinkai ir pastebimas kintantis RSSI lygis nors įrenginiai nejudinami.

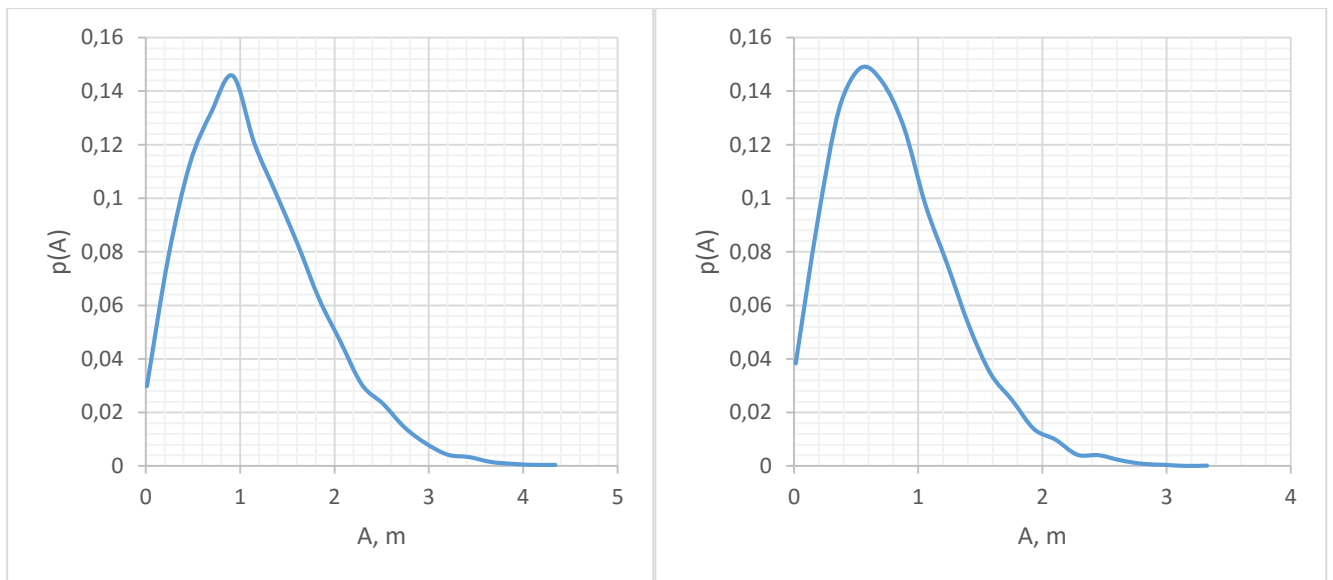
Naudojant momentines reikšmes gautas nepatenkinamas rezultatas, taigi atliekamas papildomas tyrimas naudojant ne momentines reikšmes, o imant tam tikrą RSSI reikšmių kiekį (šiuo atveju 5;10;15;20 reikšmių) ir apskaičiuojant vidurkį.

Bluetooth siųstuvų vietos:  $b_1 = (5;5)$ ;  $b_2 = (5;15)$ ;  $b_3 = (15;15)$ . Modeliavimas atliekamas, kai mobilus įrenginio koordinatės  $a=10$ ,  $b=10$  ir pavaizduota 3.6.4 pav. Pirmasis atvejis (kairėje), kai vidurkio reikšmė imama kas 5 RSSI išmatuotas reikšmes, antrasis atvejis (dešinėje), kai vidurkio reikšmė imama kas 10 RSSI išmatuotų reikšmių.



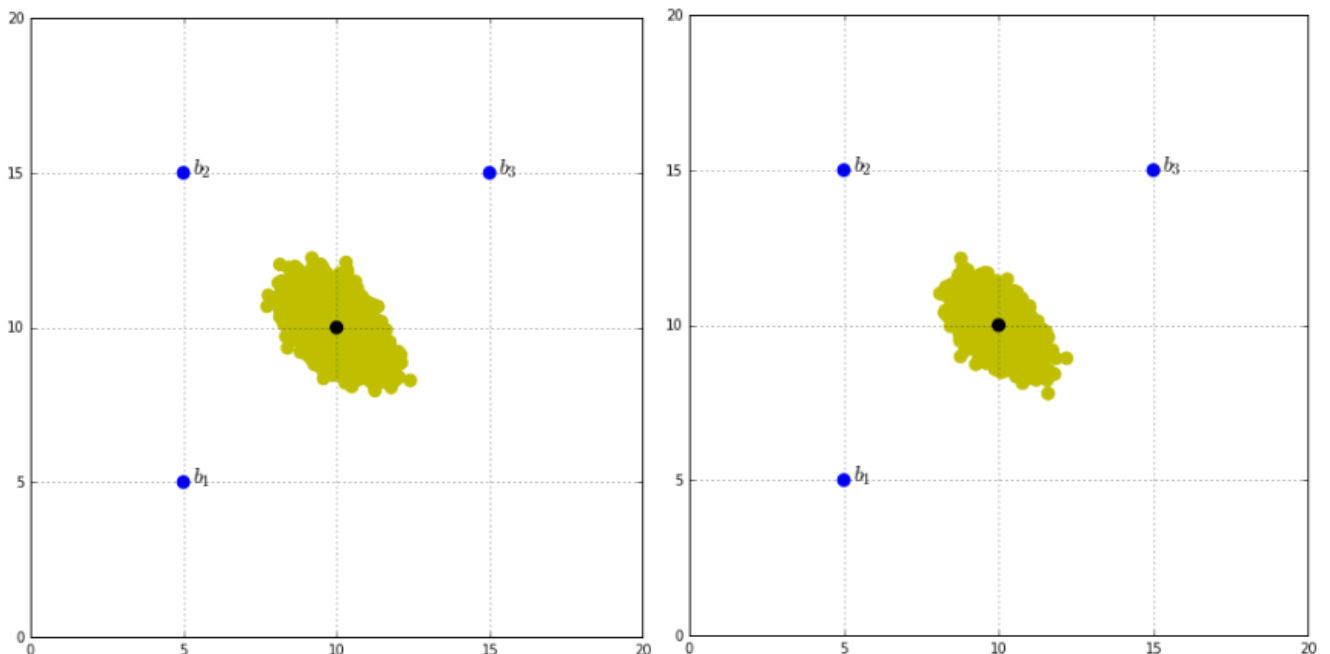
3.6.4 pav. Pritaikius vidurkio metodą objekto galimos vietos vaizdas, kai vidurkis kas 5 ir 10 reikšmių

Iš galimos vietos vaizdų galime matyti, jog didinant reikšmių skaičių iš kurių apskaičiuojamas vidurkis aprėpties plotas ženkliai sumažėja. Toliau pateikti paklaidos pasiskirstymo skirstiniai, kai  $A$  yra paklaida išreikšta metrais ir paklaidos tikimybė  $p(A)$ .

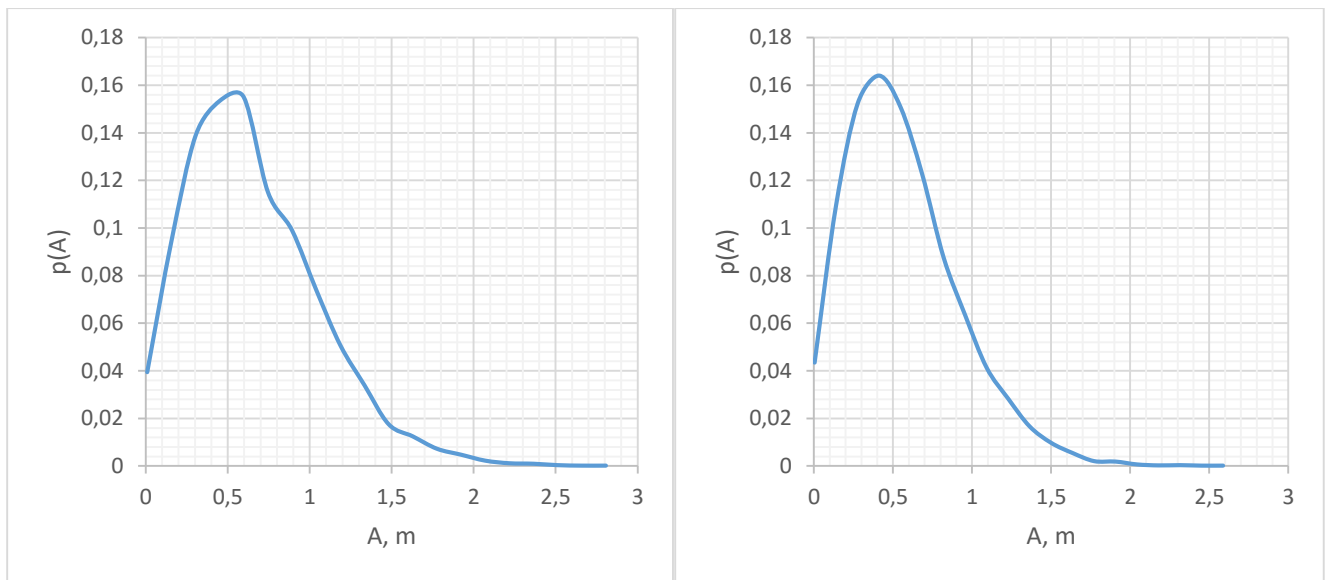


3.6.5 pav. Pritaikius vidurkio metodą paklaidų skirstinių grafikai

Pirmuoju bandymu gauta vidutinė paklaida yra 1,257 m, o standartinis nuokrypis – 0,689 m. Antruoju bandymu gauta vidutinė paklaida yra 0.889 m, o standartinis nuokrypis – 0.495 m. Taigi didinant vidurkinamų RSSI reikšmių skaičių pastebimai sumažėja didžiausia paklaida, vidutinė paklaida ir standartinis nuokrypis. Toliau analogiškai atliekami tyrimai kai virkis imamas iš 15 (kairėje) ir 20 (dešinėje) reikšmių pateikta 3.6.6 pav.

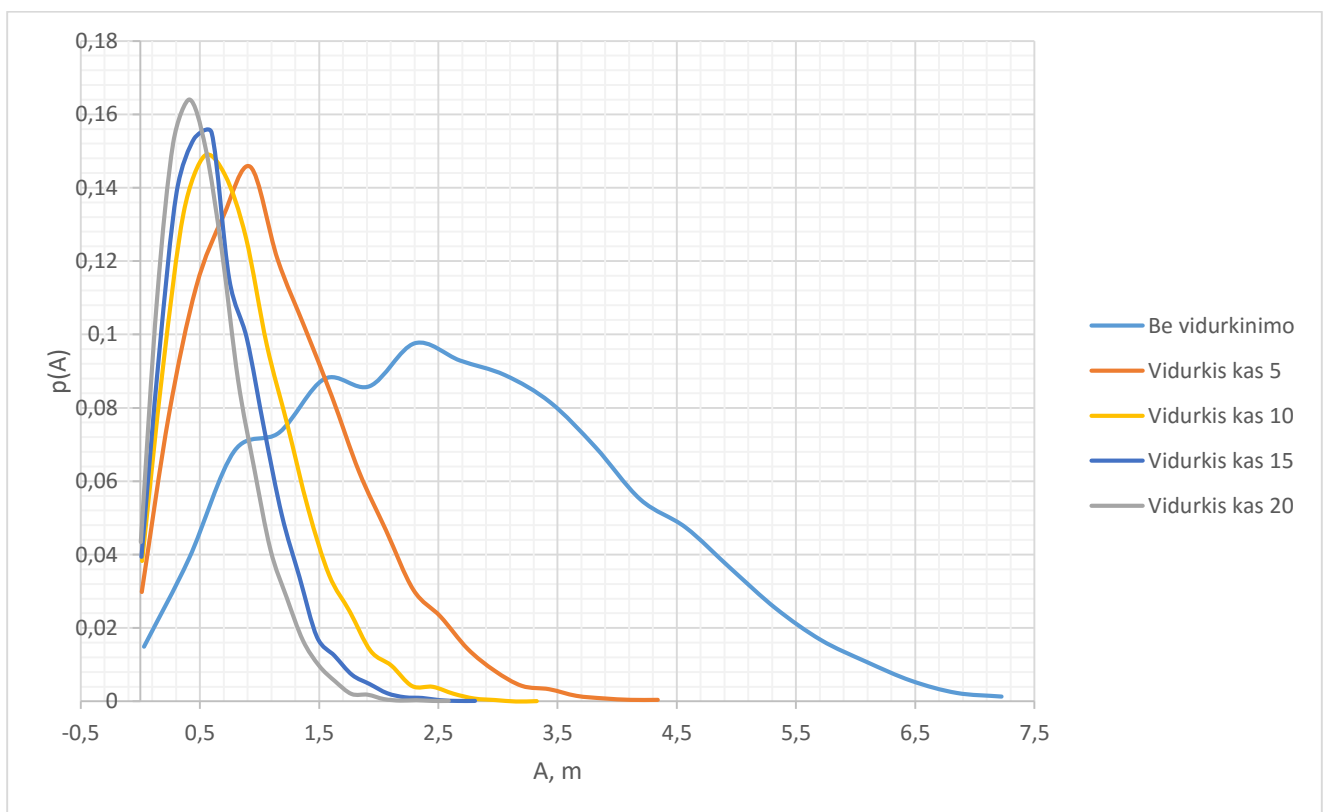


3.6.6 pav. Pritaikius vidurkio metodą objekto galimos vietos vaizdas, kai vidurkis kas 15 ir 20 reikšmių



3.6.7 pav. Pritaikius vidurkio metodą paklaidų skirstinių grafikai

Pirmuoju bandymu gauta vidutinė paklaida yra 0,720 m, o standartinis nuokrypis – 0,408 m. Antruoju bandymu gauta vidutinė paklaida yra 0.628 m, o standartinis nuokrypis – 0.353 m. Įvertinus šiuos rezultatus, pastebėta jog naudojant 20 RSSI reikšmių vidurkį vidutinė paklaida ir standartinis nuokrypis sumažėja daugiau nei keturis kartus, nei naudojant momentines reikšmes. Palyginimui pateiktas visų bandymų su imama vidurkio reikšme grafikas 3.6.8 pav.



3.6.8 pav. Naudojant vidutines reikšmes skirstinių grafikai

Grafike matyti kaip skiriasi paklaidos skirstiniai didinant RSSI reikšmių skaičių apskaičiuojant vidutinę reikšmę. Naudojant bent 5 RSSI reikšmių vidurkį vidutinė paklaida sumažėja dvigubai. Kadangi sukurta programėlė rinkti RSSI reikšmes per 1 sekundę sugeba iš vieno siųstuvo surinkti 3 reikšmes, patartina vidurkiui imti 5 arba 10 reikšmių, kad duomenų rinkimas neužtruktų per ilgai.

### 3.7 Slopavimo įvertinimas

Pastebėjus, jog įvairūs paviršiai ir kliūtys sukelia papildomą signalo slopinimą papildomai atliekamas šių reiškinių tyrimas šiam pastatui. Kiekvienam pastatui statyti gali būti naudojamos vis kitos medžiagos, o jos skirtingai veikia signalus, tai yra daugiau ar mažiau slopina signalą ar net visiškai atspindi. Įvertinti slopinimui yra pasirinkta keletas skirtingų paviršių, tai yra skirtingo storio mūrinės sienos, taip pat kaip slopina plonesni paviršiai, tai yra pastate esančios durys.

Bandymai atliekami pirmiausiai pasirinkus naudojamą atstumą (vienodą visais atvejais), kurį tikslinga naudoti visiems bandymams, o visus gautus rezultatus palyginti. Matavimai atliekami namų sąlygomis, todėl didžiausias atstumas visiems tiriamoms kliūtims yra 3 m. Prieš vertinant signalo stiprumo lygį, išmatuojamas kliūties storis. Įrenginiai laikomi vienas prieš kitą 3 m atstumu, o viduryje jų matuojama kliūtis. Atstumas tarp „Bluetooth LE“ modulio iki vertinamos kliūties toks pat kaip kitoje pusėje esančio mobiliojo įrenginio ir vertinamos kliūties. Rezultatams palyginti tarpusavyje iš visų gautų duomenų išvedamas vidurkis, kuris atspindi matuojamam atstumui gaunamų RSSI reikšmių svyravimo centrą.

Slopavimo įvertinimui naudosimės gautais duomenimis iš anksčiau atliktų visų matavimų tam atstumui išvedant vidurkį, atliktų matuojant nesudarant kliūčių. Šie duomenys pavaizduoti 3.7.1 lentelėje.

3.7.1 lentelė. RSSI vidutinės reikšmės be kliūčių, kai atstumas 2; 2,5; 3 m

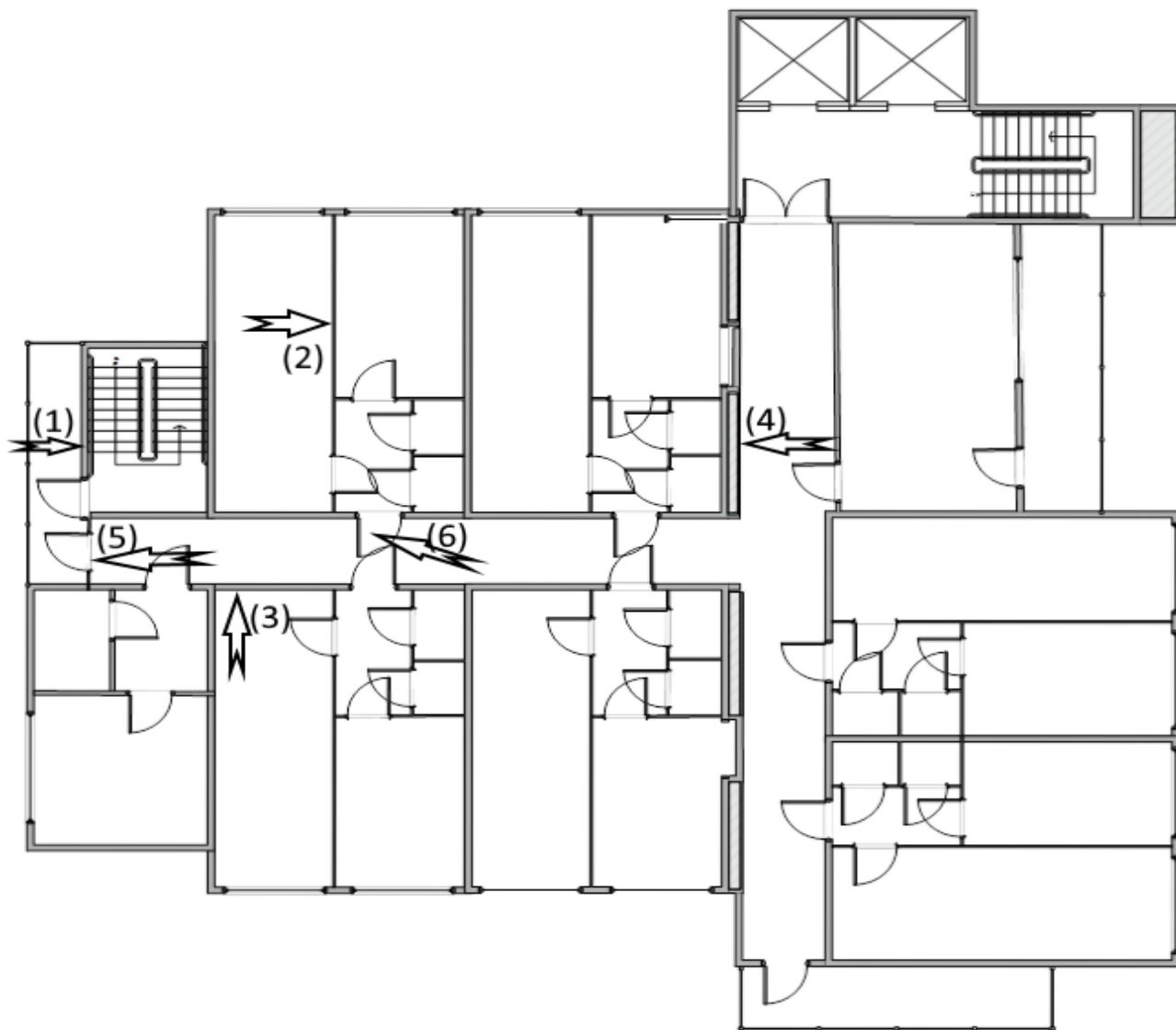
Atstumas, m	Vidutinis RSSI, dBm
2	-68
2,5	-65,03
3	-65,15



Matavimams atlikti ir įvertinti sukeliama slopinimą pasirinkta šešios skirtingos kliūtys, kurios atvaizduotos 3.7.1 pav. tai:

- (1) pastato lauko siena kuri yra iš pilnavidurių baltų plytų ir yra 55 cm storio;
- (2) paprasta vidinė sieną tarp kambarių kuri yra 13 cm storio;
- (3) vidinė pastato siena kurios storis 69 cm;
- (4) vidinė tuščiavidurė siena 134 cm storio;
- (5) plastikinės durys kurios yra 8 cm storio;
- (6) paprastos medinės durys 4 cm storio.

Matuojant atliekami bent 20 matavimų. Gauti rezultatai pateikti 3.6.2 - 3.6.4 lentelėse.

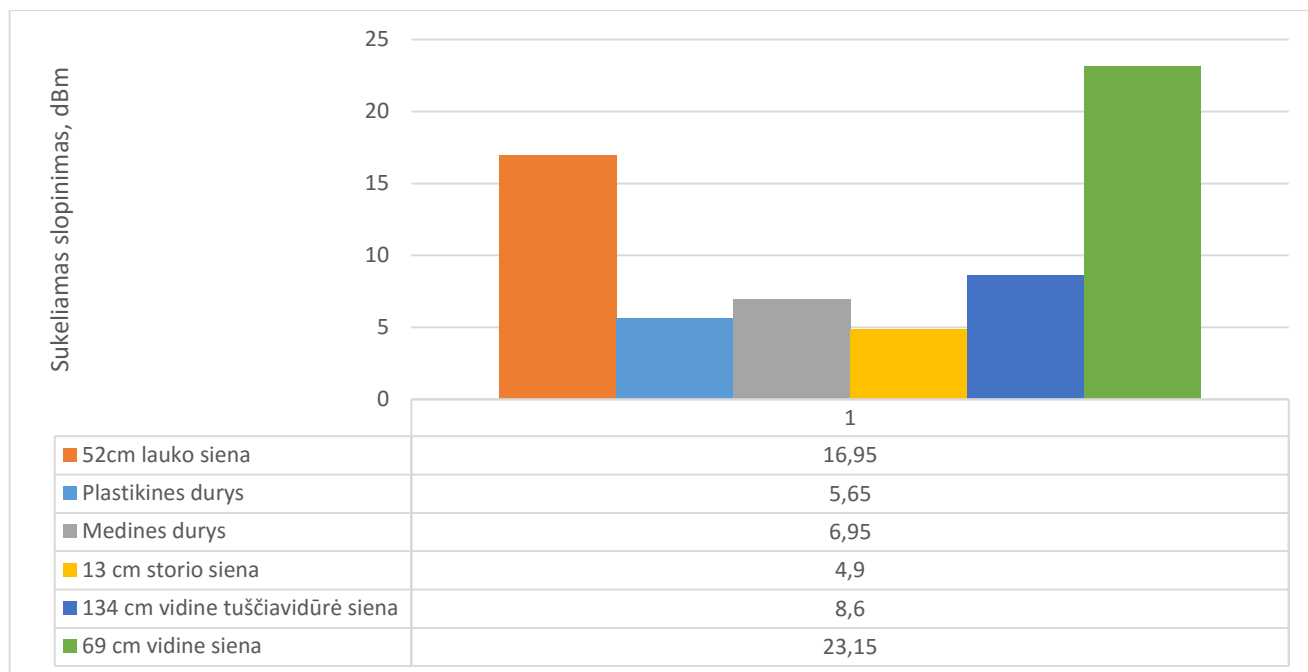


3.7.1 pav. Pastate atliktų matavimų vietos

3.7.2 lentelė. RSSI reikšmės kai signalui naudojamos kliūtys

Matavimo Nr.	Lauko siena (55 cm)	Plastikines durys (8 cm)	Medines durys (4 cm)	Siena (13 cm)	Vidinė tuščiavidurė siena (134 cm)	Vidinė siena (69 cm)
1	-80	-71	-68	-69	-73	-82
2	-84	-69	-78	-74	-82	-83
3	-82	-72	-68	-68	-74	-81
4	-82	-72	-68	-70	-74	-95
5	-90	-72	-76	-70	-74	-93
6	-76	-70	-76	-71	-70	-88
7	-93	-70	-75	-68	-75	-85
8	-86	-70	-75	-70	-74	-82
9	-82	-70	-68	-69	-70	-95
10	-79	-73	-75	-68	-70	-92
11	-77	-70	-75	-69	-74	-93
12	-78	-70	-68	-68	-70	-91
13	-80	-72	-68	-70	-72	-89
14	-82	-72	-78	-70	-76	-84
15	-84	-69	-70	-71	-79	-87
16	-86	-72	-76	-70	-76	-91
17	-80	-72	-69	-71	-72	-90
18	-76	-69	-76	-72	-70	-90
19	-85	-69	-68	-71	-78	-91
20	-80	-72	-67	-72	-72	-84
<b>Vidurkis</b>	<b>-82,1</b>	<b>-70,8</b>	<b>-72,1</b>	<b>-70,05</b>	<b>-73,75</b>	<b>-88,3</b>

Iš gautų rezultatų išvedami vidurkiai ir palyginami su gautais rezultatais laisvoje erdvėje. Žemiau pateiktuose stulpelinėse lentelėse pateikti rezultatai kurie atspindi skirtingų tekstūrų slopinimą. Šie rezultatai gauti iš RSSI rezultatų vidurkio gauto laisvoje erdvėje (3.7.1 pav.) priskirtam atstumui (esant 3 m atstumui) atimant gautą RSSI signalo vidurkį su kliūtimi (3.7.3 pav.). Kuo didesnė reikšmė, tuo didesnis slopinimas išreikštas dBm.



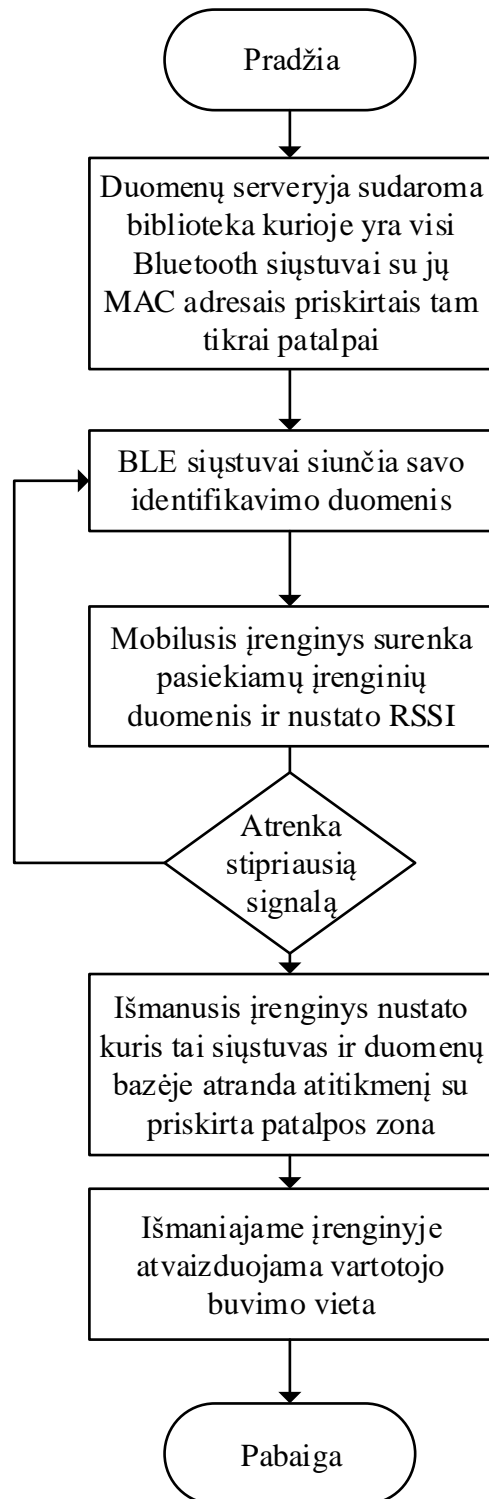
3.7.2 pav. Vidutinio skirtingų kliūčių sukeliama slopinimo palyginimas

Atlikus bandymus naudojant 3 m atstumą, matyti jog didžiausią slopinimą sukeli lauko ir vidinė pastato sienos. Įvertinus sukeliama slopinimą nuo įvairių pastato tekstūrų, pastebėta jog skirtingas atstumas tarp įrenginių naudojant tą pačią kliūtį gali sukelti skirtingą slopinimą. O papildomas slopinimas, toks kaip pavyzdžiui iš gautų rezultatų vidinės sienos sukeliama slopinimo kuris yra 23,15 dBm, gali sukelti nuo 10 iki 40 m paklaidą ar net didesnę. Mažiausias atstumas patalpose iki kurio signalas nebeaptinkamas yra apie 10 m, kai signalui kliudo keturios sienos, o vidutinis apie 15 m. Taigi sistemai nederėtų naudoti didesnę atstumą tarp siūstuvų kaip 10 m.

### 3.8 IPS vietos nustatymo metodas pagal stipriausią signalo lygį

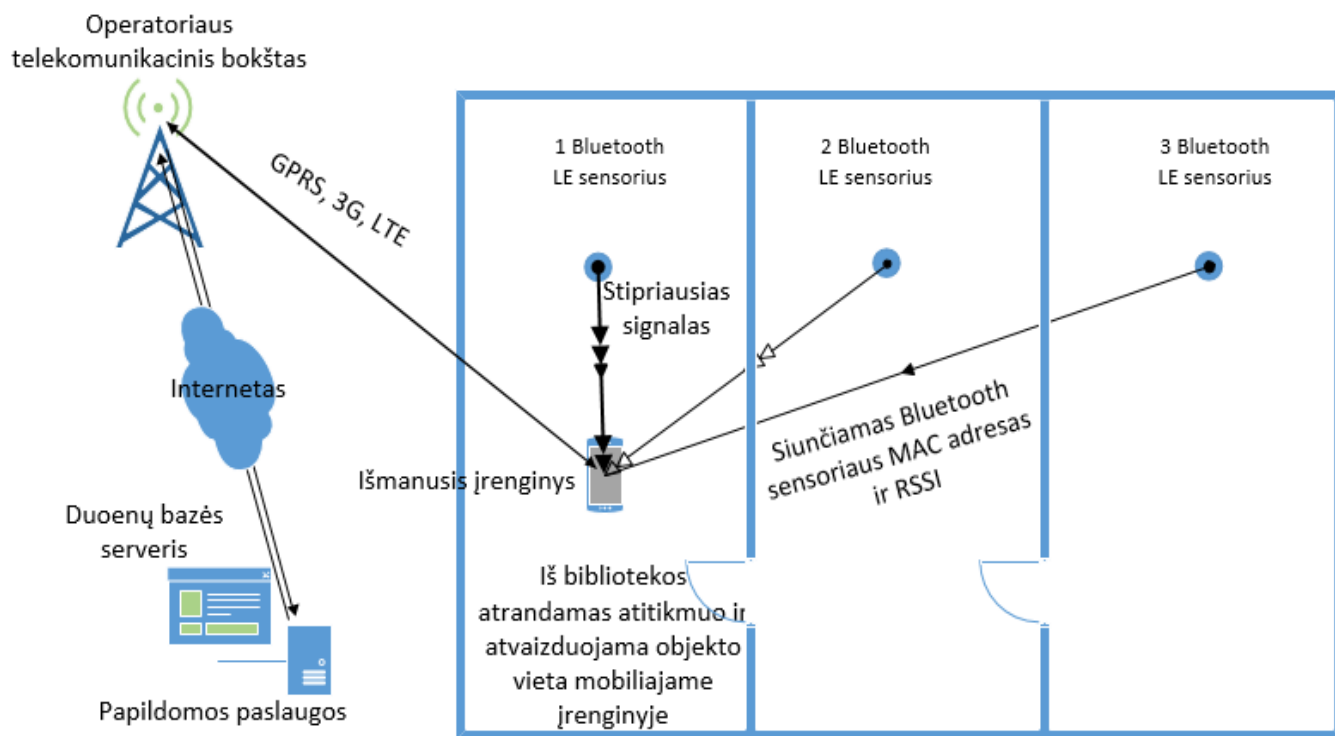
Vietos nustatymo sistema pagal stipriausią signalo lygį remiasi paprastu principu, tai yra kiekviename patalpos kambaryje ar tam tikroje aprėpties zonoje įrengiamas siūstuvus. Šis metodas išnaudoja pastate sienų sukeliama slopinimą, kuris atliekant tyrimus 3.7 skyriuje praktiškai įvertintas, ir atstumą tarp įrenginių. Iš tolimesnių ir už patalpos sienų esančių siūstuvų signalo lygis priimamas mažesnis, nei esančio toje patalpoje kurioje yra siūstuvus. Taigi mobilusis įrenginys gauna signalus iš keleto Bluetooth siūstuvų ir atrenka stipriausią signalą, o siūstuvus identifikuojamas pagal MAC adresą. Kiekvienas siūstuvus priskirtas tam tikrai patalpai ir sudaromas žemėlapis. Atpažinus kuris tai siūstuvus vartotojui gražinamas vaizdas kurioje patalpoje jis yra. Tokiu būdu galima nustatyti kuriame pastato kambaryje yra objektas (patalpos tikslumu). Šis sistemos variantas tinkamas tuo atveju jei reikalinga nustatyti tik kuriame kambaryje yra objektas. Įrengti sistemai reikalingas vienas siūstuvus kiekviename kambaryje, kuris montuojamas patalpos centre. Siūstuvų montavimui geriausia vieta yra naudojamų

įrenginių aukštyje, tai yra naudojant mobiliuosius įrenginius rankoje vidutinis aukštis 1,5 m ar aukščiau. Jei lubos nėra aukštos, montuoti ant jų neužstojant kitais daiktais. Sistemos veikimo paaiškinamas algoritmu kuris pavaizduotas 3.8.1 pav.



3.8.1 pav. Sistemos veikimo algoritmas

Galimas sistemos planas su išdėstytais siųstuvais ir jų aprėptimis pavaizduotas 3.8.2 pav.

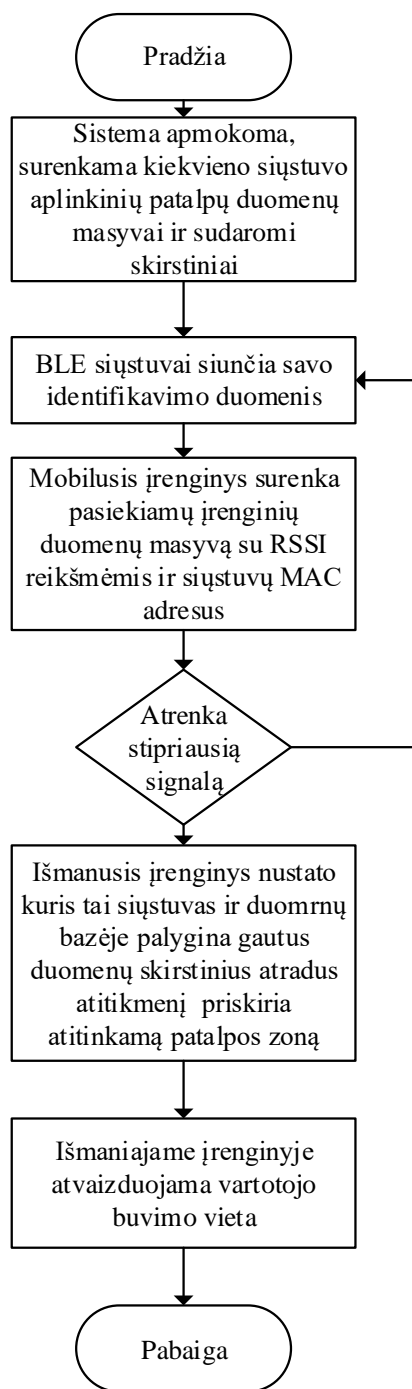


3.8.2 pav. Principinė sistemos schema naudojant 1 siųstuvą patalpai

Šiuo atveju reikalingas mažesnis siųstuvų skaičius nei naudojant trilateracijos metodą.

### 3.9 IPS vietos nustatymo metodas pagal RSSI skirstinį

Antrajam sistemos variantui pasinaudosime darbo eigoje pastebėtu reiškiniu, tai yra kintančia RSSI reikšme ir pastato sienų sukeliamu slopinimu. Įvertinus šiuos dalykus ir surinkus duomenis galime pastebėti jog skirtingose patalpose RSSI kinta skirtingame reikšmių diapazone. Kad tai patvirtinti atliekami papildomi matavimai. Sistemos veikimo algoritmas pateiktas 3.9.1 pav.

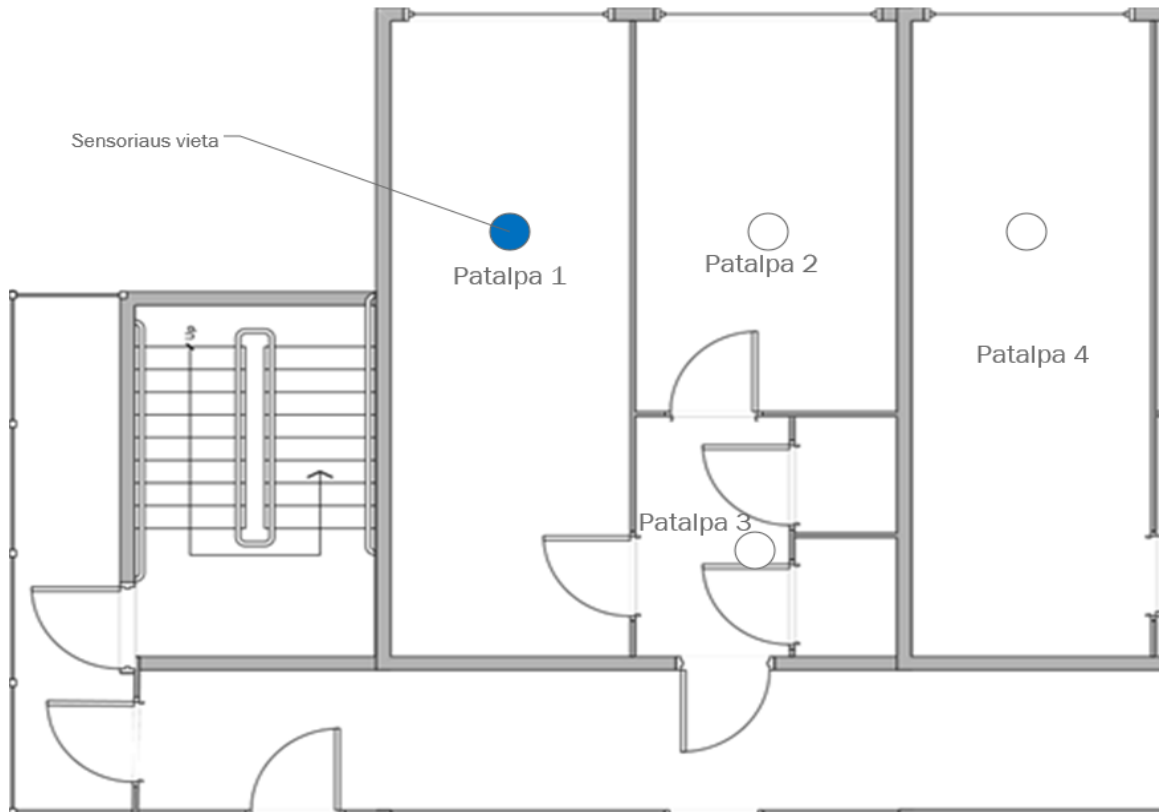


3.9.1 Pav. Sistemos pagal RSSI skirstinį algoritmas

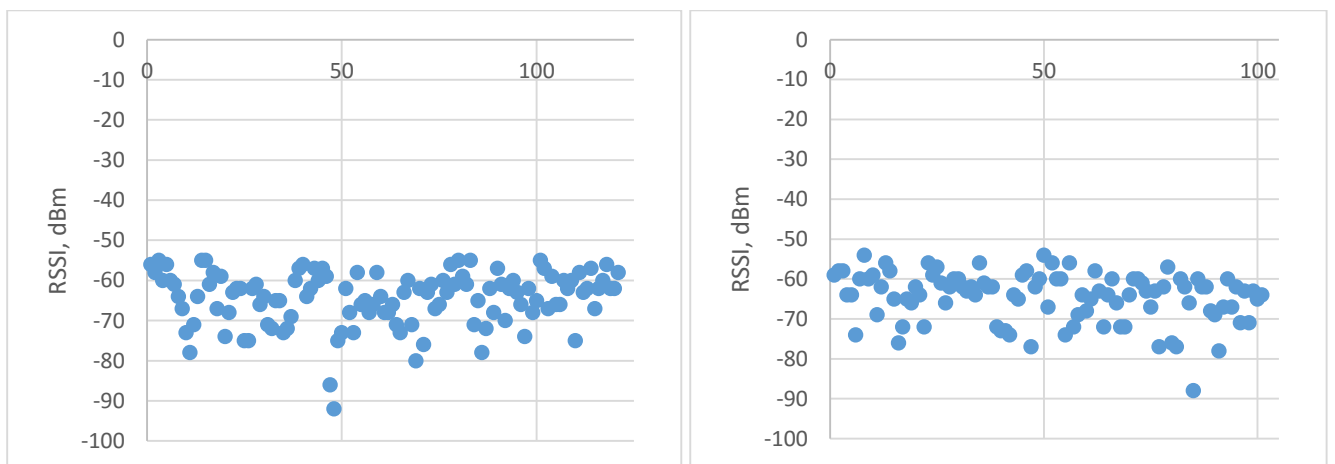
Matavimo vietos brėžinys pateiktas 3.9.2 pav. su parinktomis siūstuvų vietomis pažymėtomis apskritimais.

Matavimai atliekami išsirenkant patalpą, kurioje bus statomas Bluetooth siūstuvus, šiuo atveju siūstuvus yra patalpoje Nr. 1. Po to su išmaniuoju įrenginiu surenkami duomenys. Duomenų rinkimas atliekamas judant visame matuojamos patalpos plote, kol surenkama 100 ar daugiau RSSI reikšmių. Tokiam duomenų kiekiui surinkti reikalinga 2-3 min laiko. Pirmasis matavimas atliekamas, kai Bluetooth siūstuvus yra 1 patalpoje, o išmanusis įrenginys taip pat pirmojoje patalpoje. Tolimesni tyrimai atliekami mobiliųjų įrenginių naudojant atitinkamai antroje, trečioje ir ketvirtoje patalpose. Atlikus

RSSI matavimus visose patalpose buvo atliekami papildomi pakartotiniai matavimai, siekiant įsitinkinti ar RSSI duomenų skirstiniai yra panašūs. Rezultatai pateikti 3.9.3 ir 3.9.4 pav., kairėje pirmasis bandymas, o dešinėje antrasis bandymas.

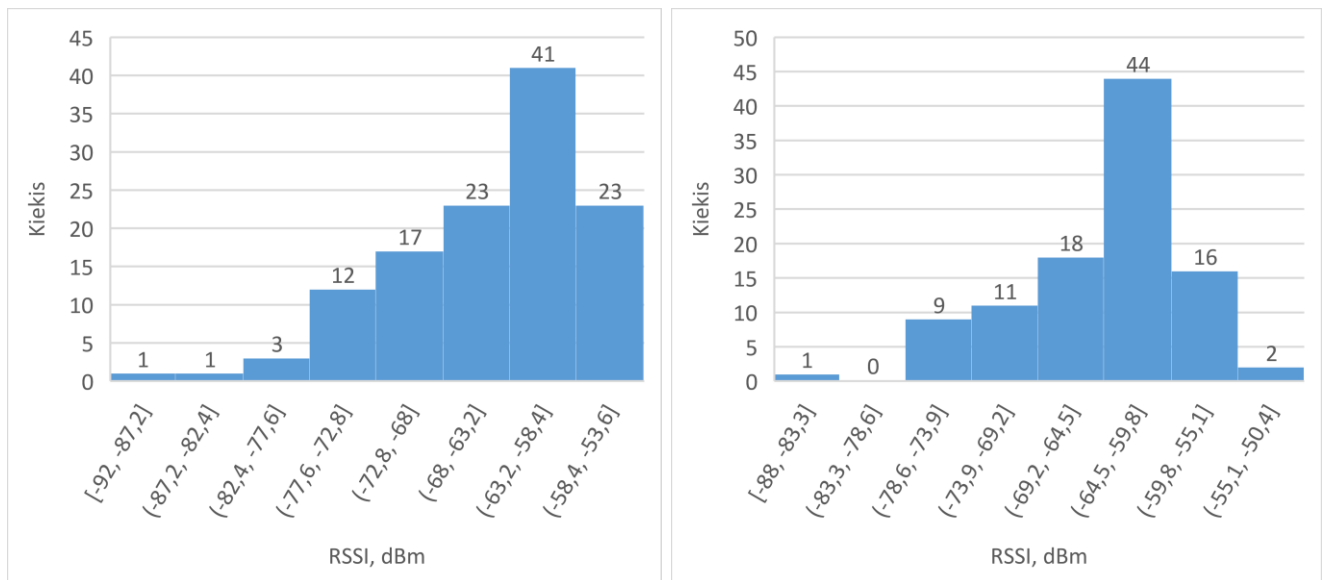


3.9.2 pav. Atliekamų papildomų matavimų planas



3.9.3 pav. Pirmosios patalpos surinktų RSSI reikšmių grafikai

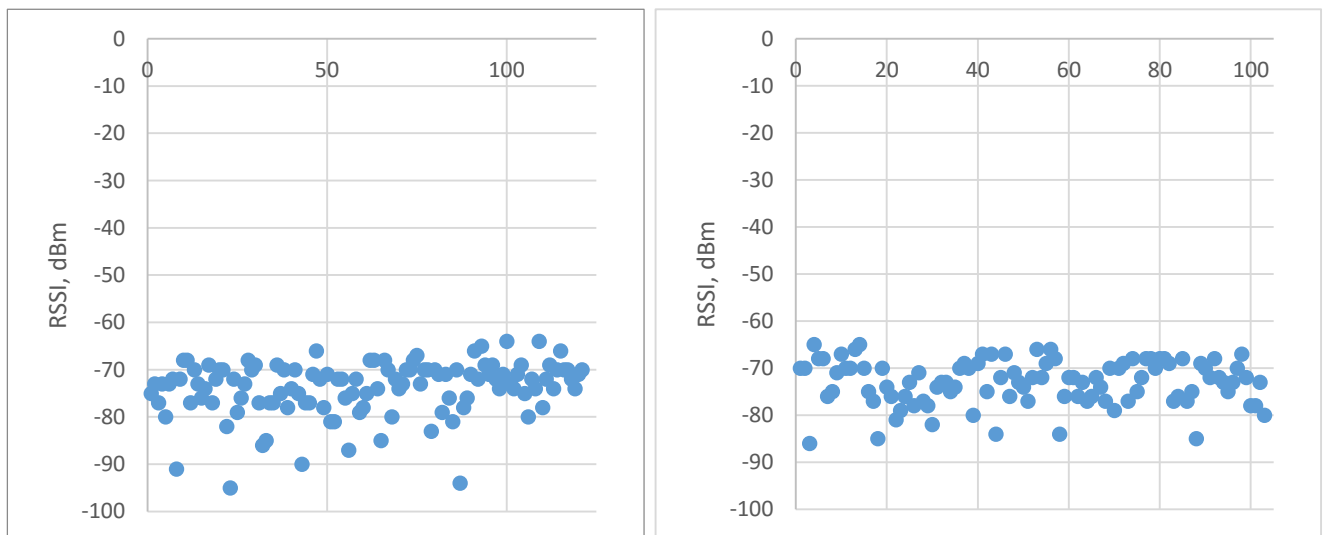
Iš grafikų matyti jog RSSI didžioji dalis yra tarp -60 ir -70 dBm. Iš gautų duomenų sudaromas skirstinys 3.9.4 pav, o jame matyti kokiose ribose yra pasiskirsčiusi didžioji išmatuotų RSSI reikšmių.



3.9.4 pav. Pirmosios patalpos RSSI reikšmių skirstiniai

Iš skirstinių matyti jog reikšmių išsibarstymas yra labai panašūs. Didžioji, abiejų bandymų, dalis reikšmių yra pasiskirsčiusi tarp -53 dBm ir -73 dBm reikšmių.

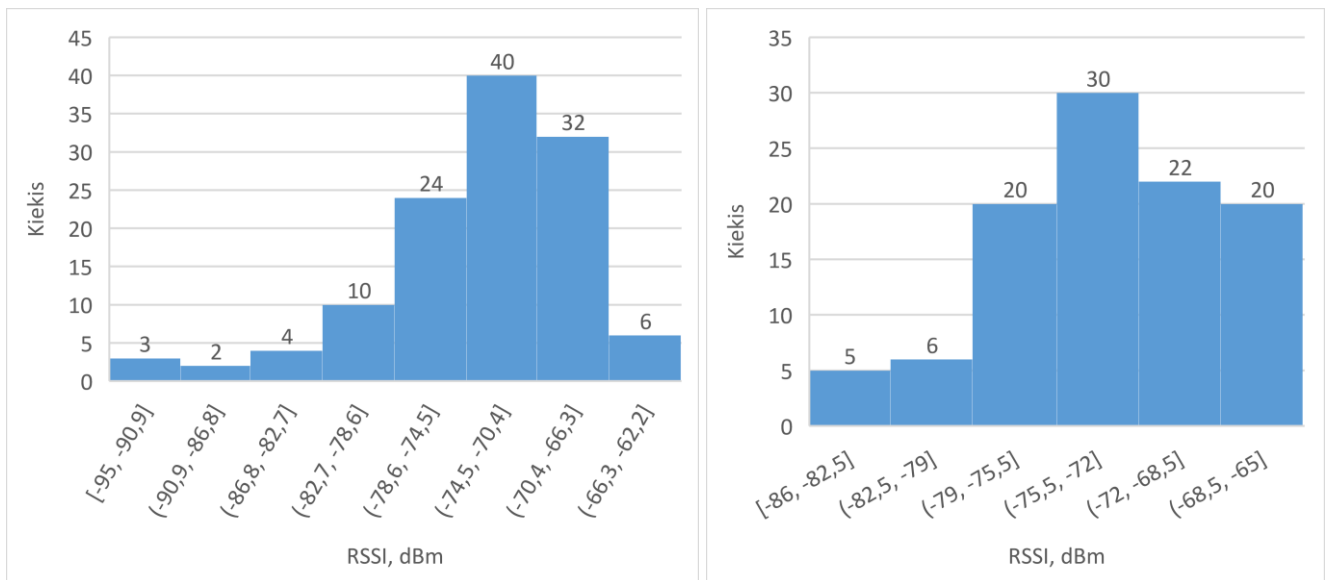
Toliau matavimas atliekamas Bluetooth siųstuvą paliekant 1 patalpoje, o išmaniuoju įrenginiu atliekami analogiški matavimai antroje patalpoje.



3.9.5 pav. Antrosios patalpos surinktų RSSI reikšmių grafikai

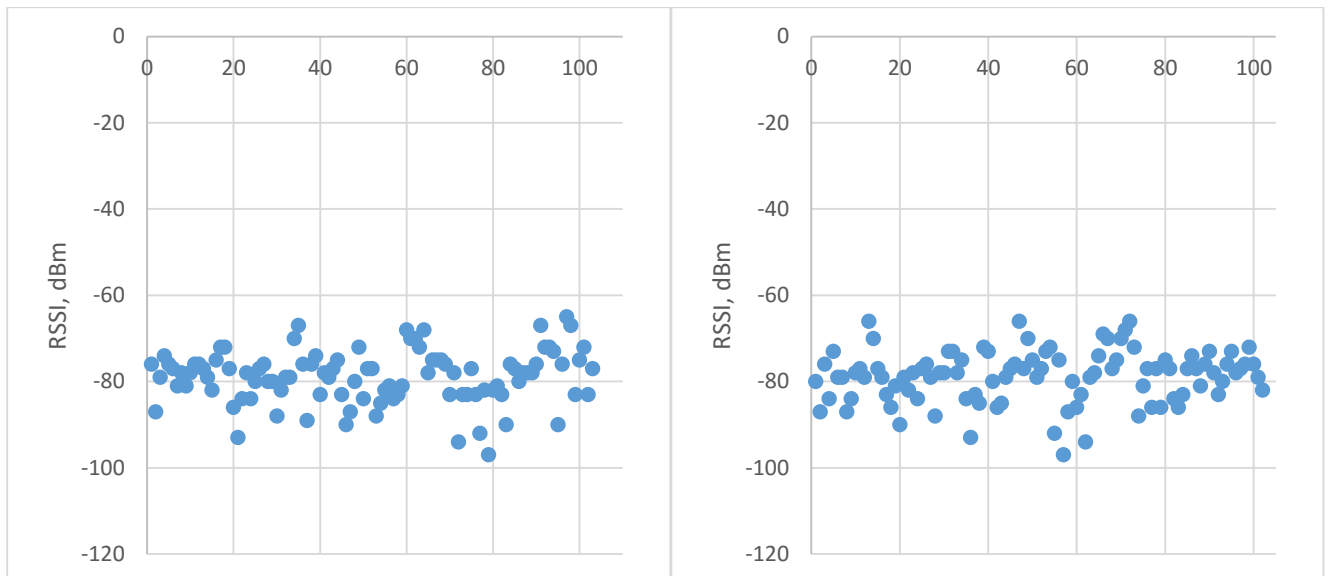
Iš grafikų matyti jog RSSI didžioji dalis reikšmių išsibarsčiusi tarp -70 ir -80 dBm. Toliau sudaromi šių matavimų skirstiniai ir pamatyti kaip pasiskirsčiusios matavimų reikšmės.





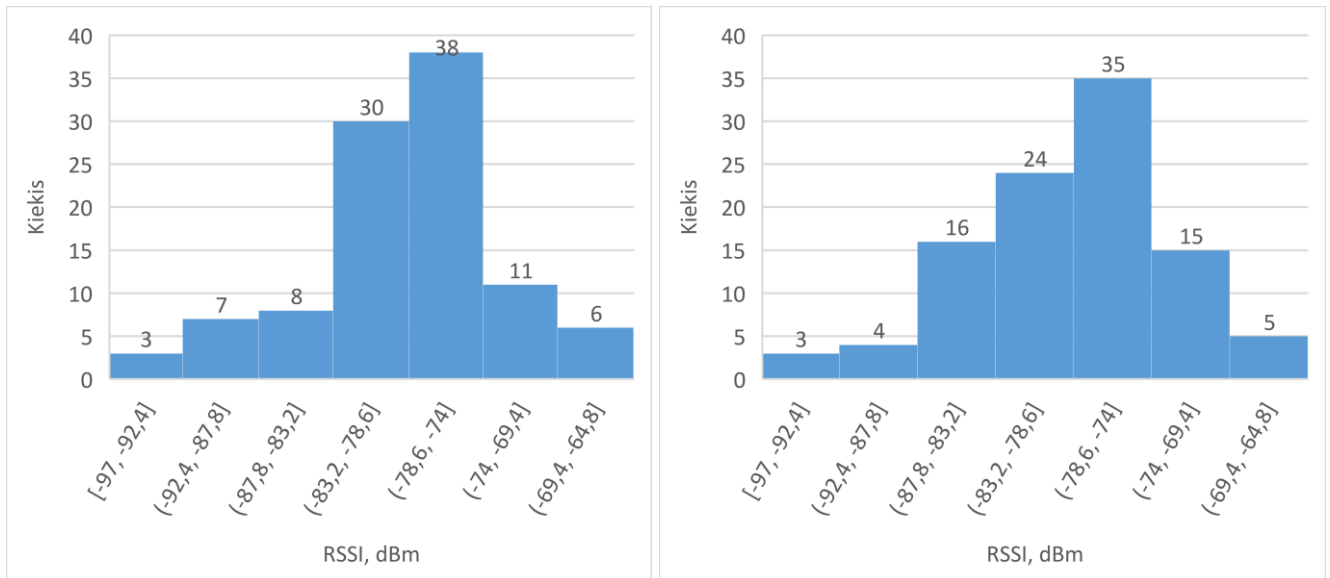
3.9.6 pav. Antrosios patalpos RSSI reikšmių skirstinys

Antrojoje patalpoje skirstinys taip pat panašus. Didžioji, abiejų bandymų, dalis reikšmių yra pasiskirsčiusi tarp -65 dBm ir -79 dBm reikšmių. Toliau atliekami analogiški matavimai trečioje patalpoje.



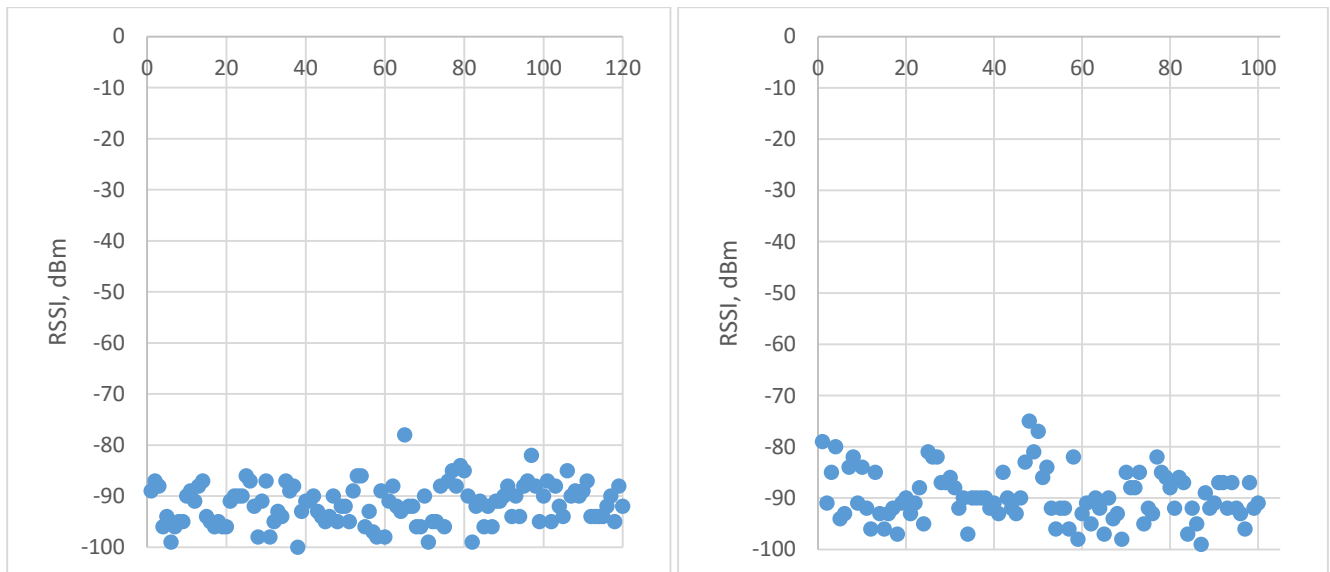
3.9.7 pav. Trečiosios patalpos surinktų RSSI reikšmių grafikai

Iš grafikų matyti jog RSSI reikšmės išsibarsčiusi apie -80 dBm. Toliau sudaromi šių matavimų skirstiniai ir pamatyti kaip pasiskirsčiusios matavimų reikšmės.



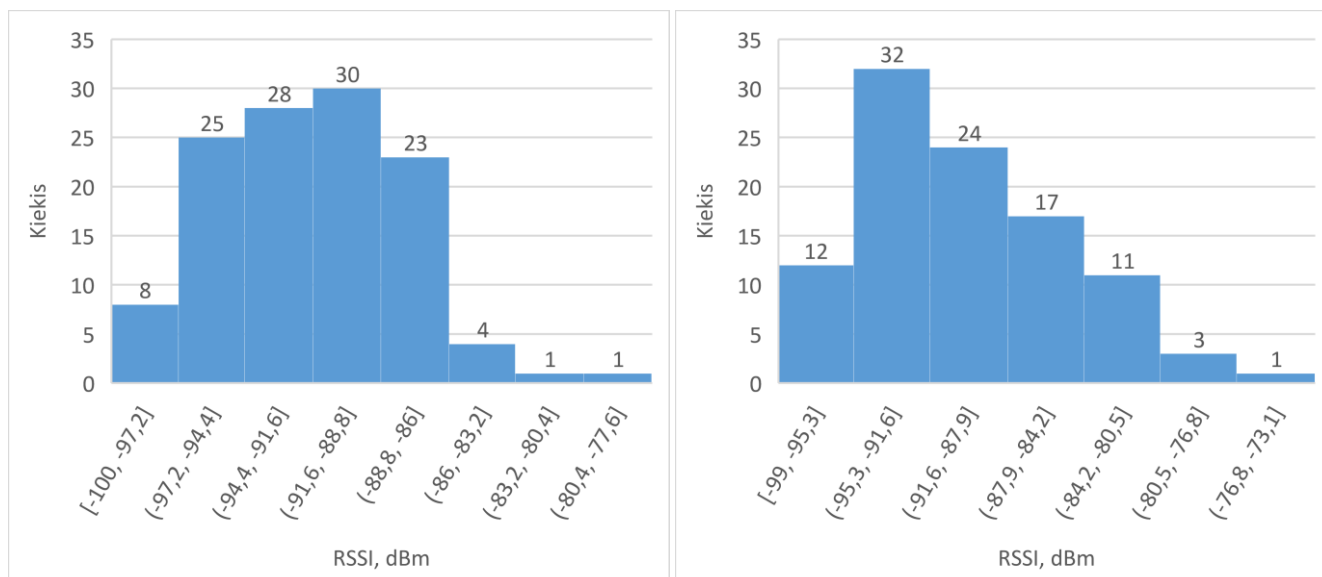
3.9.8 pav. Trečiosios patalpos RSSI reikšmių skirstinys

Trečioje patalpoje skirstinys taip pat panašus. Didžioji, abiejų bandymų, dalis reikšmių yra pasiskirsčiusi tarp -69 dBm ir -83 dBm reikšmių. Toliau atliekami analogiški matavimai ketvirtojoje patalpoje.



3.9.9 pav. Ketvirtos patalpos surinktų RSSI reikšmių grafikai

Iš grafikų matyti jog RSSI reikšmės išsibarsčiusi apie -90 dBm. Toliau sudaromi šių matavimų skirstiniai ir pamatyti kaip pasiskirsčiusios matavimų reikšmės.



3.9.10 pav. Ketvirtos patalpos RSSI reikšmių skirstinys

Ketvirtojoje patalpoje skirstinys taip pat panašus. Didžioji, abiejų bandymų, dalis reikšmių yra pasiskirsčiusi tarp -99 dBm ir -85 dBm reikšmių.

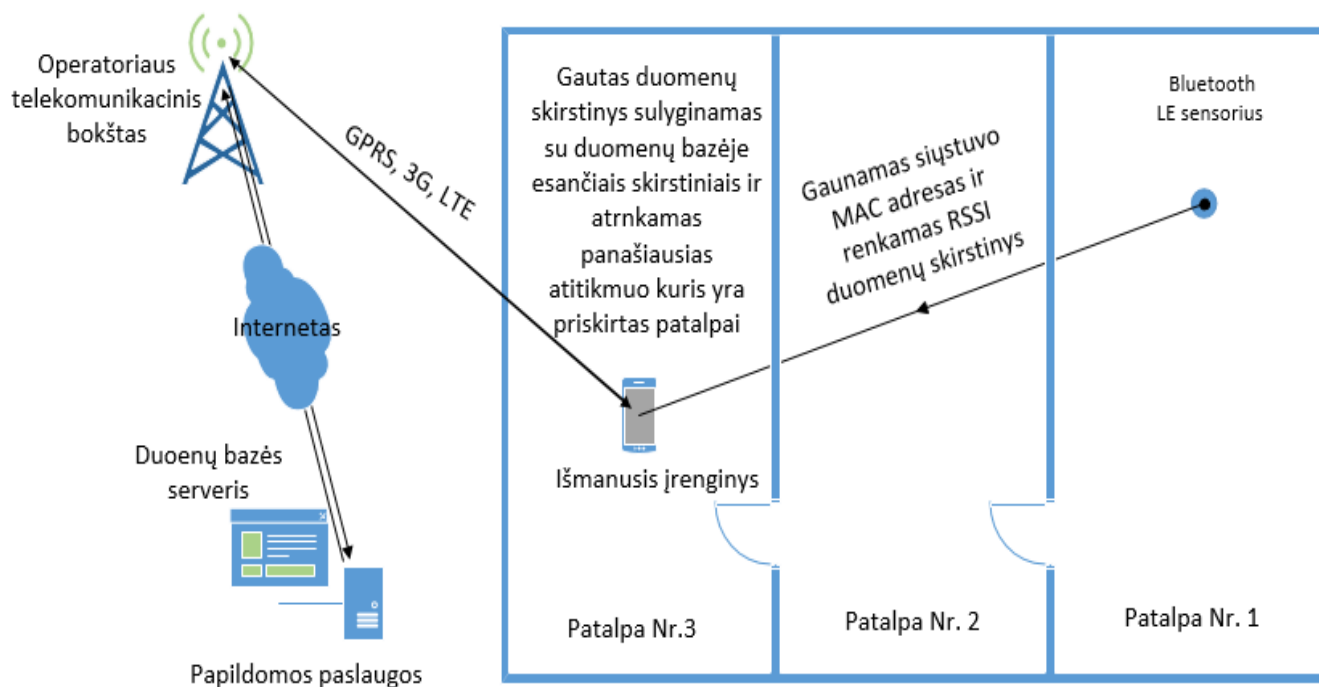
Atlikus visus tyrimo bandymus sudaroma statistinių parametų 3.9.1 lentelė (Vidutinės reikšmės, standartinis nuokrypis, mediana, moda ir didžiausia bei mažiausia reikšmė), kurioje palyginami kiekvieno eksperimento rezultatai.

3.9.1 lentelė. Eksperimentu metu suskaičiuoti statistiniai parametrai

Mobilus įrenginio vieta	1 patalpa		2 patalpa		3 patalpa		4 patalpa	
	Bandy-mas Nr1	Bandy-mas Nr2	Bandy-mas Nr1	Bandy-mas Nr2	Bandy-mas Nr1	Bandy-mas Nr2	Bandy-mas Nr1	Bandy-mas Nr2
Vidutinė reikšmė, dBm	-64,512	-64,495	-73,868	-73,01	-81,492	-78,775	-91,6	-89,71
Standartinis nuokrypis	6,776	6,249	5,743	4,735	7,663	6,087	3,944	4,947
Mediana	-63	-63	-72	-72	-82	-78	-92	-91
Moda	-62	-60	-70	-70	-76	-77	-90	-92
Didžiausia reikšmė, dBm	-54	-55	-64	-65	-64	-66	-78	-75
Mažiausia reikšmė, dBm	-88	-86	-95	-86	-99	-97	-100	-99

Atlikus bandymus pastebima jog skirtingose patalpose gaunami skirtingi duomenų skirstiniai. Tokiu būdu galima surinkus atitinkamą duomenų kiekį ir apdorojus gautus duomenis priskirti juos tam tikrai patalpai. Iš lentelėje pateiktų duomenų aiškiai matyti jog kiekviena patalpa išsiskiria savo parametrais, o pakartojus eksperimentą gauta labai panašūs rezultatai. Iš šių parametų galime išskirti

vidutinę reikšmę, medianą, modą ir didžiausią reikšmę. Sistemai surinkus atitinkamą duomenų kiekį iš stipriausio signalo šaltinio, sudaryti skirstinį ir apskaičiuoti šiuos parametrus. Tai atlikus palyginti gautus duomenis su duomenų bazėje esančiais iš anksto praktiškai atliktais bandymų rezultatais. Atradus atitikmenį, galima jį priskirti patalpai, kuri turi panašų skirstinį ir statistinius parametrus ir vartotojui gražinti rezultatą su jo esama vieta pastate. 3.9.11 pav. pavaizduota principinė tokios sistemos schema.



3.9.11 pav. IPS naudojant RSSI skirstinį principinė schema

IPS naudojant RSSI skirstinį sistemos pagrindinis privalumas prieš kitas šiame darbe tirtas sistemos variantus yra tas, kad naudojant vieną siųstuvą galima aprėpti keletą patalpų ir nustatyti kurioje patalpoje yra vartotojas. Trūkumai lyginant su prieš tai aptartais sistemos metodais yra tai, jog reikalingas ilgesnis laikas surinkti duomenų masyvui ir sudėtingesnis vietos nustatymo apskaičiavimo metodas, kuris reikalauja papildomo sistemos „apmokymo“, atliekant praktinius matavimus, kurie būtų priskiriami kiekvienai patalpai.

## 4. Sistemos ekonominis įvertinimas

Šiame darbe atlikti praktiniai tyrimai su realiais Bluetooth LE siųstuvais, kaip RSSI priklausau nuo atstumo, kliūčių įtaka signalo stiprumui, vadovaujantis gautais praktiniais rezultatais sumodeliuota sistema naudojant trilateracijos metodą ir įvertintos paklaidos. Taip pat, papildomai pasiūlyti dar du sistemos įrengimo variantai alternatyviems sprendimams, tai sistema pagal stipriausią RSSI lygį ir sistema pagal RSSI reikšmių skirstinį. Šis projektas galėtų būti realizuojamas kaip „Startuolio“ projektas gauti reikalingą finansavimą arba ieškoti privačių investuotojų įgyvendinti projektui. Taigi, kad sistemą būtų galima siūlyti klientams reikalinga pasamdyti profesionalų programuotoją ar programuotojų komandą, kuri suprogramuotų universalią pagrindinę sistemos programinę įrangą vadovaujantis darbe atliktais tyrimais ir kuri turėtų:

- Universalų įrankį, leidžiantį pritaikyti pastato planą naudojamai sistemai.
- Leisti išdėstyti Bluetooth LE siųstuvus pastato plane su jų koordinatėmis ir įrenginių MAC adresais bei galimybę tai koreguoti.
- Perkelti į mobiliąją programėlę patalpų planus su įrengtų Bluetooth LE siųstuvų duomenimis.
- Atnaujinti mobiliąsias programėles, jeigu būtų atlikti pakeitimai.

Mobiliąją aplikaciją kuri turi:

- Sugebėti apskaičiuoti objekto vietą naudojantis trilateracijos metodu, stipriausio RSSI signalo metodu ir RSSI skirstinio metodu.
- Turėti grafinę sąsają, kuri leistų atvaizduoti pastato plane vartotojo buvimo vietą.
- Galimybę integruoti reklamos rodymo galimybes.

Taip pat turi būti sukurta interneto svetainė, kurioje būtų visa informacija apie teikiamas paslaugas ir duomenų bazę kurioje saugomi duomenys apie registruotus vartotojus, patalpų planai bei duomenys skirti papildomoms paslaugoms. Apytikslės programavimo darbų kainos pateiktos 4.1 lentelėje.

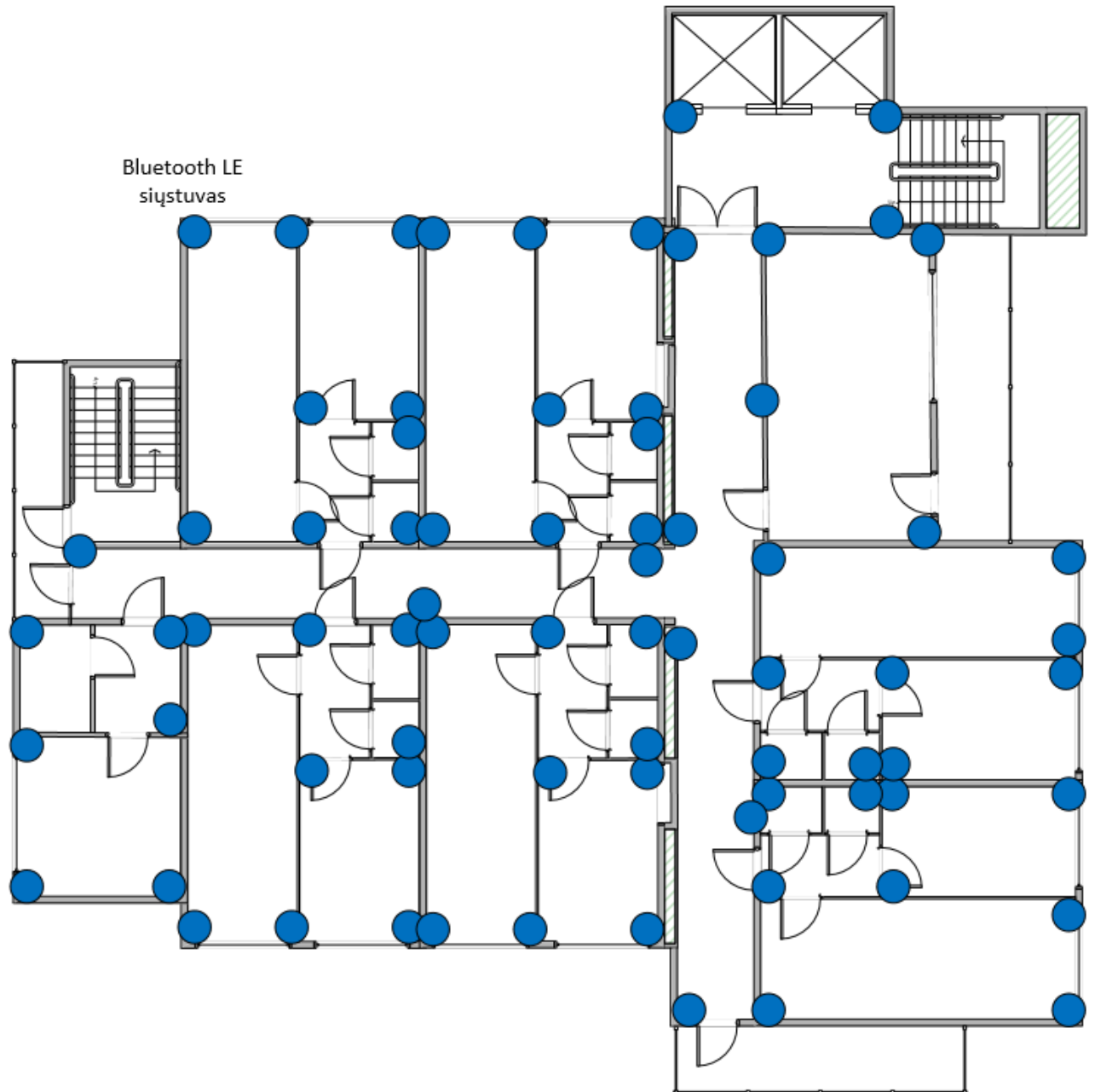
4.1 lentelė. Programavimo darbų preliminarios kainos

Darbai	Kaina, €
Pagrindinės programinės įrangos	15500
Mobiliosios programėlės	2000
Interneto svetainės	500
Duomenų bazės	2000

Taigi bendra reikalingų investicijų suma siekia 20000 €. Atlikus visus programavimo darbus galima įmonėms siūlyti įsirengti vietos nustatymo patalpose sistemą ir pasiūlyti tris skirtingus sistemos variantus, tai sistema naudojanti trilateracijos metodą, sistema pagal stipriausią signalo lygį ir sistema pagal RSSI skirstinį. Įvertinama kiekvienos sistemos įrengimo kaštai ir sistemos išlaikymo sąnaudos.

Tam, kad galima būtų įvertinti investicijų atsipirkimą toliau bus pateikti trys objekto vietos nustatymo patalpose sistemos įdiegimo tipinėje įmonėje variantai.

Pirmajai sistemai, naudojančiai trilateracijos principą, reikia kiekvienai patalpai, nemažesnei nei 5 m<sup>2</sup> ploto, įrengti 3 Bluetooth LE siūstuvus (4.1 pav.).



4.1 pav. Bluetooth LE siūstuvų išdėstymo schema naudojant trilateracijos principą

Siųstuvai išdėstomi stačiojo trikampio būdu (trijuose patalpos kampuose). Kaip rodo darbe atlikti įvertinimai, tokiu būdu išdėstant Bluetooth LE siųstuvus, gaunamos mažiausios paklaidos. Koridoriuose naudojama lygiašonio trikampio metodu išdėstomi siųstuvai, kad būtų galima aprėpti didesnę plotą.

Šiuo metodu reikalinga išdėstyti 75 Bluetooth LE siųstuvus kadangi yra išskirtos 25 patalpos. Trilateracijos metodu veikiančiai objekto vietos patalpose nustatymo sistemai reikalinga programinė įranga naudoja sudėtingesnį skaičiavimo metodą, kuris leidžia didžiausiu tikslumu iš visų trijų minimų sistemų nustatyti objekto vietą, todėl tokiu metodu veikianti sistema priskiriama aukštesnės paslaugos kokybės statusui, pagal kurį galima reguliuoti sistemos kainą įmonei. Diegiant tokią sistemą reikia įrengti 75 Bluetooth LE siųstuvus, kurių kiekvienas naudoja dvi AA tipo baterijas. Platesniam paslaugų palaikymui reikalinga nuomoti serverį, kurio pagalba būtų galima teikti papildomas paslaugas: tai reklamos pagal kliento buvimo vietą, klientų lankomos informacijos kaupimas, ir panašiai.

4.2 lentelėje pateikti tokios sistemos įrengimo kaštai, kuriuos turėtų sumokėti įmonė.

4.2 lentelė. Projektuojamos sistemos, veikiančios pagal trilateracijos metodą, įrengimo kaštai

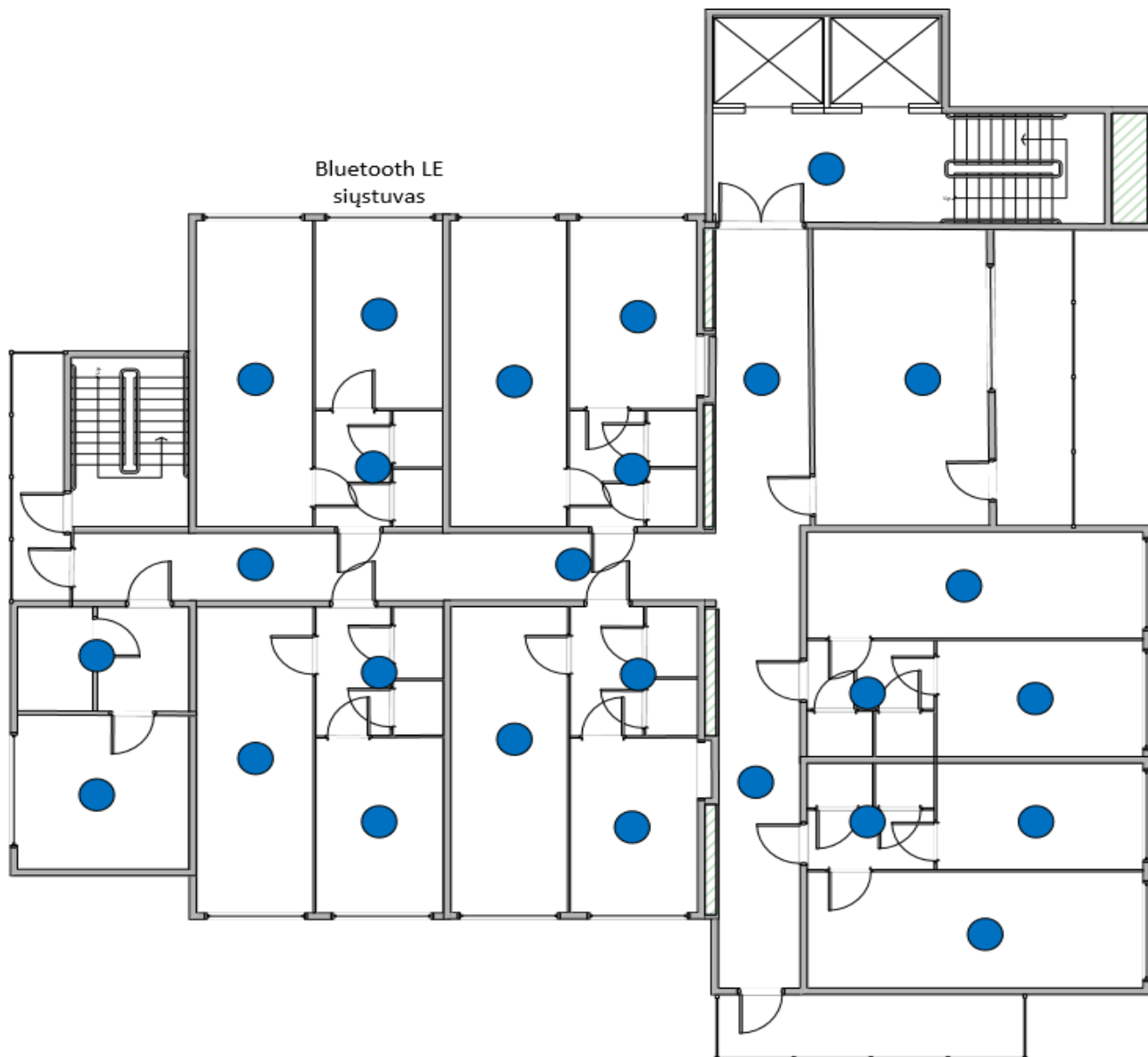
Įranga	Kaina, €	kiekis, vnt	Suma, €
Bluetooth 4.0 siųstuvai	2	75	150
Maitinimo elementai	1	150	150
Serverio nuoma	5	12	60
Įrengimo kaina	400	1	400
Viso, €:	760		

Vietos nustatymo patalpose sistemai kuri kaip pavyzdys pateikta 4.1 pav naudojančiai trilateracijos metodą, įrengimo kaina yra 760 €.

Antrasis sistemos variantas naudojantis stipriausią RSSI lygį. Sistemai veikti reikalinga programinė įranga, kuri leistų nustatyti objekto vietą, naudojant paprasčiausią skaičiavimo metodą, kuris leidžia nustatyti objekto vietą patalpos tikslumu, todėl ši paslauga priskiriama vidutinei paslaugos klasei. Pavyzdžiu, 4.2 pav. pateiktame plane yra išskirtos 25 patalpos, todėl reikia įrengti 25 Bluetooth LE siųstuvus, kurių kiekvienas naudoja dvi AA tipo baterijas ir yra montuojamas patalpos viduryje ant lubų. Įrenginių išdėstymo planas pateiktas 4.2 pav. Nors sistemai palaikyti nereikalingas pastovus interneto ryšys, minimaliems programinės įrangos atnaujinimams rekomenduojama nuomoti serverį, kurio pagalba dar būtų galima teikti papildomas paslaugas: tai reklamos pagal kliento buvimo vietą, klientų lankomos informacijos kaupimas, ir panašiai. 4.3 lentelėje pateikti tokios sistemos įrengimo kaštai, kuriuos turėtų sumokėti įmonė.

4.3 lentelė. Projektuojamos sistemos, veikiančios pagal didžiausią RSSI lygį, įrengimo kaštai

Įranga	Kaina, €	kiekis, vnt	Suma, €
Bluetooth 4.0 siųstuvai	2	25	50
Maitinimo elementai	1	50	50
Serverio nuoma	5	12	60
Įrengimo kaina	150	1	150
Viso, €:		310	

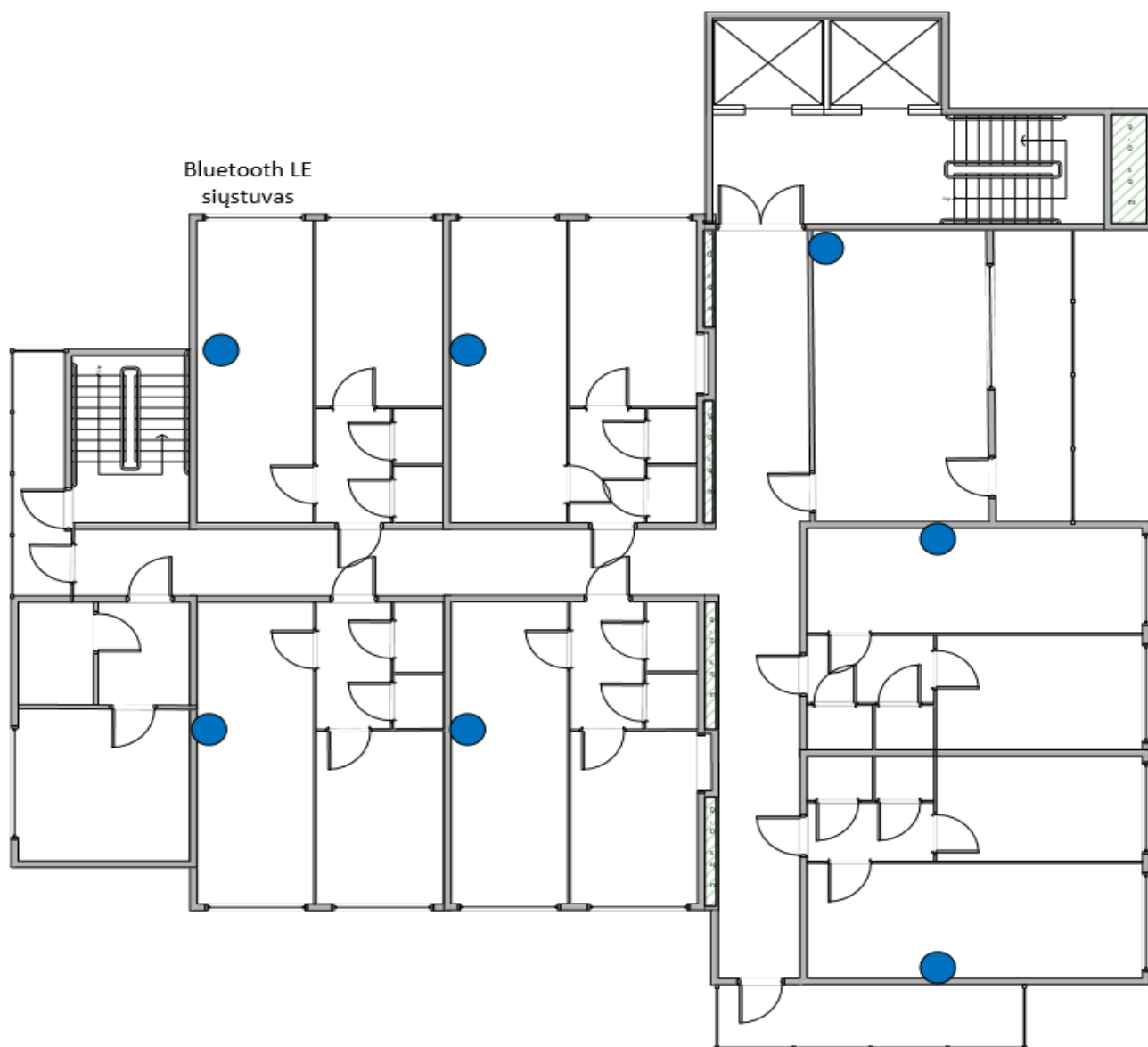


4.2 pav. Bluetooth LE siųstuvų, kai naudojamas stipriausio RSSI lygio metodas, išdėstymo schema

Vietos nustatymo patalpose sistemai, naudojančiai stipriausio RSSI signalo metodą, įrengti kainuotų 310 €.



Galimas ir trečiasis sistemos variantas, kuris objekto vietą patalpose nustato pagal RSSI verčių skirstinį. Sistemai veikti reikalinga programinė įranga, kuri leistų nustatyti objekto vietą, naudojant sudėtingesnį skaičiavimo metodą, leidžiantį nustatyti objekto vietą patalpos tikslumu. Vienas Bluetooth LE siųstuvas gali aprėpti 3-5 patalpas, todėl reikia įrengti 7 Bluetooth LE siųstuvus, kurių kiekvienas naudoja dvi AA tipo baterijas. Įrenginiai išdėstomi taip kad aprėptų gretimas patalpas ir būtų didžiausiu leistinu atstumu vienas nuo kito. Įrenginių išdėstymo planas pateiktas 4.3 pav. Sistemai palaikyti reikalingas pastovus interneto ryšys, minimaliems programinės įrangos atnaujinimams rekomenduojama nuomoti serverį, kurio pagalba dar būtų galima teikti papildomas paslaugas, tai reklamos pagal kliento buvimo vietą, klientų lankomos informacijos kaupimas, ir panašiai.



4.3 pav. Bluetooth LE siųstuvų išdėstymo schema naudojant RSSI skirstinio metodą

4.4 lentelėje pateikti tokios sistemos įrengimo kaštai, kuriuos turėtų sumokėti įmonė.

4.4 lentelė. Projektuojamos sistemos, veikiančios pagal RSSI skirstinį, įrengimo kaštai

Įranga	Kaina, €	kiekis, vnt	Suma, €
Bluetooth 4.0 siųstuvai	2	7	14
Maitinimo elementai	1	14	14
Serverio nuoma	5	12	60
Įrengimo kaina	100	1	100
Sistemos „apmokymo“ darbai	125	1	125
Viso, €:	313		

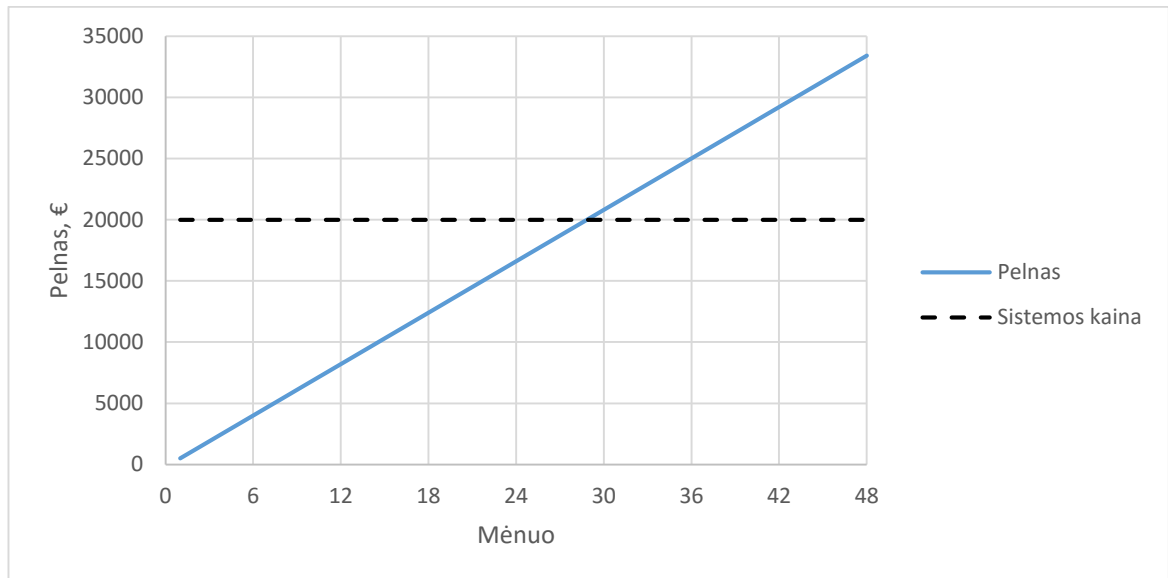
Vietos nustatymo patalpose sistemai naudojančiai RSSI skirstinio metodą, įrengti kainuotų 313 €.

Taigi ekonomiškai įvertinti trys sistemos variantai. Pirmasis variantas naudojantis trilateracijos metodą yra aukščiausios klasės, siūlantis didžiausią tikslumą, todėl šios sistemos įrengimas ir išlaikymas yra brangiausias. Antroji sistema, naudojantis stipriausio RSSI signalo lygio metodu, yra pati pigiausia nes programinėje įrangoje nenaudojami sudėtingesni skaičiavimai, taip pat žymiai mažesnis reikalingų siųstuvų skaičius bei nereikalingas nuolatinis interneto ryšys, bet nustatoma tik patalpa, kurioje yra objektas. Trečioji sistema paremta RSSI skirstinio metodu, šiek tiek brangesnė, nei stipriausio RSSI signalo lygio metodu, nes reikalinga atlikti sudėtingesnius skaičiavimus ir sistemos apmokymo darbai, kuris reikalingas norint užtikrinti sistemos kokybišką veikimą, nes sistema yra jautri aplinkos pokyčiams.

Pagal pateiktą kiekvieno sistemos varianto ekonominį įvertinimą galima apskaičiuoti, kiek reikėtų tokių sistemų įdiegti, kad atsipirktų pradinės išlaidos, kurios būtų išleistos programavimo ir sistemos suderinimo darbams. Reikia pažymėti, kad tokios sistemos galėtų generuoti ir papildomas pajamas, kurias generuotų reklama, geresnis pirkėjų informavimas ir nukreipimas parduotuvėse, specialūs pasiūlymai pagal esamą vartotojo vietą, statistinių duomenų apie vartotojų srautus surinkimas ir kitos vietos nustatymo patalpose paslaugos.

Reikalinga įvertinti kokia būtų įrengiamų sistemų kaina. Įmonė nusprendusi įsirengti vieną iš siūlomų sistemos variantų apmokėtų įrengimo kainą ir mėnesinį mokestį sistemai palaikyti, kuris nustatomas pagal pastato plano sudėtingumą ir sistemos vietos nustatymo metodą. Pastato plano sudėtingumas gali būti vertinamas pagal patalpų skaičių ir jų plotą. Sistemos suskirstytos į: a) aukštos kokybės paslaugos, tai sistema naudojanti trilateracijos metodą ir yra brangesnė paslauga; b) vidutinės klasės paslaugos, pagal stipriausia RSSI lygi sistema ir pagal RSSI skirstinį, šios kategorijos paslaugos yra pigesnės. Įvertinus pavyzdyje pateiktą planą aukštos klasės paslauga įmonei kainuotų 100 € per mėnesį, o vidutinės klasės paslauga 50 € per mėnesį.

Taigi reikalinga išsiaiškinti kiek reiktų įdiegti tokių sistemų, kad atsipirktų pirminės programavimo ir derinimo darbų išlaidos. Jei šias sistemas įsirengtų 10 įmonių iš kurių 4 naudotų aukštos klasės paslaugas, o likusios 6 – vidutinės klasės paslaugas, tai įvertinus pradines išlaidas ir pajamas už mėnesinius mokesčius (už įrengtų sistemų profilaktinės priežiūros darbus ir serverio nuomą, kurie projektui kainuotų 200 € per mėnesį), galima apskaičiuoti projekto atsipirkimo tašką, kuris pateiktas 4.4 pav.



4.4 Įrengtų 10 sistemų atsipirkimo grafikas

Taigi, įrengus įmonėms 10 tokių sistemų ir iš jų imant atitinkamą mėnesinį mokestį, šis projektas galėtų atsipirkti per 29 mėnesius, tai yra 2 metai ir 5 mėnesiai.

## IŠVADOS

1. Navigacijos sistemų paslaugos yra aktualios, nes šaltinių duomenimis Europoje šių paslaugų pelnas kasmet auga vidutiniškai 25,8 %. Analizuojant galimas technologijas buvo atsižvelgiama į tai ar jos yra naudojamos daugumos vartotojų išmaniuosiuose įrenginiuose. Įvertinus mažą energijos sunaudojimą ir tai, kad siunčiamo signalo lygis nėra adaptyvus, buvo pasirinkta Bluetooth LE technologija.
2. Sukurta programinė įranga, kuri matuoja iš Bluetooth LE siųstuvo siunčiamo signalo stiprumo lygį (RSSI), iš gautų duomenų paketo nustato įrenginio MAC adresą, nuskaito išsiųsto signalo galios lygį (Tx power), ir visus duomenis išsaugo į txt tipo failą, kuriame pažymimas kiekvieno gauto signalo laikas. Pagal gautus matavimus sudarytas atstumo nuo RSSI priklausomybės matematinis modelis.
3. Buvo įvertintos paklaidos, kai vietos nustatymui naudojamas trilateracijos metodas, o atstumui apskaičiuoti naudojamas pagal praktinius rezultatus sudarytas atstumo nuo RSSI modelis. Nustatyta, kad paklaida priklauso nuo RSSI verčių sklaidos ir siųstuvų išdėstymo. Įvertinant realiai fiksuojamą RSSI verčių sklaidą, paklaida gali būti didesnė nei patalpų ribos. Pavyzdžiui, daugiau nei 14 m. Paklaida gali būti sumažinama, jei imamas tam tikras RSSI verčių vidurkis. Pavyzdžiui, imant 20-ies RSSI verčių vidurkį, paklaidos reikšmę pavyko sumažinti iki 2,6 m.
4. Atsižvelgiant į paklaidų įvertinimo rezultatus galima teigti, kad vietos nustatymo patalpose sistemai tikslinga naudoti vieną siųstuvą patalpai. Tokiu atveju bus galima nustatyti kurioje patalpoje yra objektas naudojant mažiau siųstuvų, bei pigiausia įrengimo ir išlaikymo kaina. Taip pat, pasiūlomas papildomas sistemos variantas paremtas kiekvienai patalpai sukauptų RSSI duomenų skirstiniu. Naudojant šį metodą galima naudoti vieną siųstuvą kuris aprėpia keletą patalpų ir gali nustatyti vartotojo buvimo vietą patalpos tikslumu.
5. Atliktas vietos nustatymo patalpose sistemos projekto įgyvendinimo išlaidų ir galimų sistemos diegimo variantų įmonėse ekonominis įvertinimas. Nustatyta, kad pirminės išlaidos programavimo ir derinimo darbams siekia 20000 eurų. Šios išlaidos atsipirktų po 29 mėnesių, įvertinant pajamas, gaunamas iš 10-ies įmonių, kuriuose būtų įdiegtos vietos nustatymo patalpose sistemos.

## NAUDOTOS LITERATŪROS IR KITŲ INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. Indoor Positioning Technologies Dr. Rainer Mautz Institute of Geodesy and Photogrammetry, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, ETH Zurich February 2012 [žiūrėta 2015-04-25].
2. Location-based service revenues in Europe and North America will grow to 5 billion in 2018, [žiūrėta 2015-04-26] Prieiga per internetą: < <http://www.directionsmag.com/pressreleases/location-based-service-revenues-in-europe-and-north-america-will-grow-to-5-/391643> >
3. Indoor Location startups innovating Indoor Positioning, JUNE 19, 2013, [žiūrėta 2015-04-27] Prieiga per internetą: < [http://dondodge.typepad.com/the\\_next\\_big\\_thing/2013/06/indoor-location-startups-innovating-indoor-positioning.html](http://dondodge.typepad.com/the_next_big_thing/2013/06/indoor-location-startups-innovating-indoor-positioning.html) >
4. Įterptinių bevielio ryšio sistemų analoginės posistemės; Algimantas Čitavičius; 2012. Nuoroda per internetą [žiūrėta 2015-05-28] < <https://www.ebooks.ktu.lt/einfo/608/iterptiniu-bevielio-ryσιο-sistemu-analogines-posistemes/> >
5. Bluetooth Security Architecture. [žiūrėta 2015-05-02] Nuoroda per internetą < <http://www.cs.nccu.edu.tw/~lien/Class/Seminar/2000spring/s8547/Bluetooth/1c11600.pdf> >
6. The Importance of Wireless Security. [žiūrėta 2015-05-12] Nuoroda per internetą < [http://www.silexeurope.com/media/whitepaper/importance-wireless-security\\_2008.pdf](http://www.silexeurope.com/media/whitepaper/importance-wireless-security_2008.pdf) >
7. Bluetooth Smart – A Revolution for Low Power Connectivity. [žiūrėta 2015-05-12] Nuoroda per internetą < <http://www.rtcmagazine.com/articles/view/103741> >
8. Bluetooth charakteristikos. [žiūrėta 2015-05-13] Nuoroda per internetą < <https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth> >
9. Marconi sends first Atlantic wireless transmission. [žiūrėta 2015-05-16] Nuoroda per internetą < <http://www.history.com/this-day-in-history/marconi-sends-first-atlantic-wireless-transmission> >
10. ZigBee Security Robert Cragie Chair, ZigBee Alliance ZARC Security Task Group Principal Engineer, Jennic Ltd. 2009. [žiūrėta 2015-05-20] Nuoroda per internetą < <https://docs.zigbee.org/zigbee-docs/dcn/09/docs-09-5378-00-0mwwg-zigbee-security.pdf> >
11. Security Issues with Wi-Fi, Bluetooth, and ZigBee. [žiūrėta 2015-05-24] Nuoroda per internetą < <http://www.digikey.com/en-US/articles/techzone/2012/may/security-issues-with-wifi-bluetooth-and-zigbee> >

12. A WiFi-Based Weighted Screening Method for Indoor Positioning Systems. Hung-Huan Liu · Wei-Hsiang Lo · Chih-Cheng Tseng · Haw-Yun Shin Springer Science+Business Media New York 2014 [žiūrėta 2015-09-24]
13. Distance Estimation of Smart Device using Bluetooth. Joonyoung Jung, Dongoh Kang, Changseok Bae. Personal Computing Platform Research Team, Electronics and Telecommunications Research Institute. Deajeon, Korea 2013 [žiūrėta 2015-09-25]
14. Distance estimation using RSSI and particle filter. Janja Svečkoa, Marko Malajnerb, Dušan Gleichb; 11 October 2014. [žiūrėta 2015-09-25] Nuoroda per internetą < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019057814002523> >
15. Indoor Positioning System. Wade Jarvis, Arthur Mason, Kevin Thornhill, Bobby Zhang, Mentor: Dr. Kemin Zhou; 2011. [žiūrėta 2015-09-25] Nuoroda per internetą < <http://www.ece.lsu.edu/scalzo/Mega%20Hurtz%20FDR.pptx> >
16. Demystifying 802.11n Power Consumption; Daniel Halperin. Ben Greenstein, Anmol Sheth, and David Wetherall; University of Washington and Intel Labs Seattle. [žiūrėta 2015-11-02] Nuoroda per internetą < <http://www.inf.ed.ac.uk/teaching/courses/cn/papers/halperin-hotpower10.pdf> >
17. Introduction to Wi-Fi (802.11 or WiFi) October 2015. [žiūrėta 2015-11-02] Nuoroda per internetą < <http://ccm.net/contents/802-introduction-to-wi-fi-802-11-or-wifi> >
18. OFFICIAL IEEE 802.11 WORKING GROUP\_PROJECT TIMELINES - 2015-09-21 [žiūrėta 2015-11-02] Nuoroda per internetą < [http://www.ieee802.org/11/Reports/802.11\\_Timelines.htm](http://www.ieee802.org/11/Reports/802.11_Timelines.htm) >
19. Bluetooth 4.0: Low Energy Joe Decuir, Standards Architect, CSR plc; IEEE Region 6 NW Area chair; 2010 [žiūrėta 2015-11-02] Nuoroda per internetą < <http://chapters.comsoc.org/vancouver/BTLER3.pdf> >
20. SDK for IOS and Android nRF51822 ble module ibeacon minew &Mini ibeacon [žiūrėta 2015-11-02] Nuoroda per internetą < [http://www.alibaba.com/product-detail/SDK-for-IOS-and-Android-nRF51822\\_60266615394.html?spm=a2700.7724857.29.28.h6ZptL](http://www.alibaba.com/product-detail/SDK-for-IOS-and-Android-nRF51822_60266615394.html?spm=a2700.7724857.29.28.h6ZptL) >
21. Moving Forward With Bluetooth Low Energy. [žiūrėta 2015-11-02] Nuoroda per internetą < [http://www.mouser.com/pdfdocs/Panasonic\\_Bluetooth\\_WP-2.PDF](http://www.mouser.com/pdfdocs/Panasonic_Bluetooth_WP-2.PDF) >
22. Geodezija ir Kartografija, Erdviniu koordinačiu, nustatyti trilateracijos metodu, tikslumas 2006 . [žiūrėta 2015-11-02] Nuoroda per internetą < <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/13921541.2006.9636704> >

## PRIEDAI

### 1 Priedas. Pagrindinės programėlės kodas:

```

using System;
using Android;
using Android.Bluetooth;
using System.Collections.Generic;
using System.Threading.Tasks;
using System.IO;
using Android.Bluetooth.LE;
namespace BluetoothLEExplorer.Droid
{
    public class BluetoothLEManager : Java.Lang.Object, BluetoothAdapter.ILeScanCallback {
        public event EventHandler ScanTimeoutElapsed = delegate {
            ;
        }
    }

    private static BluetoothLEManager current;
    static BluetoothLEManager()
    {
        current = new BluetoothLEManager();
    }

    protected BluetoothLEManager()
    {
        var applicationContext = Android.App.Application.Context;
        getReferenceToTheBluetoothSystemService(this._manager = (BluetoothManager) applicationContext.GetService("bluetooth"));
        this._adapter = this._manager.Adapter;
        this._gattCallback = new GattCallback(this);
    }

    public async Task BeginScanningForDevices()
    {
        tryScanneris = true;
        newPath = filepath + "0" + DateTime.Now.ToString("YYYYMMdd_hhmmss").ToString() + ".txt";
        if (_filestream != null) _fileStream.Close();
        _filestream = new FileStream(newPath, FileMode.OpenOrCreate, FileAccess.ReadWrite, FileShare.Read);
    }

    finally
    {
        this._isScanning = true;
        this._discoveredDevices = new List<BluetoothDevice>();
    }

    public void StopScanningForDevices()
    {
        tryScanneris = false;
        this._isScanning = false;
    }

    public void OnLeScan(BluetoothDevice device, int rssi, byte[] scanRecord)
    {
        try if scanRecord != null {
            return;
        }

        int txPower = int.MinValue;
        int currentPos = 0;
        bool nextDataTypeBlock = false;
        bool nextTxPower = false;
        foreach (byte baitas in scanRecord)

```

```

{
    ifcurrentpos:= 0 {
        currentPos = baitas;
        nextdatatypeblock: true;
    }

else
{
    ifnexttxpowertxpower: baitas;
    nexttxpower: false;
    }

    if (nextDataTypeBlock)
    {
        ifbaitas:= 0 nextTxPower = true;
        nextdatatypeblock: false;
    }

    Java.Lang.Object obj = ScanRecord.FromArray(scanRecord);
    if (!DeviceExistsInDiscoveredList(device))
        this._discoveredDevices.Add(device);
    this.DeviceDiscovered(this, new DeviceDiscoveredEventArgs
{
    device:device, Rssi = rssi, ScanRecord = scanRecord;
    }
);
    if (txPower != int.MinValue)
    {
        if_txpowercontainskeydeviceaddress_txpowerdeviceaddress: txPower;
    }

protected bool DeviceExistsInDiscoveredList(BluetoothDevice device)
{
    foreachvardinthis_discovereddevicestodo: verify that address is unique if (device.Address == d.Address) return true;
}

public BluetoothDevice GetConnectedDeviceByName(string deviceName)
{
    foreachvariteminthis_connecteddevicesifitemkeyname:= deviceName) return item.Key;
}

{
    ifthis_adapter:null)
    ifthis_manager:null)
}

public class DeviceDiscoveredEventArgs : EventArgs
{
    publicdevicediscoveredeventargs:base() {};
}

public class DeviceConnectionEventArgs : EventArgs
{
    publicdeviceconnectioneventargs:base() {};
}

public class ServiceDiscoveredEventArgs : EventArgs
{
    publicservediscoveredeventargs:base() {};
}

protected class GattCallback : BluetoothGattCallback
{
    publicgattcallbackbluetoothlemanagerparentthis_parent:parent;
}

```



## 2 priedas. Bluetooth sensoriaus specifikacijos.

Location and advertisement, BLE, iOS, SDK, BLE module iBeacon

- The robust Mini Beacon i3 is an enterprise-level iBeacon with ARM core chipset nRF51822 and leverage BLE 4.0 technology
- Mini Beacon can be heard and interpreted by iOS and Android BLE-enabled devices that are equipped with many mobile APPs

Features:

- Programmed Mini Beacon standard firmware
- Power by 2pcs AA batteries, over 5 years battery lifetime
- Omnidirectional PCB antenna
- The max 200 meters advertising distance
- Ultra-low power consumption chipset nRF51822 with ARM core

Case colors: black, white, other colors can be customized

Battery model: 2 x AA (LR6), 2pcs alkaline batteries, 2500mAh, 3.0V

Operation voltage: 1.8-3.6V, DC

Transmission circuit: 10.5mA (max), tested at 0dBm transmission power

Transmission range: 200 meters, maximum

Feature and advantage:

Configurable parameters:

- UUID, major, minor device name, password and more
- Special configuration APP

Long battery lifetime and battery level:

- 5 years, with default settings
- LED will be flashing when battery low
- Easy to get the real-time battery level notification

Transmission power levels:

- 8 adjustable levels, range from 0 to 7
- Transmission power range: -30dBm to +4dBm

Security:

- 8 characters password (lock/unlock parameters)
- Broadcast the encrypted data
- AES HW encryption

OTA and J-Link:

- Supported upgrade via over-the-air
- Reserved J-Link port on the board for programming

Customized service:

- Print your logo on the top of Mini Beacon
- Programmer your firmware into iBeacon module
- Pre-configure the value of parameter before the shipment
- PCB can be customized if needed
- Package can be customized if required
- Prototyping the casing and mold tool design and injection service

## 3 priedas. Jupiter Notebook matematinio modeliavimo kodas:

```
import numpy as np
import random
import matplotlib.pyplot as plt
from __future__ import division
```

```

%pylab inline
def Dist(RSSI):
    d = exp((-1000*RSSI-61247)/7532)
    return d

def TAtst(x0,y0,xa,ya): #tikras atstumas
    A = np.sqrt(((x0-xa)**2)+(y0-ya)**2)
    return A

def RAtst(x0,y0,xa,ya): #atstumas su paklaida
    A = TAtst(x0,y0,xa,ya)
    #return A+2*A*k*random.random()-A*k
    k=0.2*A+0.2
    return A+4*k*random.random()-k

def Koord(m1,n1,m2,n2,m3,n3,r1,r2,r3):

    A = [[2*m1-2*m2, 2*n1-2*n2],
         [2*m1-2*m3, 2*n1-2*n3]]
    b = [(r2**2)-(r1**2)+(m1**2)-(m2**2)+(n1**2)-(n2**2)],
         [(r3**2)-(r1**2)+(m1**2)-(m3**2)+(n1**2)-(n3**2)]]
    return np.linalg.solve(A,b)
x0 = 10; y0 = 10;
x1 = 5; y1 = 5;
x2 = 5; y2 = 15;
x3 = 15; y3 = 15;
N = 10000
k = 2
TaskKoord = []
Vidurkinimas = 4 # jei 0, tai netaikomas
for i in xrange(N):
    r1 = RAtst(x0,y0,x1,y1)
    r2 = RAtst(x0,y0,x2,y2)
    r3 = RAtst(x0,y0,x3,y3)
    if Vidurkinimas > 0:
        for j in xrange(Vidurkinimas-1):
            r1 = r1 + RAtst(x0,y0,x1,y1)
            r2 = r2 + RAtst(x0,y0,x2,y2)
            r3 = r3 + RAtst(x0,y0,x3,y3)
        r1 = r1/Vidurkinimas
        r2 = r2/Vidurkinimas
        r3 = r3/Vidurkinimas
    TaskKoord.append(Koord(x1,y1,x2,y2,x3,y3,r1,r2,r3))
papl = []
for K in TaskKoord:
    papl.append(float(np.sqrt(((x0-K[0])**2)+(y0-K[1])**2)))
def PlotPoints(PointsArray):
    fig = figure(figsize=(8,8))
    ax = plt.gca()

    ax.cla()

```

```

ax.set_xlim((0,20))
ax.set_ylim((0,20))

for XYcoord in PointsArray:
    x = XYcoord[0]
    y = XYcoord[1]
    p=plt.Circle((x,y),0.2,color='y')
    fig.gca().add_artist(p)

p=plt.Circle((x0,y0),0.2,color='k')
fig.gca().add_artist(p)

b1=plt.Circle((x1,y1),0.2,color='b')
ax.text(x1+0.3,y1,r'$b_1$',fontsize=16)
fig.gca().add_artist(b1)

b2=plt.Circle((x2,y2),0.2,color='b')
ax.text(x2+0.3,y2,r'$b_2$',fontsize=16)
fig.gca().add_artist(b2)

b3=plt.Circle((x3,y3),0.2,color='b')
ax.text(x3+0.3,y3,r'$b_3$',fontsize=16)
fig.gca().add_artist(b3)

grid()
fig.show()
    PlotPoints(TaskKoord)
H = hist(pakl, bins=20);
xlabel('Atstumas, m')
ylabel('Kiekis')
P = H[0]/N;
print len(H[1])
plot(H[1][: -1],P)
xlabel('A, m')
ylabel('p(A)')
grid()
mean(pakl)
std(pakl)
for h in H[1][: -1]:
    print h
for p in P:
    print p

```