



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Aurimas Kudarauskas**

**ŽMONIŲ SU PAPILDOMOMIS ŽYMONIŠ APTIKIMO  
TECHNOLOGIJŲ KŪRIMAS IR TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Prof. dr. Rimvydas Simutis

**KAUNAS, 2017**

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

**ŽMONIŲ SU PAPILDOMOMIS ŽYMONIS APTIKIMO  
TECHNOLOGIJŲ KŪRIMAS IR TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
**VALDYMO TECHNOLOGIJOS (kodas 621H66001)**

**Vadovas**

Prof. dr. Rimvydas Simutis

**Recenzentas**

Doc. T. Tekorius

**Projektą atliko**

Aurimas Kudarauskas

**KAUNAS, 2017**

Kudarauskas, Aurimas. Žmonių su papildomomis žymomis aptikimo technologijų kūrimas ir tyrimas. Valdymo technologijų magistro baigiamasis projektas / vadovas Prof. dr. Rimvydas Simutis; Kauno technologijos universitetas, elektros ir elektronikos fakultetas, automatikos katedra.

Reikšminiai žodžiai: *Bluetooth, Eddystone, Beacon, Ibeacon, Lokalizacija patalpose.*  
Kaunas, 2017. 47 psl.

### **SANTRAUKA**

*Atlikus esamų aktyvių žymų technologijų analizę atrinktos technologijos tinkančios žmonių aptikimui. Toliau išanalizuoti Wifi, Zigbee, Bluetooth, RFID, NFC, IR ir ultragarso technologijos. Atlikus analize tolimesniems tyrimams pasirinkta bluetooth technologija. Ši technologija pasirinkta dėl to, kad ji yra plačiai paplitusi, nebrangi, naudoja mažai energijos, užtikrina ryšį iki 50m, turi integruotus švyturio protokolus. Taip pat literatūroje yra sprendimų kurie naudodami šia technologiją pasiekė paklaidą mažesnę kaip vienas metras. Buvo pasiūlytas sprendimas naudoti matematinį atstumo modelį, o aplinkos koeficientus apskaičiuoti dinamiškai naudojantis stacionarias žymes. Atlikus laboratorinius ir ilgalaikius tyrimus komercinėse erdvėse buvo surastos priežastys kodėl šis metodas nepasiteisino.*

Kudarauskas, Aurimas. Development And Investigation Of Technologies For Detection Of People With Additional Tags. Final project of Control technology Master's qualification degree / supervisor Prof. dr. Rimvydas Simutis; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Automation

Keywords: *Bluetooth, Eddystone, Beacon, Ibeacon, Indoor location.*  
Kaunas, 2017. 47 p.

## **SUMMARY**

*Modern beacon technologies were reviewed. After filtering technologies suitable for people tracking, further research was done on these technologies: Wifi, Zigbee, Bluetooth, RFID, NFC, IR and Ultrasonic. Finally, Bluetooth le technology was selected. It was selected because it is already widely spread, not expensive, have integrated beacon protocols and provides working distances up to 50m. In addition, there are methods, which have achieved people localization accuracy up to one meter. New solution of dynamic distance model based on stationary beacon was introduced. Experiments were conducted in laboratory and commercial environments. After research, suggested method did not provide positive results. While performing experiments the list of problems and suggestion for future research was created.*



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Aurimas Kudarauskas

(Studento vardas, pavardė)

VALDYMO TECHNOLOGIJOS 621H66001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

ŽMONIŲ SU PAPILDOMOMIS ŽYMOMIS APTIKIMO TECHNOLOGIJŲ KŪRIMAS IR  
TYRIMAS

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. gegužės 18 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano Aurimo Kudarausko baigiamasis projektas tema „Žmonių su papildomomis žymomis aptikimo technologijų kūrimas ir tyrimas“ 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)

## ATSILIEPIMAS

apie studento .....Aurimo Kudarausko..... magistro BP

„Žmonių su papildomomis žymomis aptikimo technologijų kūrimas ir tyrimas“

Kaunas, 2017 m. gegužės 26 d.

- Magistrinio darbo tikslas buvo išanalizuoti egzistuojančius žmonių su papildomomis žymomis aptikimo technologijas, iš jų atrinkti perspektyviausias technologijas, jas realizuoti praktiškai ir ištirti šių technologijų efektyvumą atliekant išsamius testus. Pagrindiniai darbo uždaviniai buvo: a) atlikti žmonių su papildomomis žymomis aptikimo technologijų analizę b) pasirinkti ir realizuoti perspektyviausią technologiją c) atlikti pasirinktos technologijos efektyvumo tyrimus prie įvairių eksperimentinių sąlygų d) apibendrinti gautus rezultatus ir pateikti praktines rekomendacijas tirtos technologijos taikymui.
- Magistriniame darbe studentas šiuos uždavinius tinkamai išsprendė ir pasiekė numatytą darbo tikslą. Darbo privalumas - darbe atlikti labai išsamūs eksperimentai tyrimai testuojant realizuotą žmonių su papildomomis žymomis aptikimo technologijos efektyvumą ir tikslumą.
- Darbo rezultatai gali būti naudingi išmaniųjų sistemų kūrėjams, planuojantiems kurti aplikacijas, kuriose būtų analizuojami įvairių poilsio/darbo/pramogų erdvių apkrautumai, diegiamos sekimo sistemos, tiriami žmonių srautai ir t.t.
- Medžiaga darbe pateikta logiškai, uždavinių sprendimui pasiūlyti tinkami būdai ir priemonės. Darbo išvados tinkamai apibendrina darbe gautus rezultatus. Darbo apiforminimo kokybė ir kalba yra geros kokybės.
- Studentas dirbo labai savarankiškai ir sistemingai, geba praktiškai pritaikyti studijų metu gautas žinias kuriant sumanias žmonių stebėjimo, identifikavimo ir sekimo sistemas..

### IŠVADA

- Magistriniame darbe planuoti darbo tikslai pasiekti, išsikelti uždaviniai tinkamai išspręsti. Darbas atitinka reikalavimus, keliamus baigiamiesiems projektams. Darbas tinka viešam gynimui. Darbą siūlau vertinti **10**.

Darbo vadovas:

Prof. Rimvydas Simutis

## TURINYS

SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS .....	1
ĮVADAS.....	2
1. PAPILDOMŲ ŽYMŲ TECHNOLOGIJŲ ANALIZĖ .....	3
2. PASIRINKTA ŽYMO TECHNOLOGIJA.....	23
3. RADIO SIGNALO SKLIDIMO MODELIAVIMAS .....	27
4. TECHNINĖ IR PROGRAMINĖ ĮRANGA .....	31
5. TYRIMAI LABORATORIJOJE.....	35
6. TYRIMAS REALIOMIS SĄLYGOMIS.....	42
7. REZULTATAI IR IŠVADOS.....	45
LITERATŪRA.....	46

## SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

1. NFC – Mažo atstumo bevielis ryšys, dažniausiai naudojamas bekontakčiam duomenų apsikeitimui.
2. BT LE – Bluetooth standarto versija, kurioje daug dėmesio skirta energijos sąnaudoms optimizuoti.
3. ZigBee – 2,4 GHz tinkle veikiantis protokolas. Dažniausiai sutinkamas paskirstytos topologijos vietiniuose tinkluose.
4. 6LoWPAN- Bevielio ryšio protokolas, skirtas perduoti duomenis didele sparta, dideliu atstumu su minimaliomis energijos sąnaudomis.
5. RSSI- Priimto signalo lygio indikatorius.



## ĮVADAS

Pasaulis nuolatos kinta, nestovi vietoje. Nuolat ieškoma būdų, kaip optimizuoti kasdienes operacijas, pagerinti duomenų ir fizinių objektų apsaugą, prognozuoti būsimus poreikius. Šiuolaikiniame pasaulyje didžiausią galią turi duomenys. Puikiai įsisavinta GPS sistema, palengvinusi ir pagreitinusi operacijas, kuriose reikia ieškoti objektų, pavyzdžiui, siuntų pristatymas. GPS sistemos yra naudojamos siekiant užtikrinti aukštesnės kokybės paslaugas ar saugumą. BMW į savo automobilius montuoja GPS siųstuvus ir nuotolinio užrakto valdymo sistemas. Gavus pranešimą apie pavogtą automobilį, jo buvimo vieta perduodama pareigūnams, o automobilio variklis yra užgesinamas bei užrakinamos jo durys. Taip pat BMW renkamus duomenis panaudoja naudoja pateikiant pranešimus apie artėjančius avarijas servisuose. GPS sistema vaidina svarbų vaidmenį tokiose sistemose, kaip *Amazon* prekių pristatymo dronai. Šios sistemos išvystymas ir infrastruktūra leido praplėsti paslaugų galimybes, tačiau sistemos didžiausias trūkumas yra pastatai. GPS sistemai keliamas reikalavimas, kad signalo sklidimo kelyje negali būti kliūčių. GPS signalai patekdami į patalpas skverbiasi pro sienas, atsispindi nuo kitų paviršių, todėl yra iškraipomi ir nebetinkami naudoti. Besiplečiančios robotų pritaikymo sritys, tobulėjančios apsaugos sistemos, pingantys procesoriai nuolatos didina lokalizavimo sistemų, kurios veiktų patalpų viduje, poreikį. Jos galėtų padėti sudaryti interaktyvius prekybos centrų žemėlapius, pakelti apsaugos sistemų saugumo lygmenį, sukurti galimybes naujoms paslaugoms atsirasti ar suasmeninti paslaugas remiantis vartotojų buvimo vieta. Jau daugiau kaip dešimtmetį stengiamasi sukurti sistemą, kuri būtų universali, lengvai diegiama, pigi ir galėtų atlikti GPS sistemos funkcijas patalpų viduje.

## 1. PAPILDOMŲ ŽYMŲ TECHNOLOGIJŲ ANALIZĖ

Pablo Lopez, David Fernandez, Antonio J. Jara, Antonio F. Skarmeta 2013 metais atliko tyrimą, kuriame analizavo NFC, BT LE ir 6LoWPAN komunikacijų pritaikymo galimybę medicinos srityje. Ištyrę technologijas jie nustatė, kad didžiausią duomenų kiekį viename pakete galima sutalpinti naudojant NFC technologiją (žr. 1.1 lentelę).

1.1 lentelė. Skirtingų komunikacijos technologijų paketų dydžiai.[1]

Technologija	Paketo dydis	Persiučiamų duomenų kiekis
NFC	255 Baitai	127 Baitai
BT LE	47 Baitai	27 Baitai
6LoWPAN	127 Baitai	76 Baitai

Taip pat buvo palyginti ir kiti komunikacijai skirtų technologijų parametrai ( žr. 1.2 lentelę).

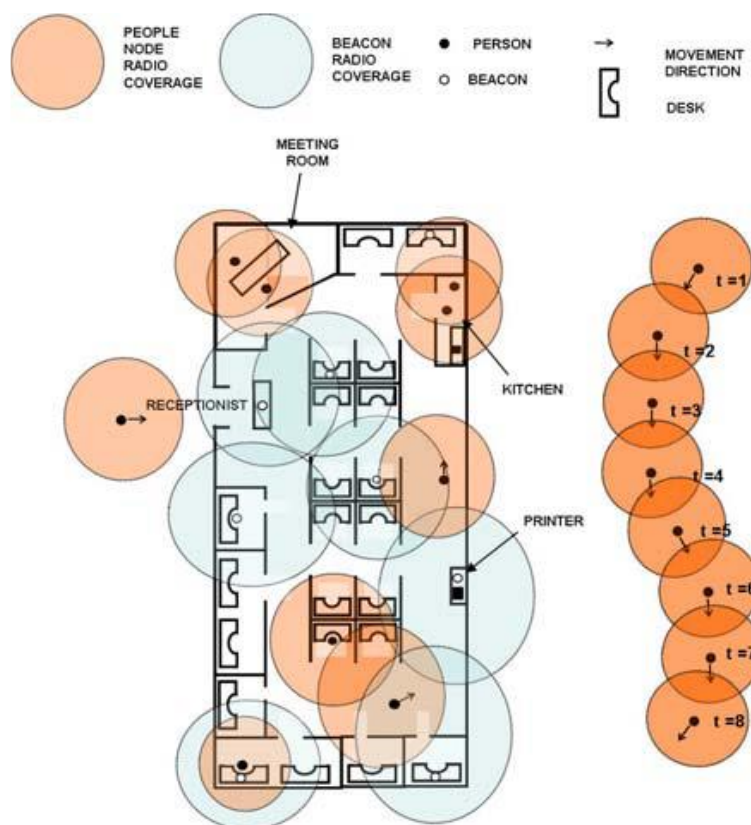
1.2 lentelė. Skirtingų komunikacijai skirtų technologijų charakteristikos.[1]

Technologija	Duomenų srautas	Naudojamas dažnis	Veikimo atstumas	Vidutinės energijos sąnaudos
NFC	106, 212 arba 424 Kbit/s	125 Khz 13,56 Mhz 860 Mhz	0-10 cm 0-1 m 10 cm-1 m	Minimalios
BT LE	1 Mbps	2.4 Ghz	~15-30 m	29,3 mA (išsiuntimo metu)
6LoWPAN	250 kbps	868 Mhz (Europoje) 902 Mhz (JAV) 2.4 Ghz (Tarptautinis)	~50 m	56 mA (išsiuntimo metu)

NFC technologija yra netinkama kuriant aktyvią žymą žmonėms aptikti, nes dėl mažo veikimo atstumo būtų reikalingas papildomas žmogaus veiksmas, pavyzdžiui, pridėti telefoną prie skaitytuvo. Tai yra pakankamai nepatogu bei įveda žmogiškąjį faktorių į sistemą. 6LoWPAN protokolas veikia iki 50m. atstumu, todėl panaudojus šią technologiją kaip aktyvią žymą skaitytuvai turėtų apdoroti perteklinius duomenis, kuriuos skleistų žymos, esančios už aktyviai stebimos zonos. Toliau bus plačiau išanalizuota BT LE technologija.

Jose Maria Cabero su kolegomis 2008m. pristatė įrenginio, skirto žmonių judėjimui sekti, koncepciją. Buvo pasiūlyta naudoti medalioną, naudojantį BT ryšį. Įrenginį galima suskaidyti į

keletą skirtingų blokų: pokrypio modulį, kuris skirtas nustatyti, ar žmogus pasikabinęs medalioną, judesio jutiklį, kuriuo tikrinama, ar žmogus juda ar sėdi, sinchronizavimo modulis, kuris užtikrina laiko sinchronizavimą tarp skirtingų įrenginių, nes tinklas neturi centralizuotos stebėjimo stotelės, o kiekvienas įrenginys veikia kaip siųstuvai ir imtuvai. Taip pat įrenginyje sumontuotas BT ryšio modulis ir energijos valdymo modulis. Buvo pasiūlyta ir eksperimento koncepcija. Dalį įrenginių nešiojosi žmonės, kiti įrenginiai buvo padėti stacionariose vietose (žr. 1.1 paveikslą). Kiekvienas įrenginys rinko informaciją apie aplink jį esančius kitus įrenginius, dienos pabaigoje pasinaudojus kompiuteriu surinkti duomenys persiunčiami į serverį.[2]



1.1 pav. Eksperimento koncepcijos schema [2]

Yao-Hong Liu su kolegomis 2013 metais pristatė pasiūlymus, kaip sumažinti energijos sąnaudas BT-LE įrenginiuose. Jų pasiūlytas įrenginys taip gali būti naudojamas su Zigbee ir MBAN tinklais. Jų tyrimo rezultatai pateikiami 1.2 paveiksle. Nors dauguma BT LE įrenginių gali būti perkonfigūruoti dirbti Zigbee tinkle, toliau tęsime BT LE analizę, nes mūsų atveju reikalingas asmeninis tinklas (personal network). Zigbee tinkamas norint sukurti vietinius tinklus. [3]

	<i>This work</i>				[1]	[2]	[3]	
Standard	2Mbps	Zigbee	BT-LE	MBAN	Zigbee	BT-LE	BT-LE	MBAN
Data rate & modulation	2-Mbps HS-OQPSK	250-kbps HS-OQPSK	1-Mbps GFSK	971-kbps $\pi/4$ -DQPSK	250-kbps HS-OQPSK	1-Mbps GFSK	1-Mbps GFSK	971-kbps $\pi/4$ -DQPSK
Technology	90nm				0.18 $\mu$ m	N.A.	0.13 $\mu$ m	
RX noise figure	6dB				9.5dB	N.A.	6dB	
RX IIP3	-19dBm				-18dBm	N.A.	N.A.	
Rx image reject.	35dB				-	26dB	N.A.	
RX sensitivity (PHY Spec.)*	-96dBm	-100dBm (>-85dBm)	-98dBm (>-70dBm)	-96dBm (>-83dBm)	-96dBm (>-85dBm)	-86dBm (>-70dBm)	-94dBm (>-70dBm)	-96.5dBm (>-83dBm)
TX P <sub>OUT</sub> (Typ.)	0 dBm			-10 dBm	3 dBm	0 dBm	0 dBm	-10 dBm
TX mod. error (PHY Spec.)	2.3 %	2.3 % (<35%)	2.8 %	7.3 % (<17.7%)	N.A. (<35%)	N.A.	N.A.	10 % (<17.7%)
TX ACLR (PHY Spec.)	-	-	-	-32 dB (<-26dB)	-	-	-	-26dB (<-26dB)
Supply voltage	1.2 V				1.8 V	1.9 V	1V & 1.5V PA	
Power diss.								
RX (exc. DBB)	3.8mW				24.5mW	21mW	6.5mW	6.5mW
TX (exc. DBB)	5.4mW			4.6mW	28.2mW	17.8mW	8.9mW	5.9mW
RX energy eff.	1.9nJ/b	15.2nJ/b	3.8nJ/b	3.9nJ/b	98nJ/b	21nJ/b	6.5nJ/b	6.7nJ/b
RX FOM**	183	178	182	180	166	163	175	178

\* Sensitivity definition: PER 1% for Zigbee, BER 10<sup>-3</sup> for BT-LE, and PER 10% for MBAN  
\*\* Rx FOM = - Sensitivity -10\*log(P<sub>DC</sub> / Data rate)

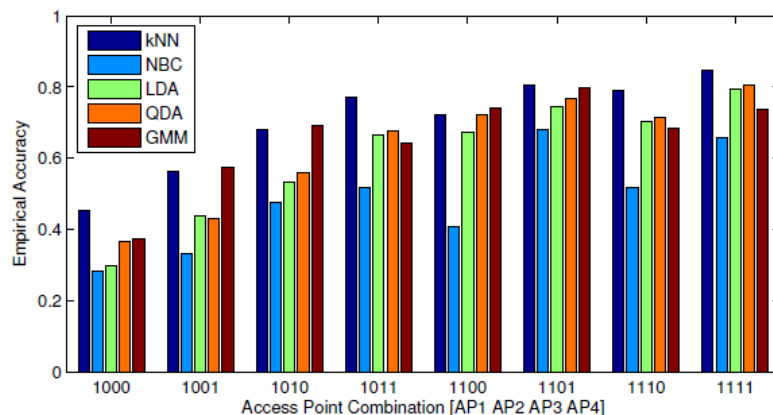
1.2 pav. Pasiūlyto BT-LE siūstovo imtuvo tyrimo rezultatai.[3]

Damian Kelly su komanda 2010m. atliko tyrimą, kuriame panaudojo mobiliųjį telefoną ir BT technologijos švyturius. Jie mėgino lokalizuoti žmogų namo patalpose. Švyturiai buvo padėti pastoviose vietose, o mobilusis įrenginys rinko duomenis apie RSSI stiprumą ir ryšio kokybę. Surinkti duomenys buvo persiūsti į kompiuterį ir išanalizuoti. Duomenys buvo renkami dvi dienas. Žmonių buvimo vietai nustatyti buvo mėginta panaudoti penkis skirtingus klasifikatorius:

- k-Neares Neighbour (artimiausio kaimyno kNN)
- Naive Bayes Classifier (NBC)
- Linear Discriminant Analysis (LDA)
- Quadratic Discriminant Analysis (QDA)
- Gaussian Mixture Models (GMMs)

Klasifikatoriai buvo apmokyti su vienos dienos duomenimis ir tikrinami su kitos dienos duomenimis. Testas pakartotas sukeitus dienų duomenis vietomis. Siekiant surinkti tikslus duomenis, pagal kuriuos bus skaičiuojama matavimo paklaida, prie patalpų durų buvo sumontuotos RFID žymos, kurios buvo nuskaitytos telefonu. Jiems pavyko klasifikuoti žmogaus buvimo vietą 85% tikslumu (žr. 1.3 pav.).[4]

	All Signals	RSSI Only	LQ Only
kNN	0.85	0.62	0.78
NBC	0.66	0.57	0.57
LDA	0.80	0.51	0.58
QDA	0.80	0.61	0.69
GMM	0.78	0.78	0.73

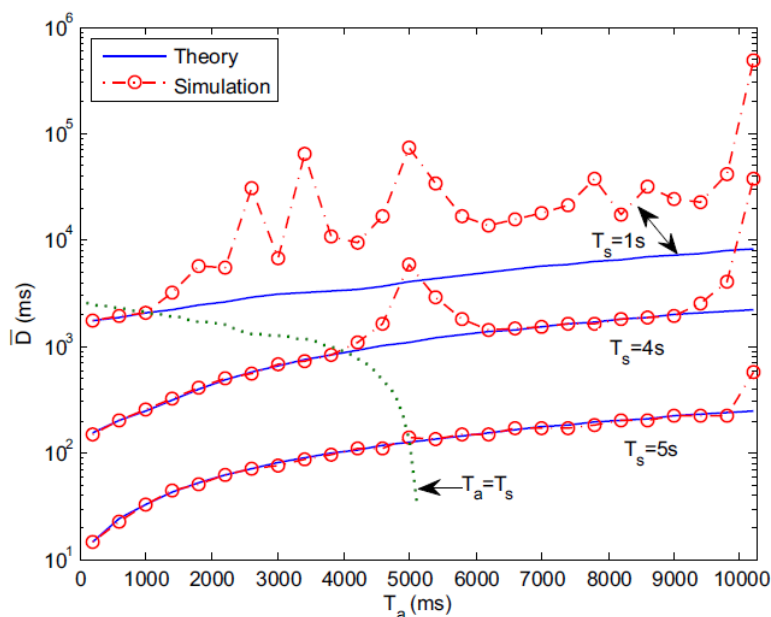


1.3 pav. Bandymo rezultatai ir rezultatų pasiskirstymas pagal švyturių skaičių.[4]

Ehad Akeila su komanda pritaikė neraiškias aibes norėdami padidinti sistemos tikslumą. Jų sistema naudojo BT technologiją. Patalpoje buvo įrengti šeši imtuvai, kurie analizavo aplinką. Sistema norėdama nustatyti savo buvimo vietą prisijungia prie artimiausiai esančio imtuvo ir iš jo atsisiunčia radijo signalo silpimo modelį, kuriuo naudojasi lokalizavimui. Sistemos veikimą galima išskirti į du etapus. Pirmajame etape imtuvai renka duomenis apie vienas kito signalus. Imtuvų pozicijos yra pastovios ir iš anksto žinomos, todėl remiantis surinktais duomenimis kiekvienas imtuvas sudaro po aplinkos modelį. Antrajame etape sistema modelių nekeičia, o imtuvai renka duomenis apie signalus ir laukia prisijungimų. Siųstuvas, norėdamas nustatyti savo buvimo vietą, pasinaudodamas neraiškiais aibėmis ir iš anksto sudarytomis tikimybių dvimatėmis kreivėmis nustato, kuris imtuvas yra arčiausiai. Tuomet prisijungiama prie imtuvo ir parsisiunčiami aplinkos modelio parametrai. Pasinaudojus gautu aplinkos modeliu lokalizuojamas siųstuvas. Jiems pavyko pasiekti vidutinę 1,27m. paklaidą.[5]

Jis Liu su komanda sukūrė matematinį modelį, apibūdinantį BT LE įrenginio aptikimo vėlavimą. Modeliui patikrinti jie sukūrė simulatorių, atitinkantį BT standartą. Jų sukurtas modelis gerai aproksimavo simuliacinius duomenis tol, kol signalo siuntimo laikas  $T_a$  buvo mažesnis už skenavimo laiką  $T_s$ . Perėjus šią ribą prasidėjo signalų samplaika ir dėl to išaugo įrenginio aptikimo

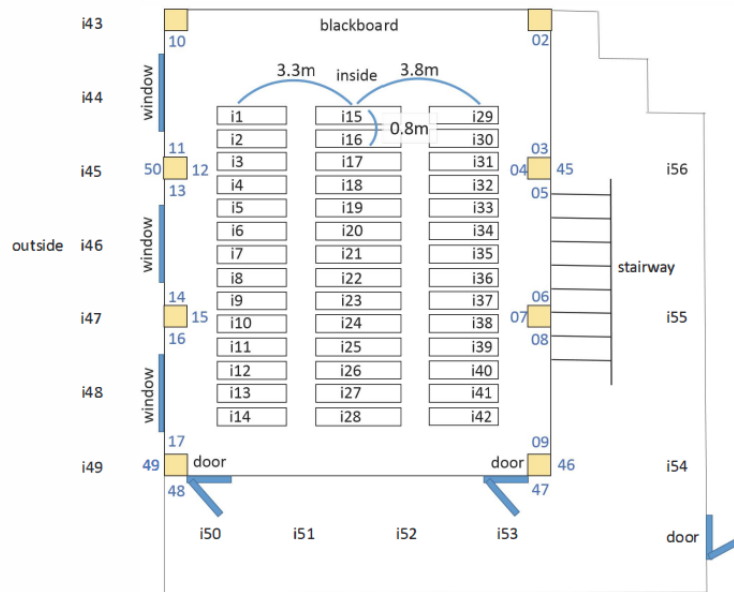
laikas (žr. 1.4 pav.). Jie pasiūlė keletą signalo siuntimo intervalo mažinimo metodų, kurie padėjo sumažinti įrenginių aptikimo vėlavimą.[6]



1.4 pav. Modelio ir simuliacijos palyginimas, kai laikas tarp skanavimų pastovu  $T_s$ -5,12s, skanavimo laikas  $T_s$ -1/4/5 s, signalo siuntimo laikas  $T_a$  kinta nuo 20ms iki 10,24s.[6]

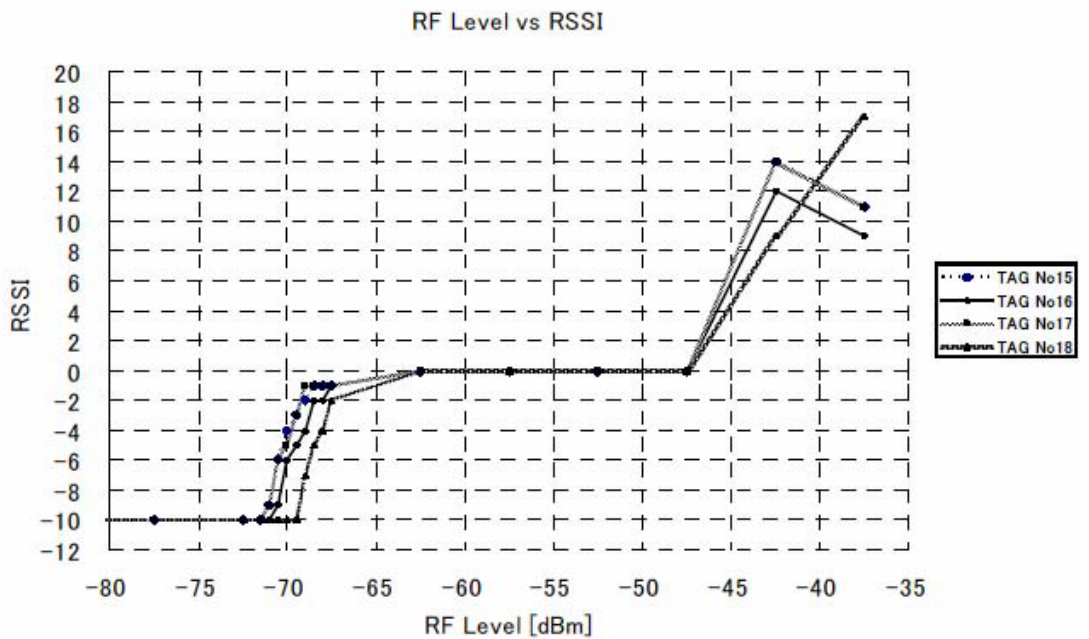
Shinsuke Kajioka su kolegomis tyrė BT LE technologijos pritaikymą vidaus patalpų lokalizacijai. Jie pagaminto BT LE švyturį ir palygino jo charakteristikas su komerciniais produktais. Tyrimo patalpoje ir už jos buvo patalpinti dvidešimt du švyturiai (žr. 1.5 pav.). Kiekvienas įrenginys padėtas matavimo taške ir užtikęs švyturį išsaugoja švyturio numerį ir jo signalo stiprumą. Įrenginiui surinkus 50 įrašų apie švyturius, sudaromas matavimo vietos archyvas ir pereinama į kitą matavimo tašką. Buvo atlikta daugiau kaip 5800 matavimų. Išanalizavus gautus duomenis buvo sudarytas radijo signalų stiprumo žemėlapis ir apskaičiuotos įrenginių pozicijų tikimybės. Taip buvo nustatyta įrenginių buvimo vieta 96,6% tikslumu.[7]

Udana Bandara su kolegomis dar 2004m. tyrė bluetooth technologijos pritaikymo galimybes lokalizacijos srityje. Jie, naudodami 1.1 versijos bluetooth komunikacijos protokolą, pasiekė 92% tikslumą, siekiant nustatyti žymos buvimo vietą 4,5m x5,5m kambaryje suskaidytam į 9 zonas. Būtina pastebėti, kad jų tikslas buvo nustatyti, kurioje iš 1,75m.x1,75m. dydžio zonų yra bluetooth žyma.



1.5 pav. Eksperimento vieta. Mėlyni taškai švyturiai, juodi stebėjimo vietos[7]

Taip pat jie nustatė priimto signalo indikatoriaus reikšmės priklausomybę nuo radijo bangų fono lygio (žr. 1.6 pav.).[8]



1.6 pav. Priimto bluetooth 1.1 signalo indikatoriaus reikšmės priklausomybė nuo radijo bangų fono lygio [8]

Abhishek P.Patil, Dan J.Kim ir Lionel M. Ni 2005m. ištyrė, kaip 802.11 standartą atitinkantys signalai veikia Bluetooth signalus. Jie tyrė keletą situacijų. Buvo nustatyta, kaip WiFi įrenginiai veikia kitų WiFi įrenginių signalus, kaip bluetooth įrenginiai veikia WiFi įrenginių signalus, kaip WiFi įrenginiai veikia bluetooth įrenginių signalus ir kaip bluetooth įrenginiai veikia vienas kito signalus. Jie nustatė, kad bluetooth įrenginiai, veikiantys netoli WiFi įrenginių, sukelia didesnius signalų švytavimus ir siunčiamų duomenų paketų kolizijas. Tuo tarpu WiFi tinklai mažai veikia bluetooth signalų duomenų pralaidumą. Jie analizavo tik bluetooth protokolo pralaidumo duomenims pokyčius, nes tuo metu rinkoje esantys įrenginiai neteikė duomenų apie signalo stiprumą.[9]

Omar Cruz, Erik Ramos ir Moises Ramirez 2011m. tyrė bluetooth technologijos pritaikymą siekiant lokalizuoti objektus trimatėje erdvėje. Prieš pasirinkdami bluetooth technologiją jie nustatė WiFi ir Bluetooth technologijų ryšio patikimumą (žr. 1.7 pav.).[10]

Traffic BT	Traffic Wi-Fi	BT Loss	Wi-Fi Loss
30%	30%	0.007	0.574
30%	60%	0.006	0.580
60%	30%	0.007	0.576
60%	60%	0.006	0.580

1.7 pav. Bluetooth ir WiFi technologijų patikimumo palyginimas [10]

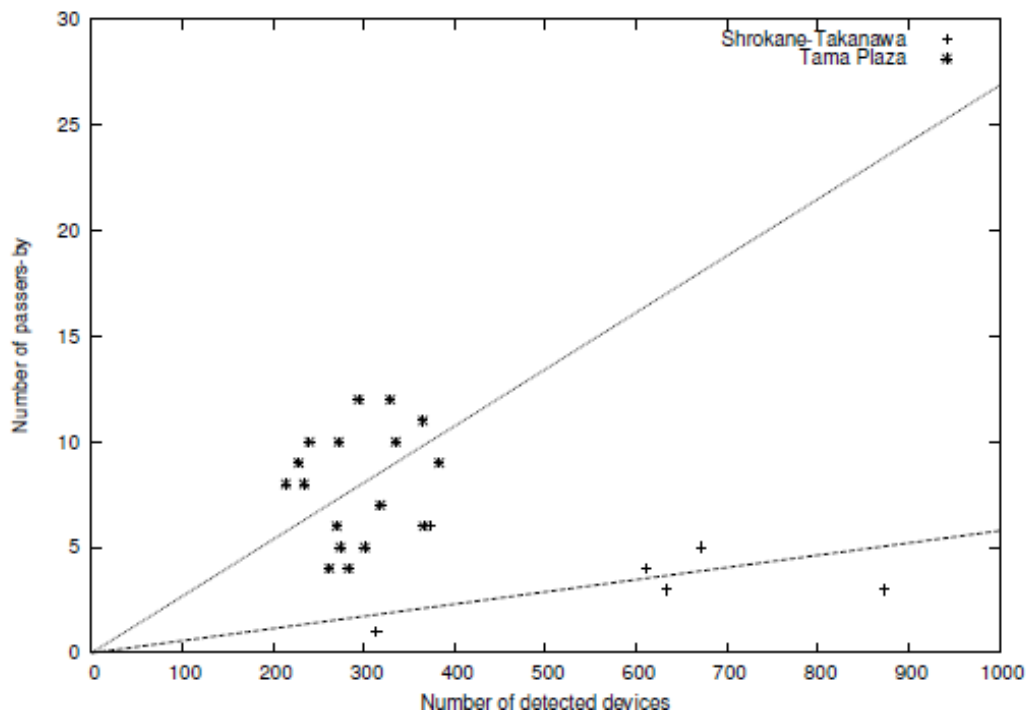
Taip pat jie pasiūlė savo lokalizacijos sprendimą ir palygino jį su kitais (žr. 1.8 pav.) Jų pasiūlytas sprendimas su 2m. paklaida objektų buvimo vietą nustatė 90% tikslumu, tačiau, jeigu objektai nuolatos judėjo, tikslumas sumažėjo iki 60%.

System	Reading time (samples/sec)	Response time (sec)	Location & Navigation
Cricket [22]	3	1	2D
LEASE [51]	2	1	2D
IPNS based in Fingerprinting [35]	30	1	2D
LANDMARC [52]	67	1	2D
Locadio [28]	3	1	2D
IPNS in Camera Phones [24]	1	10	2D/3D
Our proposal	15	1	2D/3D

1.8 pav. Omar Cruz siūlomos sistemos palyginimas su alternatyviomis[10]

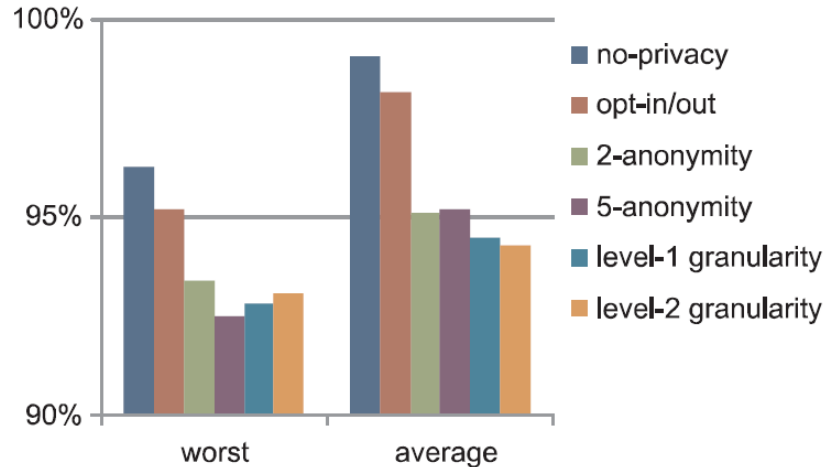


Hiroaki Kikuchi ir Takeru Yokomizo 2013m. atliko tyrimą, analizuodami vartotojų įpročius. Jie analizavo, kiek žmonių nuolat naudojami bluetooth technologija. Jie naudodami standartinius įrankius analizavo universiteto aplinką ir nustatė, kad egzistuoja koreliacija tarp praeinančių žmonių skaičiaus ir aptinkamų bluetooth įrenginių (žr.1.9 pav.). Jų tyrimai parodė, kad 1,26% žmonių nešiojasi lengvai aptinkamus bluetooth įrenginius.[11]



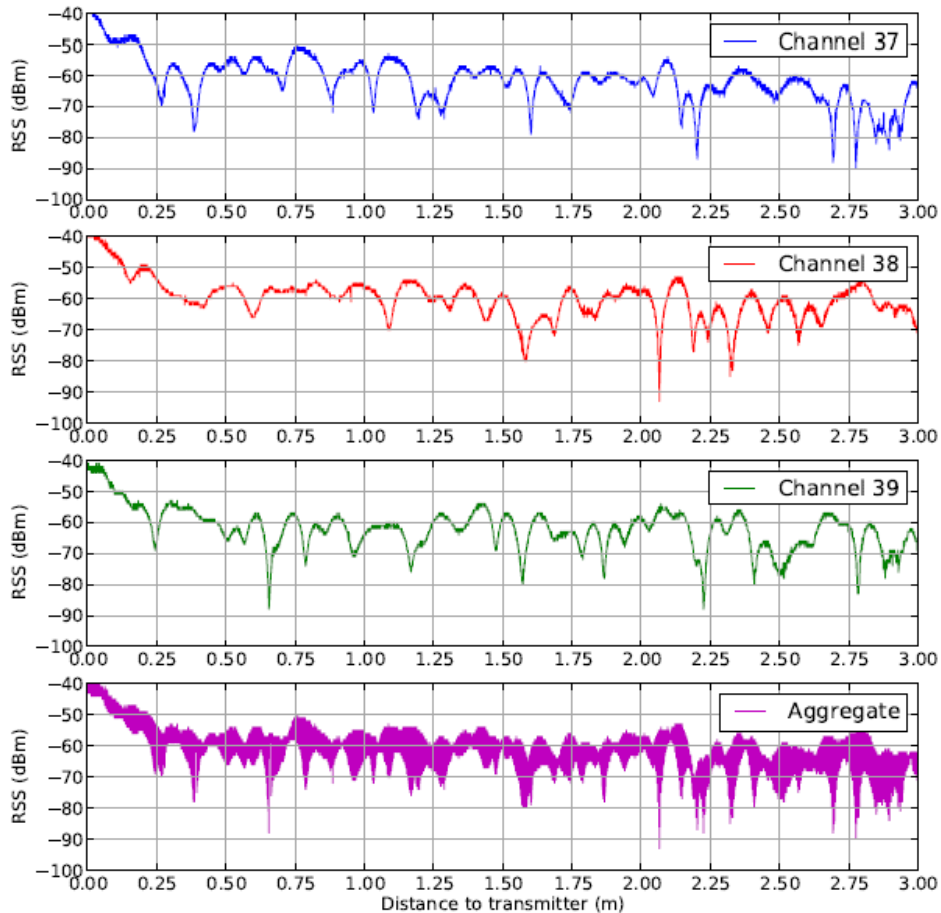
1.9 pav. Aptiktų aktyvių bluetooth įrenginių skaičiaus priklausomybė nuo praeivių skaičiaus.[11]

Zhuo Chen, Haibo Hu ir Jieli Yu 2015 m. pasiūlė „Track me“ bluetooth technologijos profilį. Jų darbas turėtų padėti išlaikyti bluetooth žymų naudotojų duomenų privatumą, kartu užtikrinant pakankamai tikslų jų vietos identifikavimą. Jie sumodeliavo keletą skirtingų situacijų ir pasiūlė skirtingus sprendimus situacijoms, kai neįmanoma užtikrinti saugaus ryšio su serveriu ar kai serveris yra visiškai saugus. Jie taip pat ištyrė skirtingų duomenų apsaugos metodų poveikį lokalizacijos tikslumui (žr. 1.10 pav.)[12]



1.10 pav. Bluetooth žymų lokalizavimo tikslumo pokyčiai pritaikius skirtingas privačių duomenų apsaugos priemones.[12]

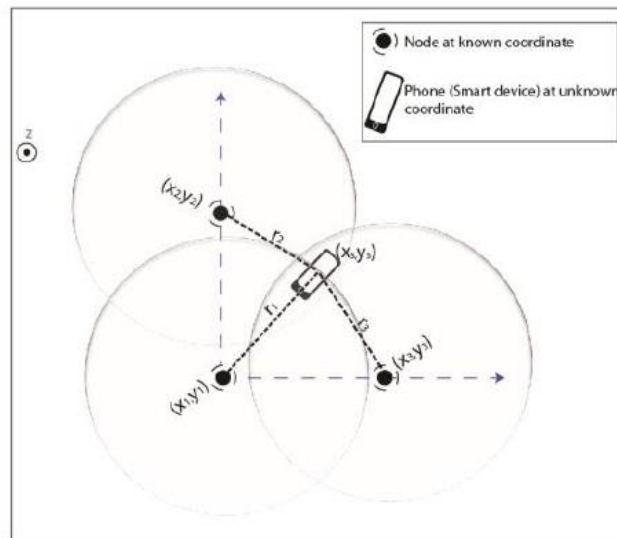
Ramsey Faragher ir Robert Harle 2015m. atliko detalius bluetooth low energy tyrimus. Jie savo eksperimentuose naudojo radijo signalo antspaudo metodiką. Patalpoje buvo išdėstyti bluetooth švyturiai, tuomet ofiso patalpos suskaidytos į 1m kvadratus. Kiekviename kvadrato buvo išmatuotas bluetooth signalo stiprumas. Turint pradinius duomenis buvo sudarytas radijo signalų žemėlapis. Mėginant nustatyti buvimo vietą, sistema išmatuotas švyturių signalų reikšmes lygina su turimu žemėlapiu ir naudojant klasifikatorius nustatoma buvimo vieta. Jiems pavyko pasiekti matavimo paklaidą <4,8 m , kai objektas judėjo ir paklaidą <1,3 m , kai objektas stovėjo vietoje. Jie taip pat nustatė, kad bluetooth signalo lygiai tarp skirtingų kanalų skiriasi, todėl skaičiuojant vidutinę signalo reikšmę įnešama paklaida (žr.1.11pav.). Buvo nustatyta, kad padidinus švyturių signalų dažnumą nuo 10 Hz iki 20 Hz matavimų paklaida sumažėjo 50%. Nustatyta, kad švyturio generuojamo signalo galia neturi įtakos matavimo tikslumui, kol nepakinta vienu metu matomų švyturių skaičius.[13]



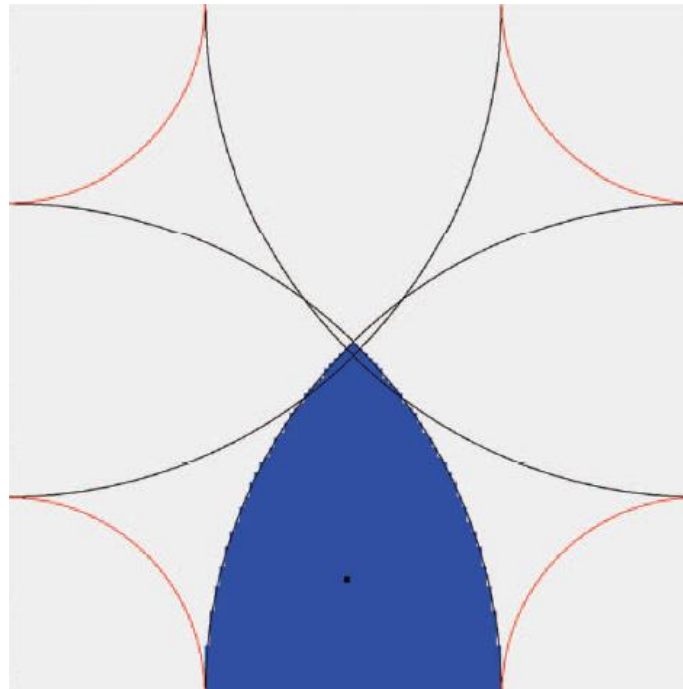
1.11 pav. Bluetooth signalo stiprumo kitimas, keičiantis atstumui.[13]

Senan M.H. Sharham ir Sebastian Zickau 2015m. pasiūlė visą sistemą, galinčią apdoroti lokalizavimui skirtus duomenis. Jie aprašė žemėlapių sudarymo, bluetooth švyturių priskyrimo ir duomenų apsikeitimo procedūras. [14]

Mohamed Er Rida su kolegomis sudarė bluetooth signalo priklausomybės nuo atstumo modelį. Naudodamiesi modeliu apskaičiavo atstumą iki aptinkamų švyturių. Pasinaudodami trimis artimiausiais švyturiais jie apskaičiavo poziciją patalpoje (žr. 1,12 pav.). Norint praplėsti sistemos taikomumą į 3 erdvės lokalizavimą, reikėtų vertinti 4 artimiausių švyturių duomenis. Naudodami tokią sistemą, užtikrino lokalizavimo paklaidą  $< 1\text{m}$ . [15]



1.12 pav. Lokalizacijos algoritmo iliustracija.[15]

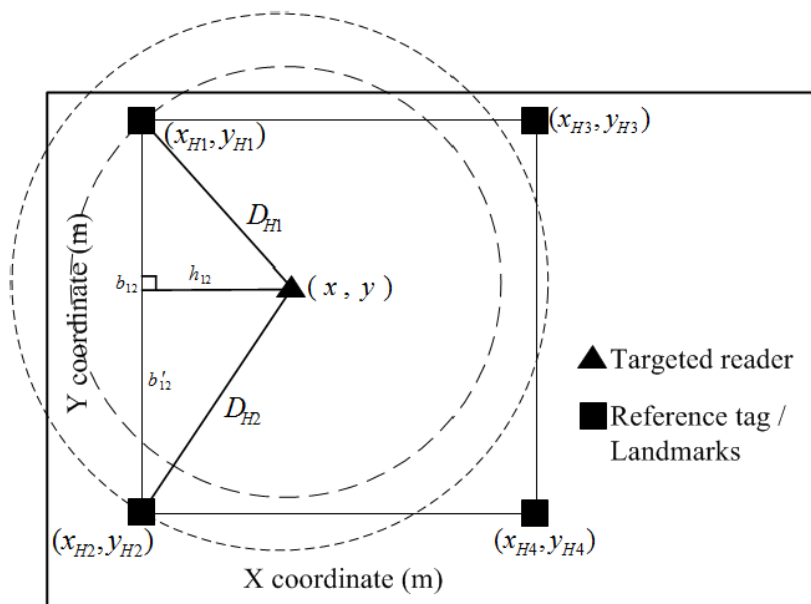


1.13 pav. Patalpos padalijimas.[16]

Yixin Wang su komanda sprendė priešingą lokalizavimo uždavinį nei kiti. Jų stacionari sistema mėgino nustatyti judančios žymos buvimo vietą, priešingai nei anksčiau aptartos, kur judantis įrenginys mėgina nustatyti savo buvimo vietą. Jie pasiūlė naudoti dviejų tipų antenas. Vienos jautrios mažiems signalams, kitos dideliems (žr. 1,13 pav.). Taip vienas imtuvas suformuoja dviejų lygių zonas. Jų siūloma sistema analizuoja persidengiančias zonas tarp skirtingų imtuvų ir

taip aproksimuoja žymos buvimo vietą. Taip pat jie pasiūlė antenų jautrumo zonas perskelti naudojantis išmatuotų signalų stiprumu. Jie apmokė klasifikatorių, kuris išskiria, kuriai iš virtualių zonų priskiriama žyma. Taip buvo sumažintas persidengiantis signalų plotas ir padidintas lokalizavimo tikslumas. Jų pasiūlytas metodas 93% atvejų teisingai identifikavo žymos buvimo zoną. [16]

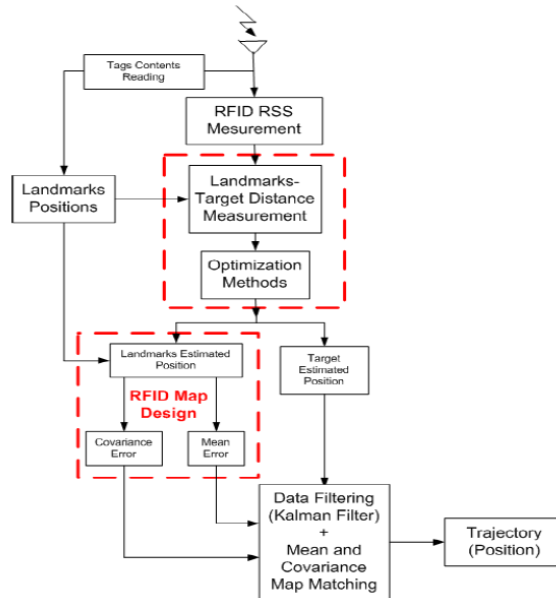
Chung-Hao Huang naudoja RFID žymų technologiją. Jie aplink patalpos perimetrą išdėliojo aktyvias RFID žymas. Duomenis surinkinėjo su RFID skaitytuvu. Surinkti įrašai apie žymų signalo stiprumą buvo nufiltruoti pasinaudojus kalmano filtru. Nufiltruotus duomenis pritaikius ištiesintam modeliui buvo pasiekta paklaida  $<0,3\text{m}$ . Imtuvo vieta buvo lokalizuojama pasinaudojus tik dviem arčiausiai esančiais siųstuvais (žr. 1,14 pav.). Tinkamai išdėlioję žymas jie galėjo pritaikyti nesudėtingus trigonometrinius skaičiavimus ir taip užtikrinti didesnę greitaveiką. Sujungus šiuos abu etapus objekto koordinatės buvo įvertinamos su  $0,37\text{-}0,97\text{ m}$ . paklaida, tačiau tai buvo apie 50% mažesnė paklaida už prasčiausią lygintą metodą.[17]



1.14 pav. Objekto kordinačių nustatymas.[17]

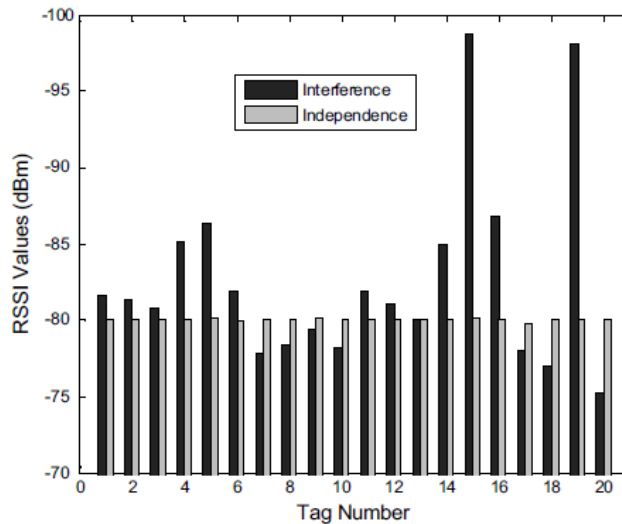
Abdelmoula Bekkali taip pat panaudojo RFID žymas lokalizavimo problemai spręsti. Priešingai nei anksčiau aptartame darbe čia buvo panaudotos pasyvios žymos, veikiančios iki vieno metro atstumu. Jis su kolegomis savo darbe sujungė kalmano filtrą su patalpos radijo žemėlapiu (žr. 1,15pav.). Siūloma sistema naudojo du skaitytuvus, o ieškomo objekto vietą nustatinėdavo remdamasi žinomų žymų koordinatėmis. Jų naudotos stacionarios žymos išdėstytos kvadratais, kurių kraštinė lygi 1m. Sistemai pavyko užtikrinti mažesnę kaip 1m. lokalizavimo paklaidą, tačiau

būtina paminėti, kad sistema nebuvo testuota realiomis sąlygomis, o išvados remiasi tik modeliavimo rezultatais.[18]



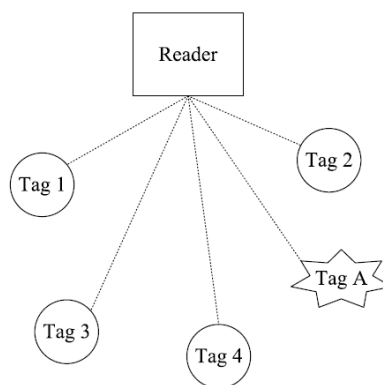
1.15 pav. Algoritmo blokinė schema.[18]

Yiyang Zhao atliko tyrimus naudodamas aktyvius RFID švyturius. Jie tyrinėdami švyturius pastebėjo tarpusavio interferencijos efektą (žr. 1,16 pav.). Švyturiai buvo paeiliui dedami šalia vienas kito, o jų signalai registruojami skaitytuvu. Kai švyturiai dedami paeiliui dviejų švyturių, esančių greta, signalai vienodi, tačiau, kai daug švyturių yra vienoje vietoje, signalai išsiskyrė. Todėl jie pasiūlė ne tankinti švyturių tinklo, o sugeneruoti virtualius švyturius, kurie būtų apskaičiuoti iš esamų fizinių. Pasiūlyta sistema buvo testuota trijose skirtingose patalpose. Didžiausia lokalizavimo paklaida kito nuo 0,21m. iki 0,47m.[19]



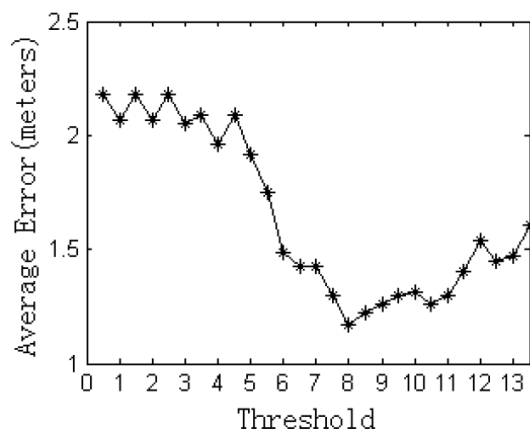
1.16 pav. Švyturių interferencijos pavyzdys.[19]

Xuejing Jiang pasiūlė sistemą, naudojančią aktyvius RFID švyturius. Analizuojant švyturius buvo pastebėta, kad radijo signalo stiprumas nevysiškai koreliuoja su atstumu iki švyturio. Šiai problemai spręsti buvo pasiūlyta neskaičiuoti atstumo iš RSSI reikšmių, bet naudotis artimiausio kaimyno metodika. Metodos remiasi idėja, kad patalpa yra padengiama aktyviais švyturiais ir tik keletu imtuvų. Taip sumažinama sistemos kaina. Ieškant objekto pozicijos, signalo stiprumas yra lyginamas su artimiausiu stacionariu švyturiu. Jie pasiūlė šį metodą patobulinti įvedant patikslinimo algoritmą. Keletas švyturių yra sujungiami į grupę (žr. 1,17 pav.). Dvimatės erdvės koordinatinių patikslinimas vyksta ieškant tokių patikslinimo funkcijos parametru, kad žinomos stacionarių švyturių koordinatės būtų įvertintos su kuo mažesne paklaida. Gauta patikslinimo funkcija pritaikoma ieškamai pozicijai patikslinti. Tokios papildytos sistemos paklaida svyravo nuo 0,2m. iki 1,2m, tačiau tyrimas buvo atliktas tik su modeliavimo rezultatais.[20]



1.17 pav. Švyturių grupės pavyzdys.[20]

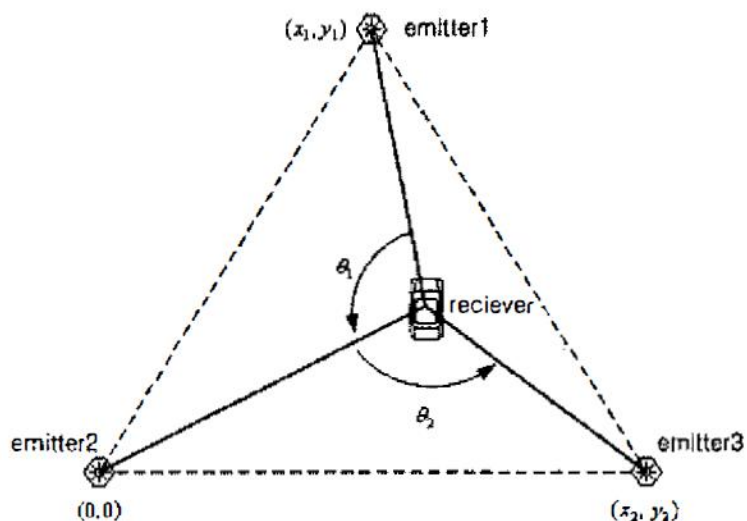
Feng-juan Zhu apžvelgė „LANDMARC“ ir „VIRE“ sistemas, kurios buvo aptartos [19,20]. Atlikus bandymus buvo pasiūlyta, kaip patobulinti „VIRE“ sistemą. Tyrimai parodė, kad „VIRE“ sistemos tikslumas priklauso nuo slenkstinės algoritmo vertės parinkimo (žr. 1,18 pav.). Originalus algoritmas naudojo vieną slenkstinę vertę visiems švyturiams. Virtualiems švyturiams ši prielaida yra tinkama, tačiau fiziniams ne. Fizinių švyturių signalai yra iškraipomi dėl signalų atspindžių ir išsišakojimų. F.J. Zhu pasiūlė algoritmo modifikaciją, leidžiančią slenkstines vertes nustatyti kiekvienam švyturiui individualiai. Toks pakeitimas sudarė galimybę tiksliau įvertinti tikėtinų objekto buvimo vietų koordinatas. Pozicijos skaičiavimo algoritmas buvo papildytas Euclidinio atstumo skaičiavimo ir svoriniais koeficientais. Jie aprašo tikimybes, kad ieškomas objektas yra tam tikrose koordinatėse. Tokie sistemos pakeitimai leido sumažinti sistemos paklaidą 10-35%. [21]



1.18 pav. „VIRE“ sistemos tikslumo priklausomybė nuo slenkščio parinkimo.[21]

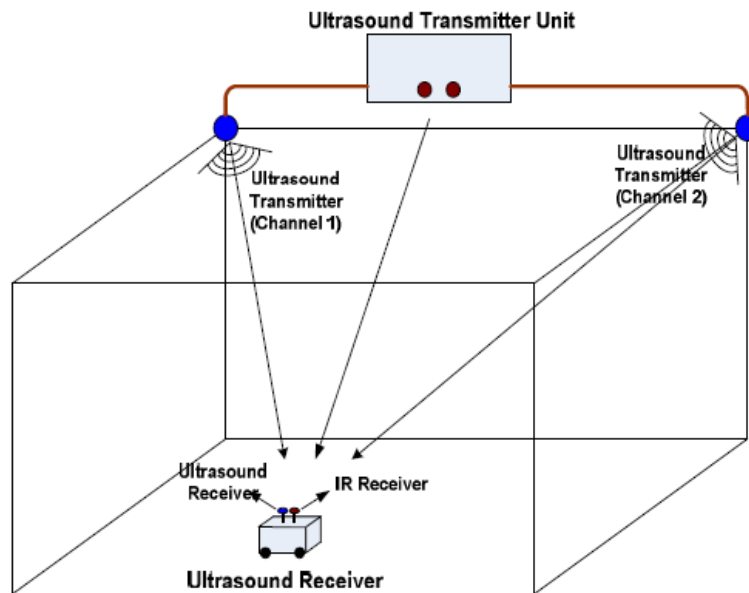
Chunhan Lee pristatė koncepciją, kurioje panaudoti infraraudonųjų spindulių diodai. Sistemos veikimo principas remiasi paplitusios GPS sistemos idėjomis. Darbe išdėstytas algoritmo matematinis pagrindimas, kuris apskaičiuoja objekto buvimo vietos koordinatas, pasinaudodamas infraraudonųjų spindulių diodų sklaidžiamo šviesos pluošto kritimo kampu. Šviesos pluošto kritimo kampo jutiklis susideda iš dviejų foto diodų. Jutiklis užtikrina tiesinę priklausomybę tarp srauto kampo ir generuojamos srovės visame darbiniam diapazone. Sistema buvo tiriama naudojant matematinius modelius ir praktinius eksperimentus. Matavimų paklaida rezultatuose nepateikta. Šis metodas susidūrė su praktiniu apribojimu. Eksperimento nepavyko atlikti, kai atstumas tarp šviesos diodų buvo didesnis nei 40cm. Šie rezultatai aiškinami kaip šviesos diodų trūkumas.[22]





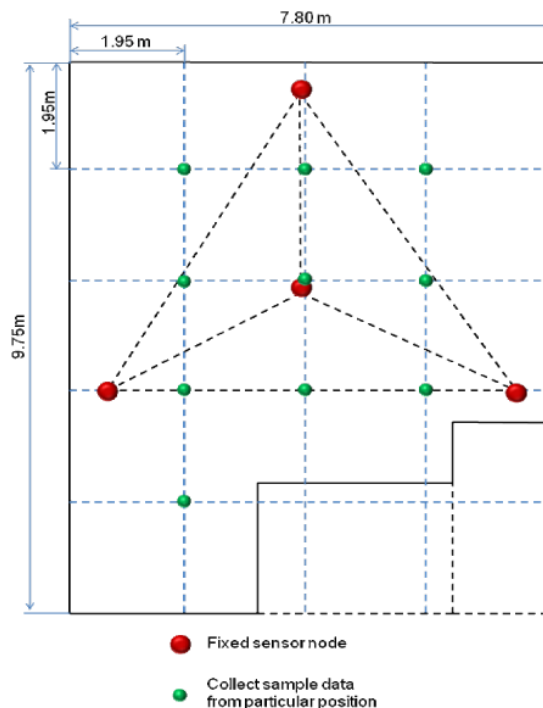
1.19 pav. IR vietos nustatymo sistemos veikimo principinė schema.[22]

Hikmet Yucel pasiūlė sprendimą, sujungiantį infraraudonųjų spindulių ir ultragarso technologijas (žr. 1,20 pav.). Sistema susideda iš siųstuvų, sumontuotų stacionariose pozicijose, ir imtuvų, galinčių laisvai judėti. Atstumas tarp siųstuvų ir imtuvų nustatomas apskaičiuojant ultragarso sklidimo laiką. Infraraudonųjų spindulių siųstuvai ir imtuvai naudojami laiko sinchronizacijai. Pradiniu laiko momentu išsiunčiamas 1ms IR signalas, pasibaigus IR signalui vienas siųstuvas išspinduliuoja 1ms ultragarsinį signalą. Praėjus 24ms ultragarsinį signalą išspinduliuoja antras siųstuvas. Po papildomų 24ms sistema kartoja ciklą. Tokia sistema gali palaikyti keletą imtuvų be papildomų modifikacijų, tačiau yra apribojimų. Abu siųstuvai privalo padengti analizuojamą plotą. Taip pat signalo kelyje negali būti jokių kliūčių. Šios sistemos paklaida 2 x 2m. patalpoje buvo mažesnė nei 1,8cm. Sistema yra pajėgi viename imtuve sugeneruoti vieną koordinatų porą per sekundę. [23]



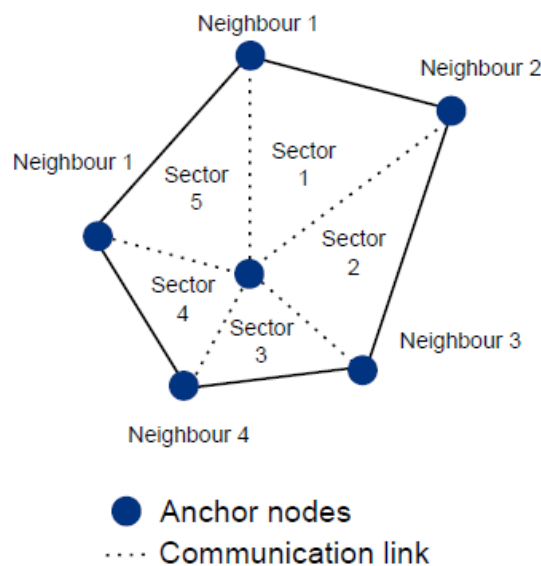
1.20 pav. Hibridinės vietos nustatymo sistemos veikimo principinė schema.[23]

Angela Song-Ie Noh su kolegomis realizavo radijo žemėlapiu ir tiesioginiu matavimo metodus. Jie naudojo Zigbee protokolu veikiančias žymas. Tyrimų patalpa buvo padalinta į 1,95m. kvadratus (žr. 1,21 pav.). Kvadratų viršūnėse buvo atlikti eksperimentai. Kiekviename taške surinkta po 100 signalo stiprumo įrašų. Iš jų buvo sudaryta duomenų bazė artimiausio kaimyno paieškos algoritmui. Lygiagrečiai iš surinktų duomenų buvo sudaryti signalo slopimo modeliai kiekvienai iš stacionarių žymų. Iš gautų tiesioginių matavimų modelių pagalba buvo išrenkami trys artimiausi švyturiai. Pasinaudojus stacionarių švyturių koordinatėmis ir atstumu iki švyturių apskaičiuotos objekto koordinatės. Tiesioginio matavimo algoritme taip pat pritaikė Markovo taisyklę. Taip tiksliau galėjo nustatyti objekto buvimo vietą, darant prielaidas apie objekto judėjimą. Ši pasiūlyta sistema veikė su 1,7m. paklaida.[24]



1.21 pav. Tyrimo vietos ir žymų išdėstymo schema.[24]

D.F.Larios mėgino spręsti lokalizavimo problemą panaudodamas jutiklių tinklą. Tai paskirstyta sistema. Ją sudaro judantys siųstuvai ir stacionarios stotelės, galinčios atlikti dalį skaičiavimų. Stacionarių stotelių skaičiavimo pajėgumai yra riboti dėl mažų energijos sąnaudų keliamo reikalavimo. Sistema inicijuojama, kai mobilus siųstuvas išsiunčia prašymą nustatyti buvimo vietą. Visos stacionarios stotelės, kurios aptinka prašymą, pradeda pozicionavimo algoritmą. Kiekviena stotelė įrašo inicijuojančio paketo signalo stiprumą ir perduoda jį gretimoms. Taip kiekviena stotelė turi lenteles, aprašančias kaimyninių stotelių ir jos pačios išmatuotas signalų vertes. Kiekviena stotelė vykdo fuzzy logikos algoritmą mėgindama įvertinti duomenų svarbą. Šis algoritmas kartojamas kiekvienai zonai, kurią sudaro stotelė ir du gretimi jos kaimynai (žr. 1,22 pav.). Jei fuzzy algoritmas nustato, kad duomenys yra reikšmingi, jie yra perduodami į centrinę stotį. Centrinė stotis nuo matavimo pradžios signalo laukia dalinai apdorotų duomenų fiksuotą laiką. Surinkusi duomenis ji naudoja centroidų metodą ir nustato objekto buvimo vietą. Po vienos iteracijos duomenų lentelės išvalomos ir laukiama naujo inicijavimo signalo. Šis metodas buvo realizuotas nacionaliniame parke. Prieš įdiegiant sistemą, ji buvo analizuota modeliuojant. Tirtą sistemą sudarė 25 stacionarios stotelės, išdėstytos dviejų šimtų metrų kvadratais. Modeliavimo rezultatai buvo palyginti su klasikiniu centroidų metodu. Fuzzy logikos pritaikymas leido sumažinti paklaidą visose analizuotose situacijose. [25].

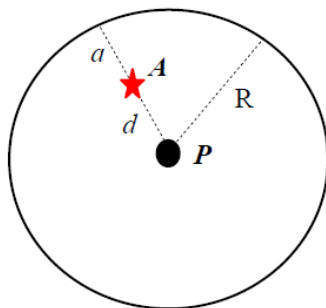


1.22 pav. Fuzzy algoritmo sektoriai.[25]

Prima Kristalina su kolegomis pasiūlė dar dvi centroidų metodo modifikacijas. Jie pasiūlė klasikinį centroidų metodą papildyti svoriniais koeficientais. Svoriniai koeficientai apskaičiuojami remiantis signalo stiprumo ir išsiuntimo stiprumo santykiu. Paveiksle 1.23 pavaizduotas apskritimas spinduliu  $R$ , kuris atitinka atstumą, kurį nukeliauja mobilus siųstuvo  $P$  signalas. Stacionarus švyturys  $A$  yra apskritimo viduje  $R$ . Atstumas tarp mobilus siųstuvo  $P$  ir švyturio  $A$  yra  $d$ , o atstumas tarp švyturio ir didžiausio atstumo, kurį nukeliauja siųstuvo  $P$  signalas, yra  $a$ . Tuomet galime nustatyti atstumą  $a$ , iš atstumo  $R$  atėmę atstumą  $d$ . Gautas skirtumas yra laikomas siųstuvo  $P$  svoriniu koeficientu švyturio  $A$  atžvilgiu. Taip apskaičiuojami visų švyturių, esančių kiekvieno siųstuvo  $P$  aplinkoje, svoriniai koeficientai. Taip pat buvo tiriama situacija, kai  $a$  reikšmėms, mažesnėms už pusę  $R$ , suteikiamas vienetinis svoris, o reikšmėms, esančioms sferoje spinduliu  $R$ , bet didesnėms nei pusė  $R$ , suteikiama 0,5 svorinė reikšmė.

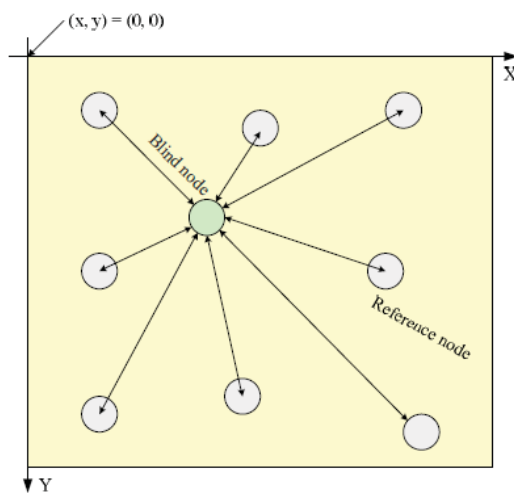
Pasiūlyti metodai buvo tirti naudojantis Matlab modeliavimo paketu. Tyrimų metu nustatyta, kad algoritmas duoda geriausias rezultatus, kai išlaikomas 10% santykis tarp stacionarių švyturių ir nežinomų siųstuvų. Didinant švyturių skaičių, signalai persidengia ir padidina pozicionavimo paklaidą. Taip pat įvertintas santykis tarp veikimo sferos  $R$  spindulio ir pozicionavimo paklaidos. Didinant sferos spindulį paklaida auga, nes į skaičiavimus įtraukiama daugiau nutolusių švyturių. Didinant atstumą tarp švyturių iš pradžių paklaida mažėja, nes didėja tikimybė, kad atsitiktinai pasiskirstę siųstuvai atsidurs šalia švyturių, tačiau atstumui tarp švyturių viršijus 10m. paklaida pradeda didėti dėl didesnių signalo švytavimų. Šiame darbe pasiūlytas svorinių koeficientų

skaičiavimo metodas sistemos tikslumą padidino 1,6 karto lyginant su klasikiniu centroidų metodu.[26]



1.23 pav. Centroidų modifikacijos vizualizacija.[26]

Chia-Hsin Cheng atliko tyrimą, kuriame panaudojo Texas instrument gaminamas mikroschemas. Sistemą sudarė siųstuvai, švyturiai ir imtuvai. Švyturiai padėti stacionariose vietose ir gavus užklausą išsiunčia savo koordinates. Siųstuvai mėgina nustatyti savo buvimo vietą išsiųsdamas užklausas švyturiams. Jiems atsakius, siųstuvai sukaupia atsiųstas švyturių koordinates ir signalo stiprumo lygį (RSSI). Siųstuvai suprojektuoti naudojant CC2431 mikroschemą, todėl galima panaudoti Texas instrument integruotą aparatinį pozicionavimo algoritmą. Gauti rezultatai perduodami į serverį per tarpinę stotelę, kurioje yra kaupiami ir pavaizduojami.[27]

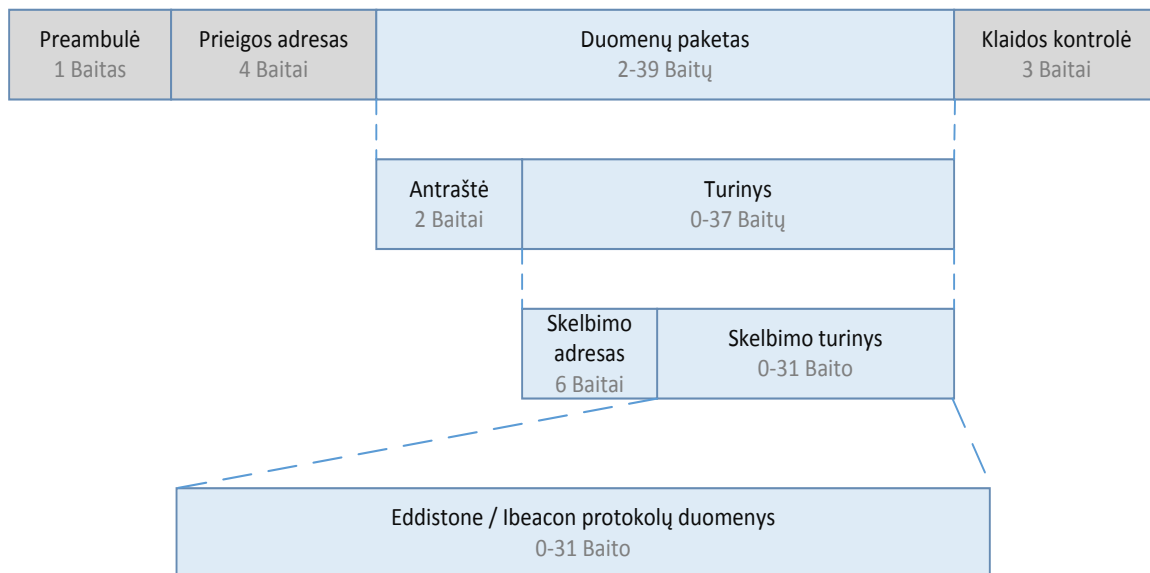


1.24 pav. Texas instrument algoritmu paremtos sistemos struktūrinė schema.[27]

## 2. PASIRINKTA ŽYMOŠ TECHNOLOGIJA

Atlikus literatūros analizę buvo priimtas sprendimas naudoti Bluetooth LE žymas. Šį pasirinkimą lėmė technologijos paplitimas mobiliuosiuose įrenginiuose. Daugelis naujos kartos mobiliųjų telefonų jau turi techninę įrangą, reikalingą naudotis Bluetooth 4.0 LE standartu. Toks esamos infrastruktūros paplitimas įgalina sumažinti sistemų diegimo kaštus. Mobilieji įrenginiai gali būti naudojami žymos režime su nemokama programine įranga. Esant poreikiui būtų galima juos pritaikyti apdorojant žymų siunčiamą informaciją.

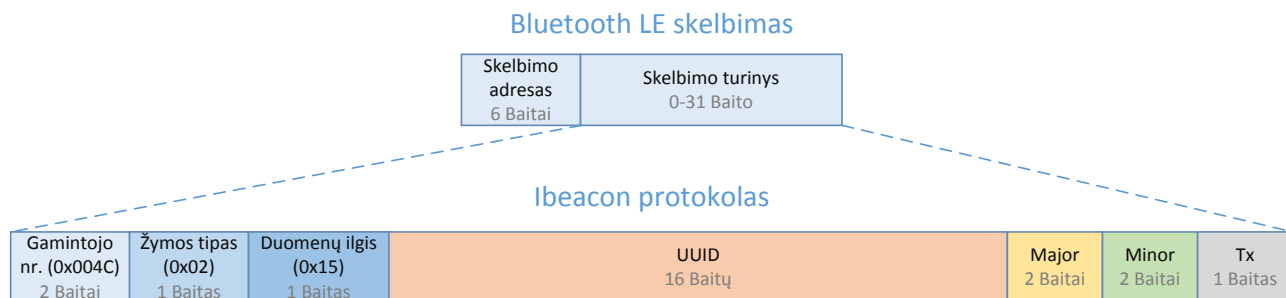
Naudojant didelį kiekį įvairių žymų kyla problema. Norint nustatyti atstumą iki žymos privaloma žinoti žymos siųstuvo galią (žr. 3 skyrių). Bluetooth 4.0 LE standartas apibrėžia siunčiamų duomenų struktūras (žr. 2.1 pav.). Standartinėse struktūrose yra numatyta vieta, kur privaloma nurodyti siųstuvo signalo stiprumą. Šis reglamentavimas užtikrina, kad skirtingų gamintojų žymos, suderinamos su Bluetooth 4.0 LE standartu, pateiks korektišką ir vienareikšmiškai apibrėžtą signalo stiprumo galią. Du populiariausi žymų protokolai, naudojantys Bluetooth 4.0 LE technologiją, yra Google Eddistone ir Apple Ibeacon.



2.1 pav. Bluetooth 4.0 LE standarto naudojant Eddistone ar Ibeacon protokolus duomenų struktūra.[28]

Apple 2013 metais pristatė Ibeacon protokolą. Jis apibrėžė naują Bluetooth LE skelbimo struktūrą. Apple sukurtas protokolai perduoda keturis pagrindinius parametrus. Minor - 2 baitų skaičius skirtas identifikuoti žymas. Major - 2 baitų skaičius skirtas identifikuoti žymų grupes.

UUID - 16 baitų skaičius skirtas sujungti žymų grupes į didesnes sistemas. Taip pat protokolas numatė pridėti siųstuvo galią –Tx išmatuota esant 1m. atstumui tarp siųstuvo ir imtuvo (žr. 2.2 pav.). Apple kompanija, kurdama šį protokolą, tikėjosi sukurti naujas galimybes parduotuvėms ir kitiems paslaugų teikėjams identifikuoti, kai jų vartotojai priartėja prie tam tikrų vietų, pažymėtų aktyviomis žymomis. Tokio įvykio identifikavimas sudarytų naujas marketingo ir paslaugų pritaikymo galimybes. [29]

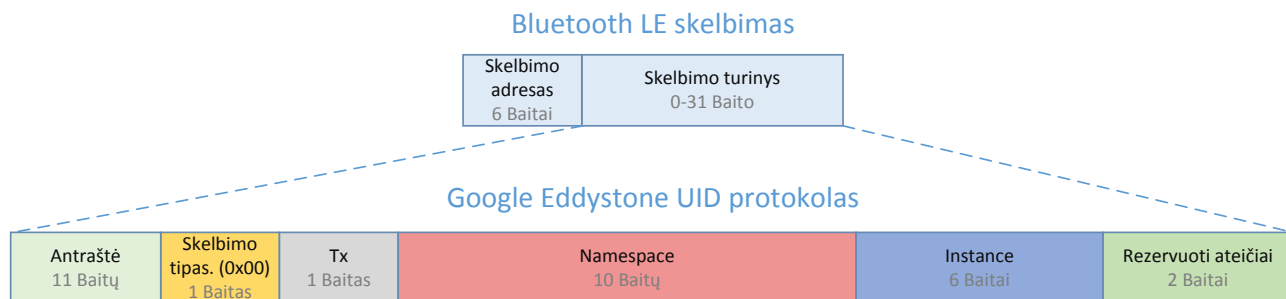


2.2 pav. Ibeacon protokolo duomenų struktūra.

Google 2015m. pavošino savo protokolą „Google Eddystone“. Šis protokolas pakartojo Apple protokolo funkcijas. Google savo protokolą praplėtė pasiūlydama keletą naujų skelbimo struktūrų. Pirmoji Google Eddystone versija susidėjo iš trijų tipų skelbimų. Eddystone UID skelbimas pakartojo Apple Ibeacon teikiamas galimybes. Google vietoje trijų lygių herarhijos pasirinko dviejų lygių. UID skelbimas susideda iš siųstuvo galios Tx, išmatuotos, kai tarp siųstuvo ir imtuvo yra 0m. Praktiškai tai pasiekti yra sudėtinga, todėl rekomenduojama išmatuoti Tx stiprumą esant 1m atstumui ir pridėti 41db. Ryšys tarp Apple Ibeacon ir Google Eddystone protokolų naudojamų siųstuvų galių pateiktas 2.1 formulėje.

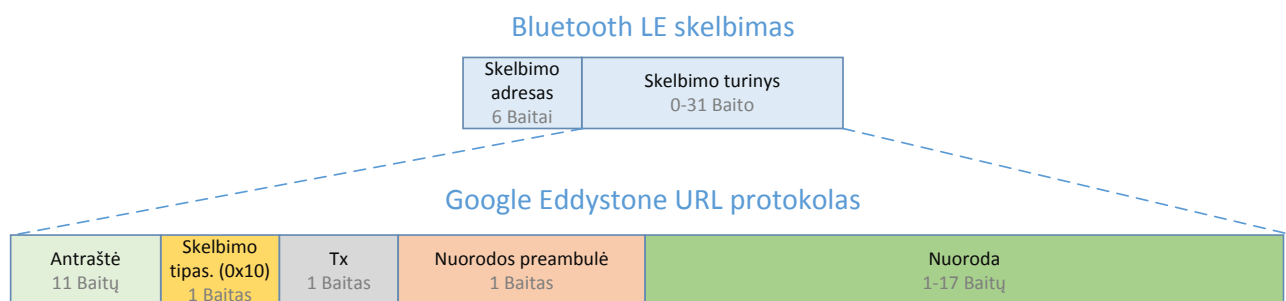
$$Tx_{Eddystone} = Tx_{Ibeacon} - 41 \quad (2.1)$$

UID skelbimas žymų identifikavimui naudoja 6 baitų ilgio skaičių, vadinamą Instance. Žymų grupės aprašomos 10 baitų ilgio Namespace. Google rekomenduoja Namespace sugeneruoti iš integratoriaus ar projekto tinklalapio adreso. Savo ruožtu kiekvienas žymų gamintojas turėtų užtikrinti, kad kiekviena Namespace ir Instance pora yra unikali. UID skelbimo struktūra pateikta 2.3 pav.[30]



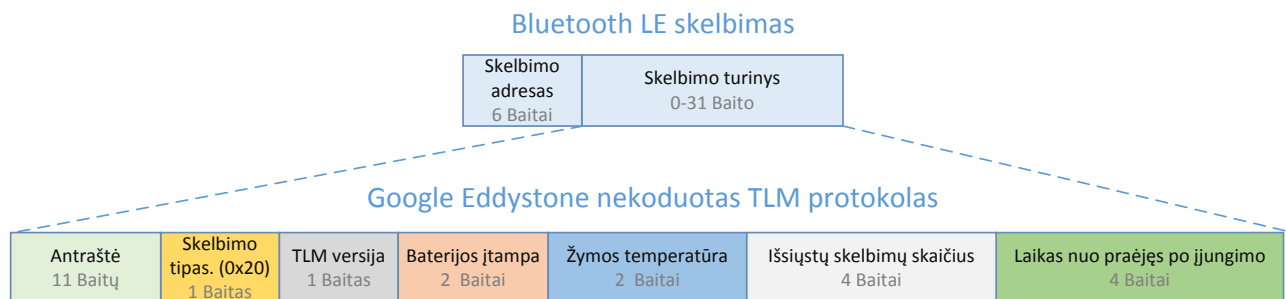
2.3 pav. Google Eddystone protokolo UID skelbimo duomenų struktūra.

Google Eddystone protokolas praplėtė žymų galimybes pasiūlydamas URL skelbimą. URL skelbimas susideda iš skelbimo tipo, siųstuvo galios, nuorodos antraštės ir pačios nuorodos (žr.2,4 pav.). Šis skelbimo tipas sukurtas siekiant suteikti nuorodas į tinklalapius su informacija apie daiktus, esančius šalia vartotojo. Norint sumažinti simbolių skaičių, reikalingą adresui išsaugoti, nuorodos antraštėje aprašoma viena iš keturių galimų internetinio adreso preambolių .[30]



2.4 pav. Google Eddystone protokolo URL skelbimo duomenų struktūra.

Google Eddystone protokolas numatė dar vieną skelbimo tipą. Jis orientuotas į žymų infrastuktūros palaikymą. TLM skelbimas susideda iš skelbimo tipo, TLM versijos, žymos baterijos įtampos, žymos temperatūros, išsiųstų skelbimų skaičiaus ir laiko, praėjusio nuo žymos įjungimo (žr. 2.5 pav.). Naudojantis šiuo skelbimu galima identifikuoti žymas, kurias reikia aptarnauti. Esant poreikiui apriboti informacijos prieigą, galima naudoti užkoduotą TLM protokolą (Žr. 2.6 pav.)[30]



2.5 pav. Google Eddystone protokolo nekoduoto TLM skelbimo duomenų struktūra.

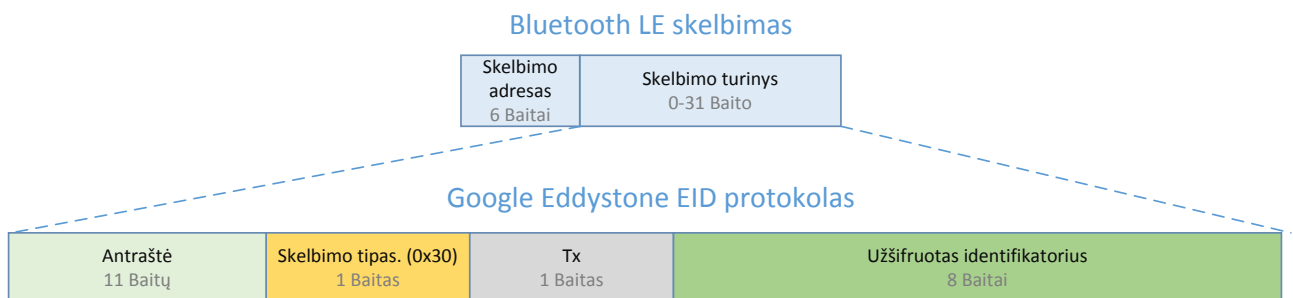


TLM duomenys užkoduojami naudojantis dviejų baitų ilgio atsitiktiniu skaičiumi ir iš anksto žinomu raktu. Taip suformuojamas naujas skelbimas, kuris susideda iš skelbimo tipo, TLM versijos, 12 baitų užkoduotų duomenų, 2 baitų atsitiktinio rakto ir dviejų baitų klaidų aptikimo kodo.[30]



2.6 pav. Google Eddystone protokolo koduoto TLM skelbimo duomenų struktūra.

Google Eddystone protokolas buvo praplėstas dar vienu skelbimo tipu – EID. Tai skelbimo tipas, panašus į Ibeacon ar Eddystone UID, tačiau skirtas užšifruoti žymos identifikavimo numerį. Žymos, dirbančios šiuo skelbimu, periodiškai keičia užšifravimo raktą ir siuntėjo adresą. Toks periodinis keitimasis sudaro sunkumą norint sekti žymas neturint jų iššifravimo rakto. EID skelbimo struktūra pateikta 2.7 pav. [30]

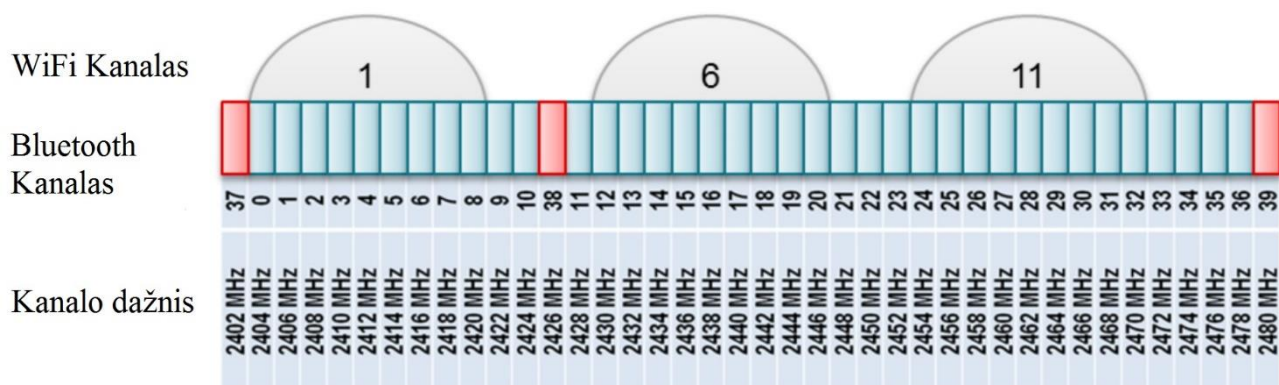


2.7 pav. Google Eddystone protokolo EID skelbimo duomenų struktūra.

Norint nustatyti žymų buvimo vietą mums palankūs yra Ibeacon, Eddystone UID, URL skelbimai. Eddystone TLM skelbimai nėra tinkami, nes neturi integruotos siųstuvo galios indikacijos. Juos galima panaudoti tik, jeigu siųstuvo galia iš anksto žinoma. Eddystone EID protokolas tinkamas žymų aptikimo uždavinyje tik su sąlyga, kad yra žinomas iškodavimo raktas.

Bluetooth 4.0 technologija veikia 2.4 GHz dažnių juostoje. Šioje dažnių juostoje veikia nuotolinio valdymo modeliai (RC modeliai). Taip pat WiFi interneto infrastruktūros naudoja šią dažnių juostą. Siekiant sumažinti tinklų tarpusavio sąveiką Bluetooth LE protokolas naudoja 37,38 ir 39 kanalus. Toks pasirinkimas padeda sumažinti sankirtą su populiariausiais WiFi kanalais: 1,6,11 (Žr. 2.8pav.). Omar Cruz, Erik Ramos ir Moises Ramirez išanalizavo šių dviejų tinklų sąveiką ir

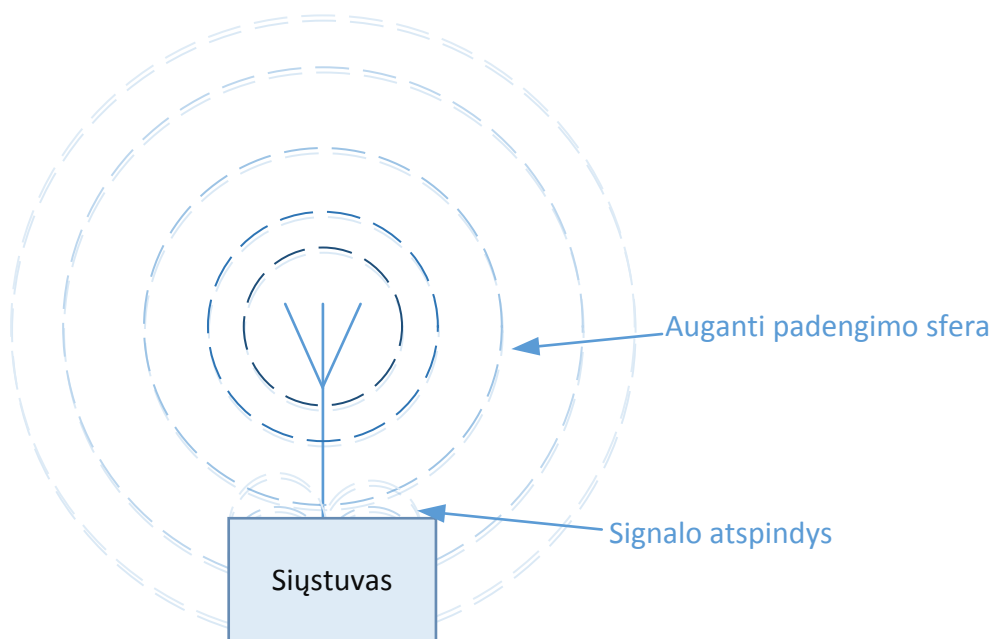
patvirtino, kad WiFi tinklai nedaro ryškios įtakos Bluetooth LE tinklui, tačiau Bluetooth tinklai trukdo WiFi tinklams[10]. Jų tyrimo rezultatai verčia svarstyti galimybes minimizuoti Bluetooth žymų skaičių, kad nauja infrastruktūra nepradėtų trukdyti esamiems WiFi tinklams.



2.8 pav. Bluetooth 4.0 LE naudojami komunikaciniai kanalai.[28]

### 3. RADIJO SIGNALO SKLIDIMO MODELIAVIMAS

Sklandant radijo signalui aplinka, pasireiškia reiškinys vadinamas signalo slopinimu. Jis atsiranda, dėl nuolat augančios signalo sklaidimo sferos ir sąveikos su kitais aplinkos objektais (Žr. 3.1 pav.)



3.1 pav. Radio signalo slopinimas ir padengimo sferos augimas

Pasinaudoję šia savybe, galime mėginti apskaičiuoti, kokį atstumą nukeliavo signalas. Signalo stiprumo kitimas tuščioje aplinkoje pateiktas 3.1 formulėje. Signalo stiprumo pokytis  $\Delta R_{ssi} \text{ dB}$  priklauso nuo aplinkos charakteristikų, apibūdinamų aplinkos koeficientu  $N$ , ir signalo nukeliauto atstumo  $\Delta x$ , matuojamo metrais. Konstanta  $C$  kompensuoja sistemų sukuriamą paklaidą. Priimsime prielaidą, kad konstanta  $C=0$ , nes tiriama sistema gali naudoti įvairaus tipo švyturius, kurių charakteristikos iš anksto nėra žinomos.

$$\Delta R_{ssi} = 10 * N * \log_{10} \Delta x + C \quad [31] \quad (3.1)$$

Signalų pokytis  $\Delta R_{ssi}$  apskaičiuotas pasinaudojus imtuvo teikiamu gauto signalo stiprumo indikatoriumi  $R_x$  ir Bluetooth LE protokole integruoto siųstuvo signalo stiprumo indikatoriumi  $T_x$  (Žr 3.2).

$$\Delta R_{ssi} = T_x - R_x \quad (3.2)$$

Priėmus naujus pažymėjimus ir prielaidą, kad konstantos  $C$  nevertinsim, lygtį 3.1 galim perrašyti taip:

$$T_x - R_x = 10 * N * \log_{10} \Delta x \quad (3.3)$$

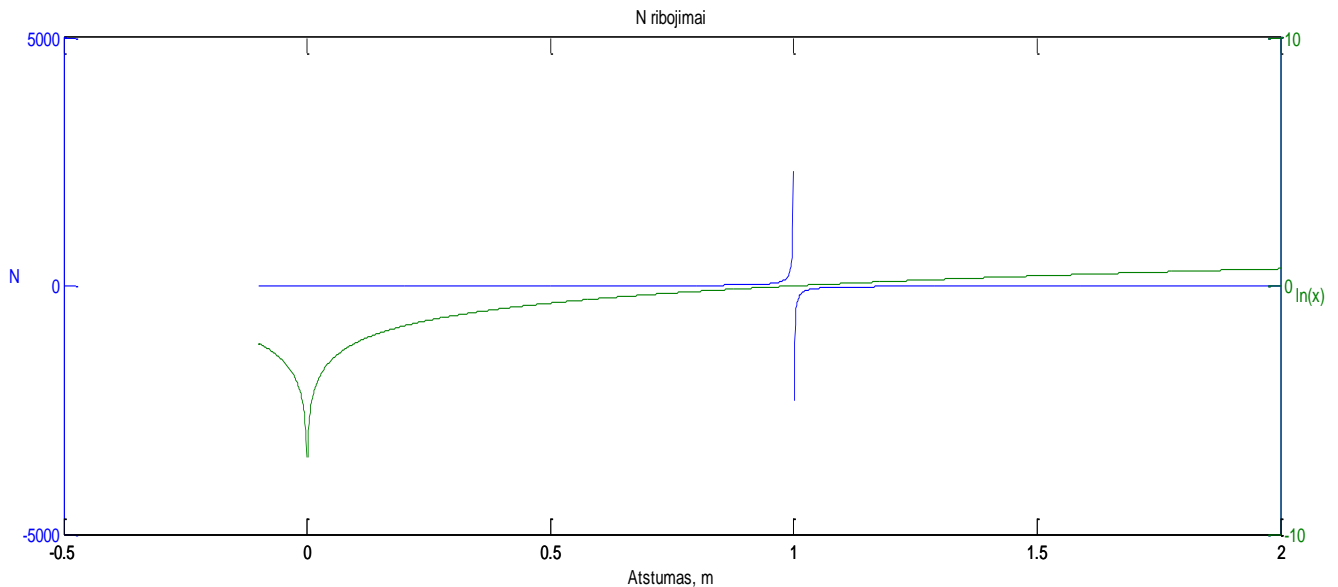
Pasinaudojus MATCAD programiniu paketu 3.3 formulė buvo pertvarkyta į dvi skirtingas formas, kurių reikės vėliau:

$$\Delta x = \frac{1}{10^{\frac{R_x - T_x}{10N}}} \quad (3.4)$$

$$N = -\frac{\ln 10 * (R_x - T_x)}{10 * \ln(\Delta x)} \quad (3.5)$$

Realizuojant formules 3.4 ir 3.5 programinėmis priemonėmis būtina atkreipti dėmesį į tam tikrus apribojimus. Skaičiuojant atstumą iki žymos aplinkos koeficientas privalo būti didesnis už nulį. Praktiškai šis koeficientas nebūna mažesnis už vieną. Ieškant aplinkos koeficiento būtina atsižvelgti į ribojimus.  $N$  priklausomybės nuo atstumo kreivė turi du lūžio taškus, kai atstumas lygus 0m. ir 1m. (Žr. 3.2 pav.). Nors analitiškai sprendžiant turėtume tik vieną trūkio tašką, kai  $\Delta x = 1$ , tačiau naudodami skaitmeninius metodus privalom atsižvelgti į situaciją, kai  $\Delta x = 0$ , nes čia  $\lim_{x \rightarrow 0} \ln x \rightarrow$

$-\infty$



3.1 pav. Aplinkos koeficiento skaičiavimo apribojimai.

Radijo signalai sklisdami erdve gali atsispindėti nuo įvairių paviršių (žr. 3.2 pav). Taip imtuvą pasiekia tiesioginis signalas ir aibė atspindžių su skirtingu vėlinimu. Atspindžių aibė gali būti be galo didelė, todėl ją įvertinti yra sudėtinga. Šis reiškinys gali iškraipyti perduodamus duomenis arba iškreipti signalo stiprumą. Jeigu užvėlinti signalai sumuojasi imtuve, matomas aukštesnio lygio signalas, tačiau jeigu vėluojantys signalai imtuvą pasiekia su neigiamu frontu, signalas yra slopinamas. Tiesioginio signalo atskyrimą nuo atspindžių apsunkina mažas vėlinimas tarp signalų, nes jie keliauja greičiu, artimu šviesos greičiui. Ši problema tampa ypač aktuali projektuojant radarų sistemas. Radaro imtuvą pasiekus vėluojantiems signalams susidaro įspūdis, kad stebimas objektas yra toliau. Taip susiformuoja šešėliniai objektai. Šešėliniai objektai erdvėje juda lygiai taip, kaip tikrasis objektas. Vienodos objekto ir jo šešėlių judėjimo charakteristikos apsunkina šešėlinių objektų identifikavimą. Antžeminių radarų sistemose imtuvai yra sudėtingi ir gali surinkti papildomą kiekį duomenų. Juos analizuojant apskaičiuojamas ne tik atstumas iki sekamo objekto, bet ir objekto aukštis žemės paviršiaus atžvilgiu. Pasinaudojus aukščio informacija eliminuojami sekamo objekto šešėliai, kurie nepatenka į iš anksto nustatytus aukščio apribojimus. Kuriant radaro sistemą patalpose, vėlavimas nėra pakankamai ilgas, kad susidarytų šešėliniai objektai. Tačiau ši problema išlieka aktuali, nes dėl skirtingų vėlinimo laikų imtuve bus iškraipyta signalo amplitudė. Tai yra viena iš priežasčių, kodėl signalo stiprumo indikatorius Rx yra nestabilus

ir jo reikšmė svyruoja, nors aplinka išlieka statinė.[29] Priimkime, kad  $T_x=-70$ ,  $R_x=-71$   $N=3.2$ .

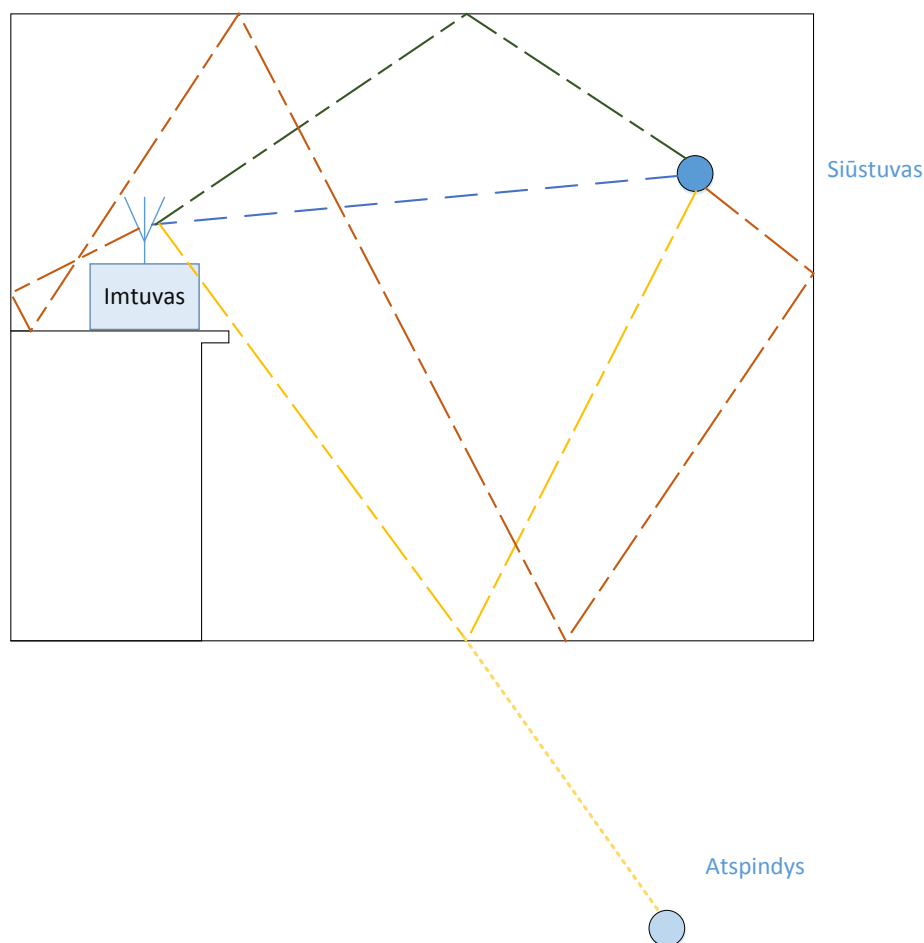
Reikšmes sustačius į 3.4 lygtį gauname:

$$\Delta x = \frac{1}{10 \frac{R_x - T_x}{10N}} = \frac{1}{10 \frac{-71 - (-70)}{10 \cdot 3.2}} = \frac{1}{\frac{-1}{1032}} \approx 1m. \quad (3.6)$$

Iš 3.6 lygties rezultatų matome, kad net mažas  $R_x$  indikatoriaus nuokrypis nuo realios reikšmės radaro sistemoje sukuria reikšmingą paklaidą vertinant atstumą.

Siekiant sužinoti tikrąjį atstumą tarp žymos ir imtuvo, uždavinį galima suskaldyti į du smulkesnius uždavinius:

- Aplinkos koeficiento įvertinimas.
- Radijo signalo indikatoriaus  $R_x$  stabilizavimas.



3.2 pav. Radijo signalų atspindžiai.

## 4. TECHININĖ IR PROGRAMINĖ ĮRANGA

Remiantis turima asmenine darbo patirtimi su konkrečia platforma buvo nuspręsta naudoti įterptinę platformą Beagle Bone Black. Įterptinės platformos pagrindinės charakteristikos pateiktos 4.1 lentelėje. Tyrimo metu buvo naudota Arch linux operacinė sistema su 3.8.13-37 Arch branduolio versija. Papildomai žemo lygio komunikacijoms su Bluetooth tinklo adapteriu panaudota Bluez 5.37-2 oficialiai tiekiamą nemokama biblioteka. Programinės įrangos struktūrinė schema pateikta 4.1 paveiksle. Programinei įrangai kurti panaudota NetBeans IDE 8.1 RC2 programinis paketas, sukonfigūruotas veikti nuotoliniu režimu. Šis režimas leido programinę įrangą kurti Windows aplinkoje, o kompiliuoti ir paleisti ethernet tinkle esančioje platformoje Beagle Bone Black. Programų kompiliavimui naudotas gcc 5.3.0-5 kompiliatorius.

4.1 lentelė. Įterptinės platformos beagle bone black pagrindinės charakteristikos

Modelis	Beagle bone black
Tipas	įterptinė platforma
Maitinimo įtampa	4,5-5,5 V DC
Komunikacijos	USB, ETHERNET ,HDMI ,I2C, SPI, ADC
Procesorius	AM335x 1GHz ARM® Cortex-A8
Operatyvioji atmintis	512MB DDR3 RAM
Flash atmintis	4GB 8-bit eMMC
I/O skaičius	92
Integruoti mikrovaldikliai	2x 32-bit mikrovaldikliai

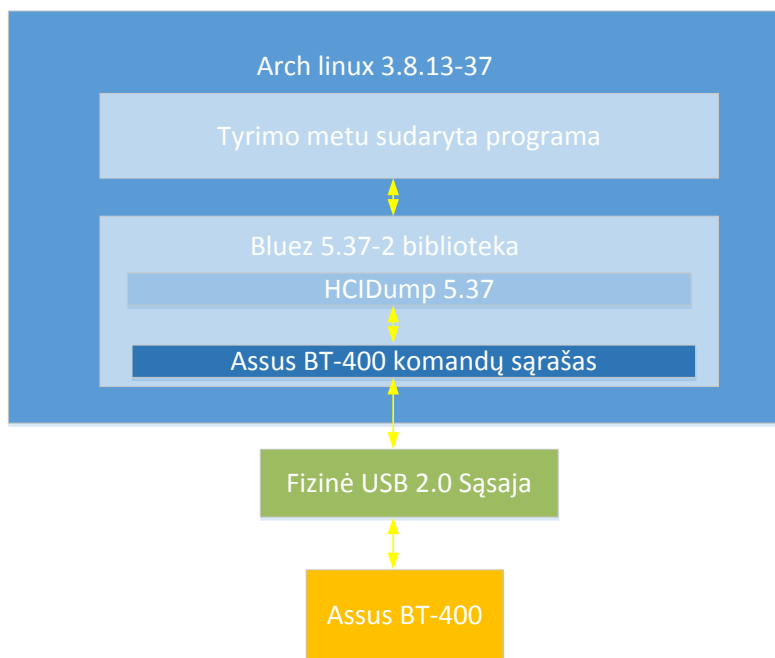
Platformos prieigai prie Bluetooth 4 LE tinklu užtikrinti panaudotas Assus BT-400 Bluetooth tinklo adapteris. Jo pagrindinės charakteristikos pateiktos 4.2 lentelėje.

4.2 lentelė. Bluetooth adapterio Assus BT 400 charakteristikos

Modelis	Assus BT 400
Tipas	Nano adapteris
Maitinimo įtampa	5 V DC
Komunikacija	USB 2.0
Duomenų perdavimo greیتaveika	Iki 3Mbps
Palaikomas standartas	Bluetooth 4.0

Veikimo zona	Daugiau kaip 10m. atviroje erdvėje
Dažnių juosta	2.4~2.4835 Ghz nelicencijuota ISM dažnių juosta
Dažnių spektras	FHSS (Dažnių šuolių išskirstymo spektras)
Moduliacijos	GFSK kai greitaveika 1Mbps $\pi/4$ -DQPSK kai greitaveika 2Mbps 8-DPSK kai greitaveika 3Mbps
Palaidomi protokolai	<ul style="list-style-type: none"> <li>-4.0 Host Controller Interface</li> <li>-Advanced Audio Distribution Profile</li> <li>-AMP Host Controller Interface</li> <li>-AMP Manager Protocol</li> <li>-Attribute Protocol</li> <li>-Audio/Video Control Transport Protocol</li> <li>-Audio/Video Distribution Transport Protocol</li> <li>-Audio/Video Remote Control Profile</li> <li>-Basic Imaging Profile</li> <li>-Basic Printing Profile 1.2</li> <li>-Bluetooth Network Encapsulation Protocol</li> <li>-Device ID Profile</li> <li>-Dial-Up Networking Profile</li> <li>-File Transfer Profile</li> <li>-Find Me Profile</li> <li>-Generic Access Profile</li> <li>-Generic Attribute Profile</li> <li>-Generic Audio/Video Distribution Profile</li> <li>-Hands-Free Profile</li> <li>-Hardcopy Cable Replacement Profile</li> <li>-Headset Profile</li> <li>-Host Controller Interface</li> <li>-Human Interface Device</li> <li>-Interoperability Test Specification</li> <li>-Logical Link Control and Adaptation</li> </ul>

	<p>Protocol</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Message Access Profile</li> <li>-Object Push Profile</li> <li>-Personal Area Networking Profile</li> <li>-Phone Book Access Profile</li> <li>-Proximity Profile</li> <li>-RFCOMM with TS 07.10</li> <li>-Security Manager Protocol</li> <li>-Serial Port Profile</li> <li>-Service Discovery Application Profile</li> <li>-Service Discovery Protocol</li> <li>-Synchronization Profile</li> <li>-Video Distribution Profile</li> </ul>
--	---



4.1 pav. Programinės įrangos struktūrinė schema.

Tyrimo metu buvo naudojamos dviejų tipų aktyviosios žymos. Em Microelectronic, gaminama integruota Bluetooth LE žyma EMBC01. Jos pagrindinės charakteristikos pateiktos 4.3 lentelėje.



4.3 lentelė. Em Microelectronic žymos charakteristikos

Modelis	EMBC01
Leistinos temperatūros diapazonas	-20C° - +60C°
Korpusas	IP-64 30mmx10mm diskas.
Maitinimo šaltinis	CR2032 3V Li baterija
Veikimo režimai	Mažo atstumo: 15m., 100ms tarp skelbimų Vidutinio atstumo: 30m., 500ms tarp skelbimų Didelio atstumo: 75m., 1s tarp skelbimų
Sisteminis UUID	699EBC80-E1F3-11E3-9A0F-0CF3EE3BC012

Siekiant imituoti esamos infrastruktūros panaudojimą, į tyrimą buvo įtraukta virtuali žyma. Siekiant realizuoti virtualią žymą buvo panaudotas mobilusis telefonas One Plus 3. Siekiant įgalinti žymos režimą, panaudota papildoma programinė įranga Beacon Simulator 1.2.2. Mobiliojo telefono pagrindinės charakteristikos pateiktos 4.4 lentelėje.

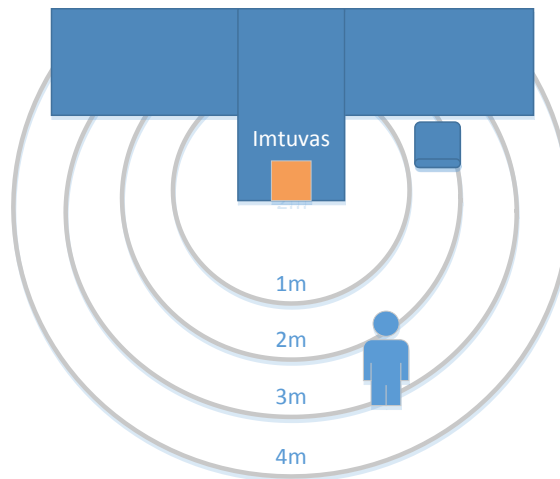
4.4 lentelė. One plus mobiliojo telefono charakteristikos

Modelis	One Plus 3 ( A3003)
Operacinė sistema	Oxygen OS 3.2.8 (Android 6.0.1 pagrindu)
Branduolio versija	3.18.20-perf+ OnePlus@ubuntu-21
Maitinimo šaltinis	Li-Ion 3000mAh baterija
Sisteminė plokštė	Qualcomm MSM8996 Snapdragon 820
Procesorius	Quad-core (2x2.15 GHz Kryo & 2x1.6 GHz Kryo)
Vaizdo plokštė	Adreno 530
Operatyvioji atmintis (RAM)	6Gb
Sisteminė atmintis (Flash)	64GB
Komunikacijos	GSM/HSPA/EVDO/LTE Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac Bluetooth 4.2 (A2DP, LE) GPRS NFC USB V2.0

## 5. TYRIMAI LABORATORIJOJE

### 5.1. Tyrimo aplinka

Pirminiai tyrimai ir sistemos kūrimas realizuoti laboratorinėje aplinkoje. Tyrimų metu imtuvas laikomas padėtas ant stalo. Patalpa suskirstyta į puslankius. Tarp puslankių išlaikytas 1m atstumas (žr. 5.1 pav.). Aktyvios žymos laikomos žmogaus, stovinčio ant paženklintų puslankių.



5.1 pav. Laboratorijos principinė schema.

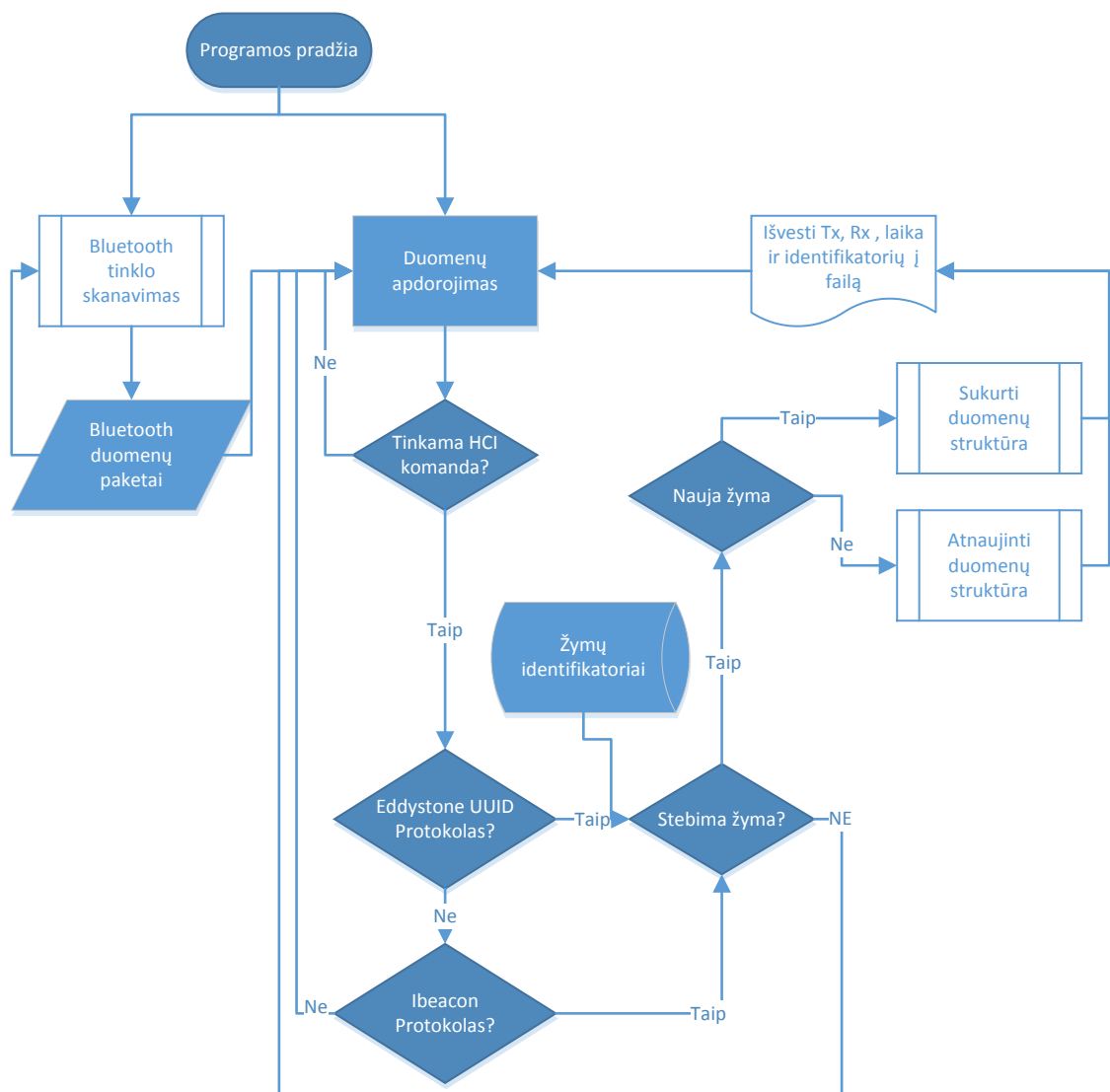
### 5.2. Pradinio aplinkos koeficiento nustatymas

#### 5.2.1. Duomenų surinkimo programa

#### 5.2.2.

Norint nustatyti aplinkos koeficientą buvo sudaryta priminė programa pirminių duomenų surinkimui (žr. 5.2 pav). Paleidus programą, paleidžiama Bluez bibliotekoje esanti programa HCIDump. Ši programa nuolatos vykdo Bluetooth tinklo skanavimą ieškodama Bluetooth LE (Low Energy) standarto duomenų paketų. Ši programa grąžina visas komandas, kurios yra siunčiamos į Bluetooth tinklo adapterį, todėl būtina pasitikrinti, ar stebime norimą komandą. Esant tinkamai HCI komandai analizuojami komandos duomenys. Tikrinama, ar gauti duomenys atitinka Google Eddystone UUID protokolą. Jeigu protokolo atitikimas nerastas, tuomet ieškoma iBeacon protokolo struktūros. Neradus šios struktūros, gauti duomenys praleidžiami ir imamas kitas įrašas, esantis duomenų masyve. Jeigu randamas kažkuris analizuojamų protokolų, iš atsiųstų duomenų išskiriami su protokolų susiję duomenys. Apdorojus atsiųstus duomenis tikrinama, ar gautą pranešimą atsiuntė

tyrime dalyvaujanti žyma. Tai atliekama lyginant gautą žymos informaciją su duomenų bazėje saugomomis UUID ir Eddystone Namespace reikšmėmis (Žr. 2 skyrių). Patvirtinus, kad duomenys gauti iš tyrime dalyvujančios žymos, tikrinamas virtualus stebimų žymų sąrašas. Sąrašas papildomas nauju įrašu, jeigu nerandamas jau esamas įrašas su tokiu identifikatoriumi. Kitu atveju įrašo duomenys yra atnaujinami.



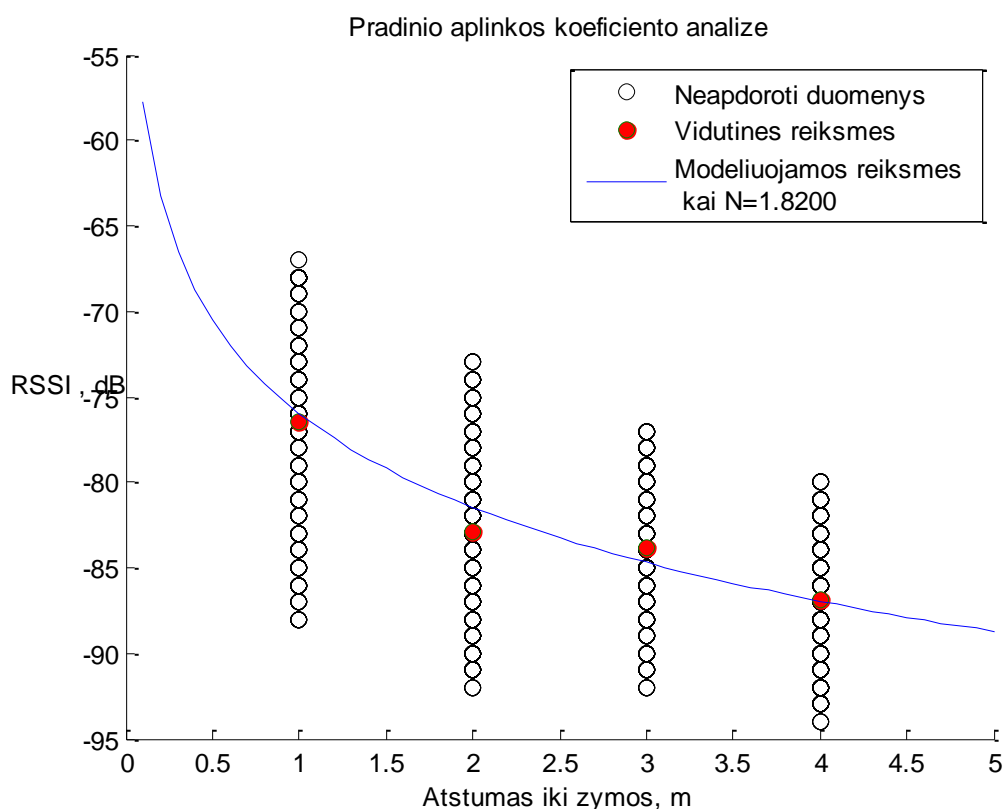
5.2 pav. Duomenų surinkimo programos loginė schema.

### 5.2.3. Surinktų duomenų apdorojimas

Surinkus keturis duomenų masyvus buvo sudaryta matlab programa duomenims apdoroti. Kiekvienas duomenų masyvas buvo sudarytas žmogui, turinčiam aktyvią žymą, vaikstant paženklintomis linijomis (žr. 5.1 pav.). Iš kiekvieno duomenų masyvo buvo atmesta po 10%

didžiausių ir mažiausių verčių. Taip buvo siekiama sumažinti atsitiktinių paklaidų įtaką eksperimentui. Kiekvienam duomenų masyvui buvo suskaičiuotos vidutinės reikšmės (žr. 5.3 pav.). Pasinaudojus 3.6 formule buvo skaičiuojamas teorinis atstumas prie vidutinių masyvų reikšmių. Skaitmeniniais sprendimo būdais buvo surasta koeficiento N reikšmė, minimizuojanti skirtumo kvadratų tikslo funkciją, pateiktą 5.1 formulėje. Funkcijoje  $Atstexp$  – atstumas iki žymos gautas atliekant eksperimentą,  $Atstteor$  atstumas iki žymos apskaičiuotas naudojant 3.6 formulę. Nustačius aplinkos koeficientą buvo apskaičiuotos teorinės RSSI reikšmės, kai atstumas iki žymos kinta nuo 0 iki 5m.

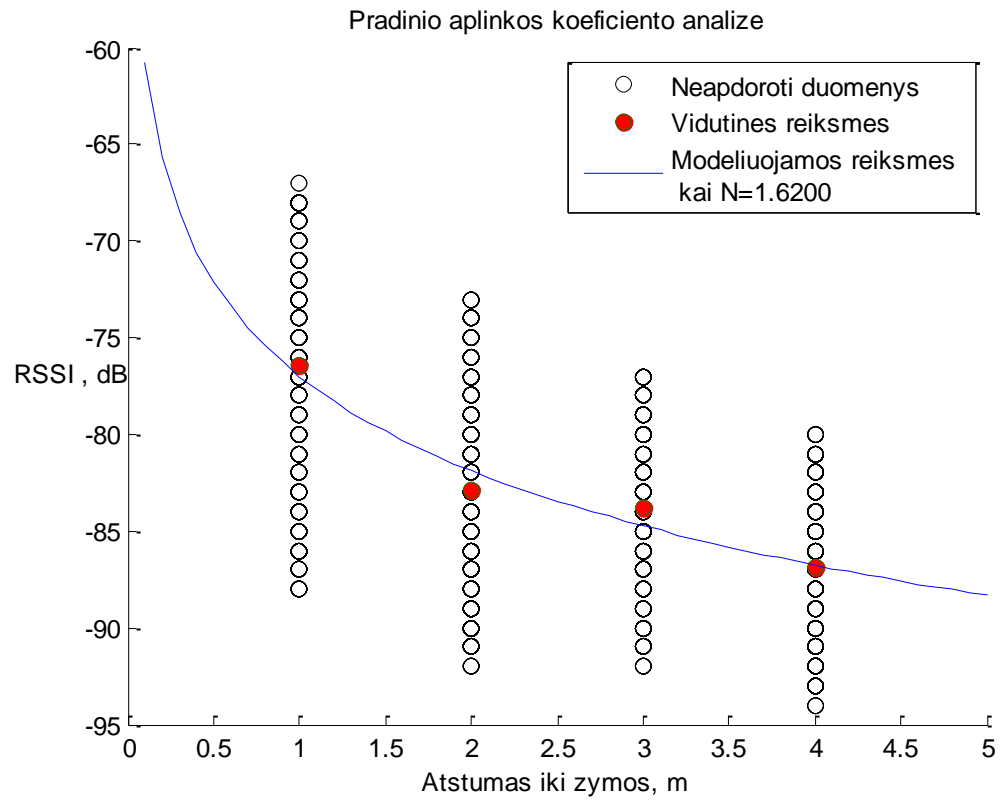
$$E = \sum_{i=1}^4 (Atstexp_i - Atstteor_i)^2 \quad (5.1)$$



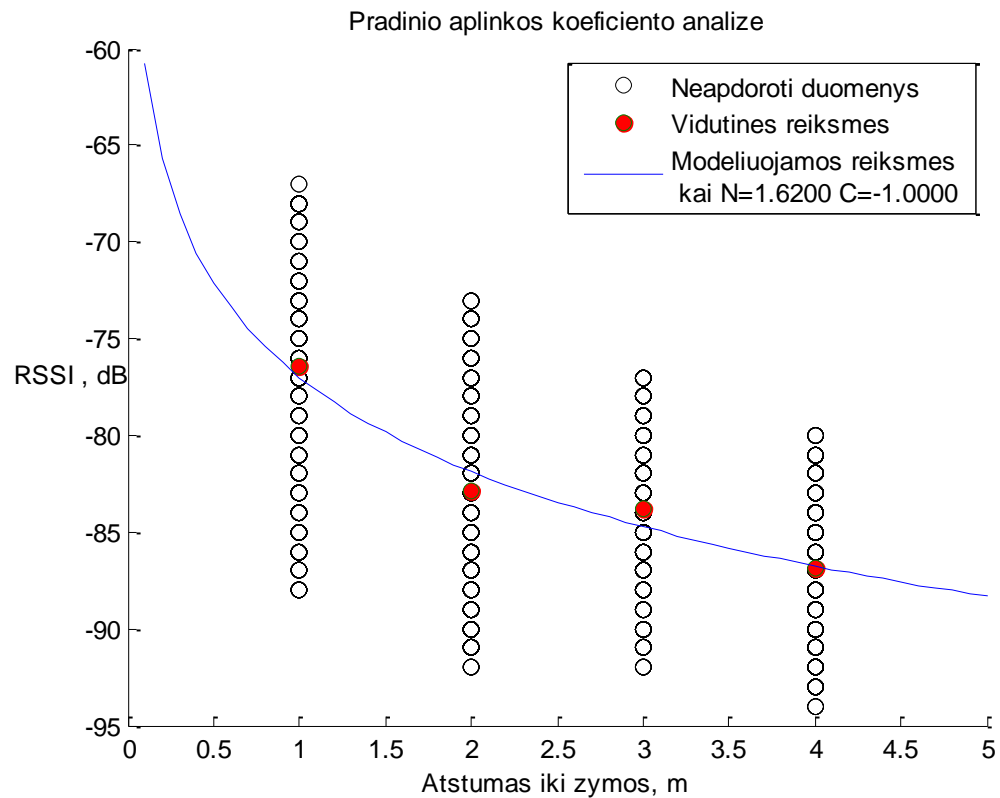
5.3 pav. Sumodeliuota RSSI priklausomybė nuo atstumo iki žymos kartu su eksperimentiniais duomenimis pagal 3.6 formulę

Procedūra buvo pakartota panaudojant 3.1 ir 3.3 formules. Pagal 3.3 formulę gautas rezultatas davė keturis kartus didesnę paklaidos kvadrato sumą (žr. 5.4 pav.). Taip pat buvo įvertinta laisvojo

nario C, esančio formulėje, įtaka (žr. 5.5 pav.). Vertinant iki keturių reikšminių ženklų po kablelio, rezultatai su laisvojo nario įvertinimu ir be jo yra identiški. Todėl toliau jis nebus vertinamas.



5.4 pav. Sumodeliuota RSSI priklausomybė nuo atstumo iki žymos kartu su eksperimentiniais duomenimis pagal 3.3 formulę



5.5 pav. Sumodeliuota RSSI priklausomybė nuo atstumo iki žymos kartu su eksperimentiniais duomenimis pagal 3.1 formulę

#### 5.2.4. Duomenų filtravimas

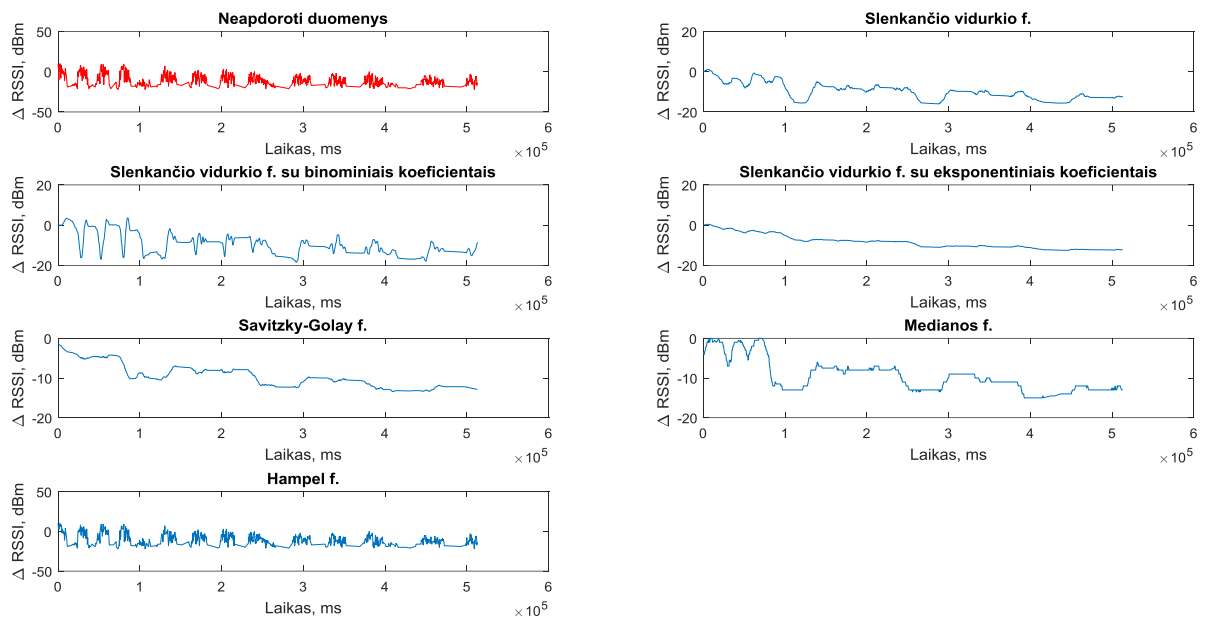
Buvo išanalizuotos galimybės pritaikyti skirtingus filtrus duomenims apdoroti. Išanalizuota 6 skirtingų, plačiai paplitusių filtrų tinkamumas:

- Slenkančio vidurkio filtras
- Slenkančio vidurkio filtras su binominio skirstinio svoriniais koeficientais.
- Slenkančio vidurkio filtras su eksponentiniais svoriniais koeficientais.
- Savitzky-Golay filtras.
- Medianos filtras.
- Hamper filtras.

Kiekvieno filtro parametrai buvo surasti eksperimentiniu būdu. Filtrų veikimo rezultatai su galutiniais parametrais pateikti 5.6 paveiksle. Geriausius rezultatus davė eksponentinis slenkančio vidurkio filtras. Savitzky-Golay filtras buvo jautresnis signalo sumažėjimui intervaluose, kai

žmogus buvo tarpe tarp žymos ir imtuvo. Paveiksle pavaizduotas laikas, susietas su atstumu tarp žymos ir imtuvo:

- 0 – 100s vieno metro atstumas
- 120-200s dviejų metrų atstumas.
- 200-270s trijų metrų atstumas.
- 300-400s keturių metrų atstumas.
- 450-500s penkių metrų atstumas.

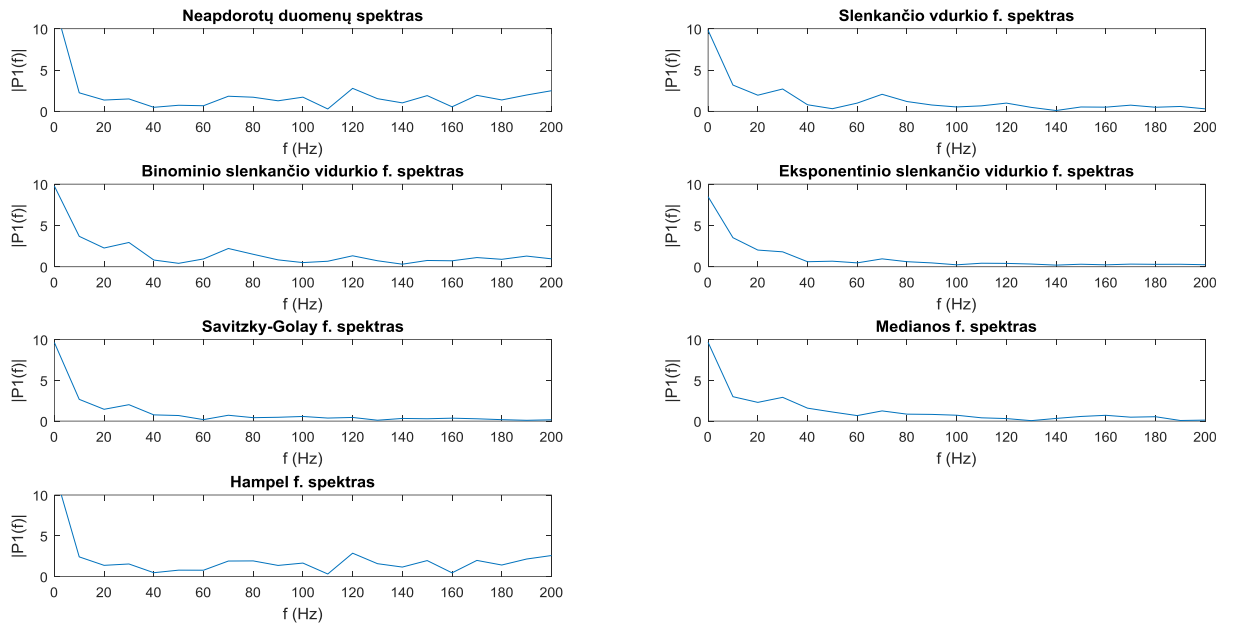


5.6 pav. Signalų, filtruoto skirtingais filtrais, palyginimas.

Tiriant filtrų poveikį buvo stebimos signalo spektrogramos, pateiktos 5.7 paveiksle. Eksponentinis slenkančio vidurkio filtras ir Savitzky-Golay filtras abu sėkmingai išfiltravo aukštesnių dažnių dedamąsias. Eksponentinis filtras šiek tiek geriau nufiltravo 30Hz dedamąją, kuri atsirado žmogui atsistojus tarp žymos ir imtuvo.

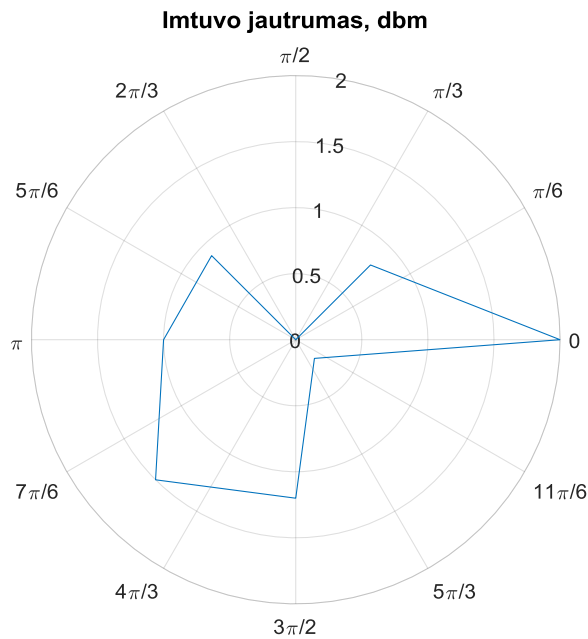
Pasirinktas eksponentinis filtras realizuojamas diskretinėje erdvėje pagal 5.2 formulę. Sudarytas filtras turi 30s vėlinimą, todėl yra tinkamas tik aplikacijose, kuriose nereikia didelės greitaiveikos.

$$Y(z) = \frac{0,01}{1 - 0,99 z^{-1}} * X(z) \quad (5.2)$$



5.7 pav. Signalų, filtruoto skirtingais filtrais, spektrų palyginimas.

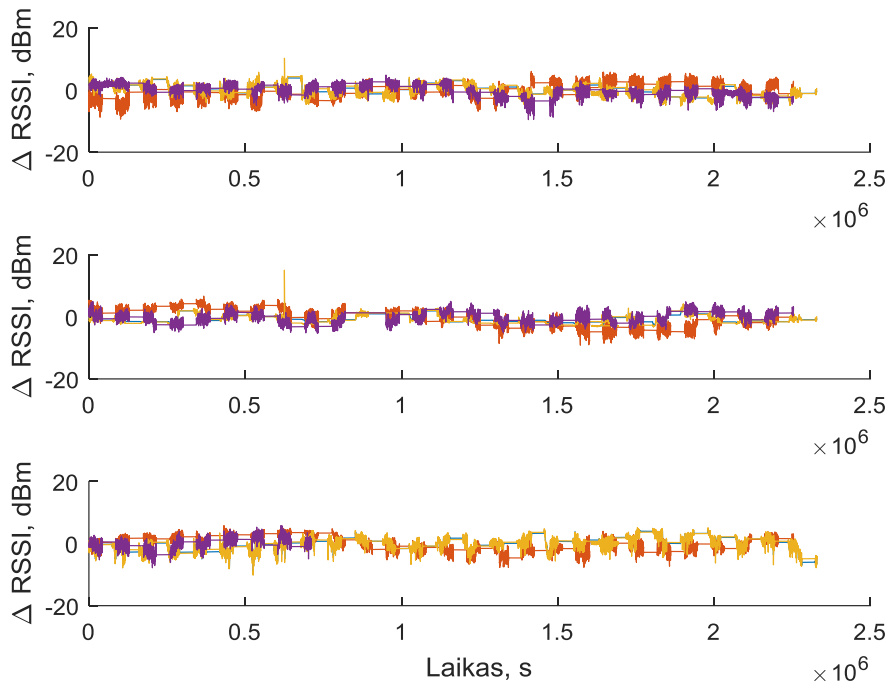
Eksperimentiškai buvo nustatyta imtuvo jautrumo priklausomybė nuo erdvinio kampo horizontalioje plokštumoje. Vertikali plokštuma netikrinta dėl techninių galimybių. Eksperimentas atliktas nutolus nuo imtuvo 5 m atstumu. Signalų lygis keitėsi iki 2 dBm priklausomai nuo erdvinio kampo (žr. 5.8 pav.).



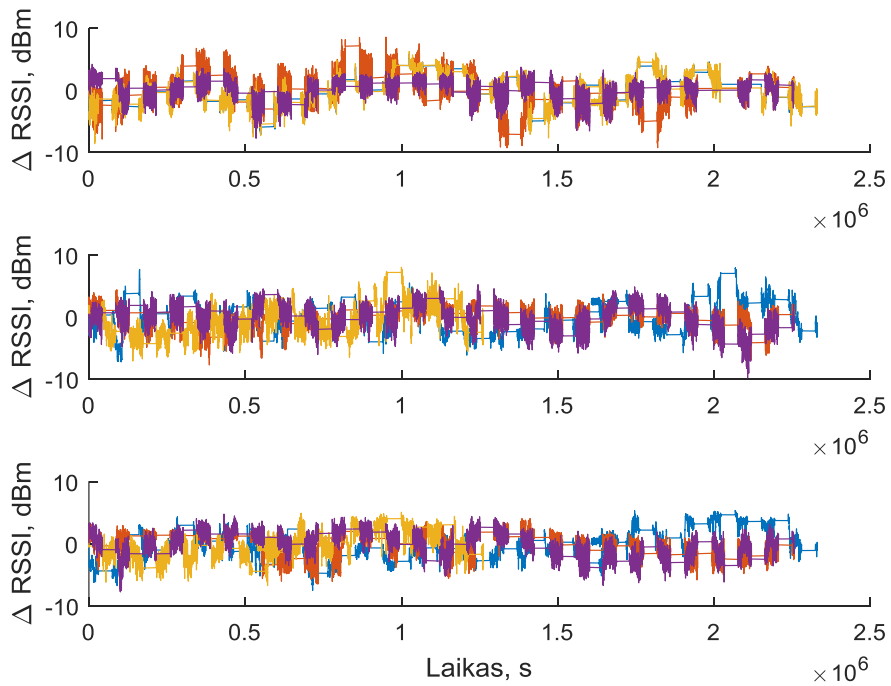
5.8 pav. Imtuvo jautrumo pasiskirstymas erdvėje.



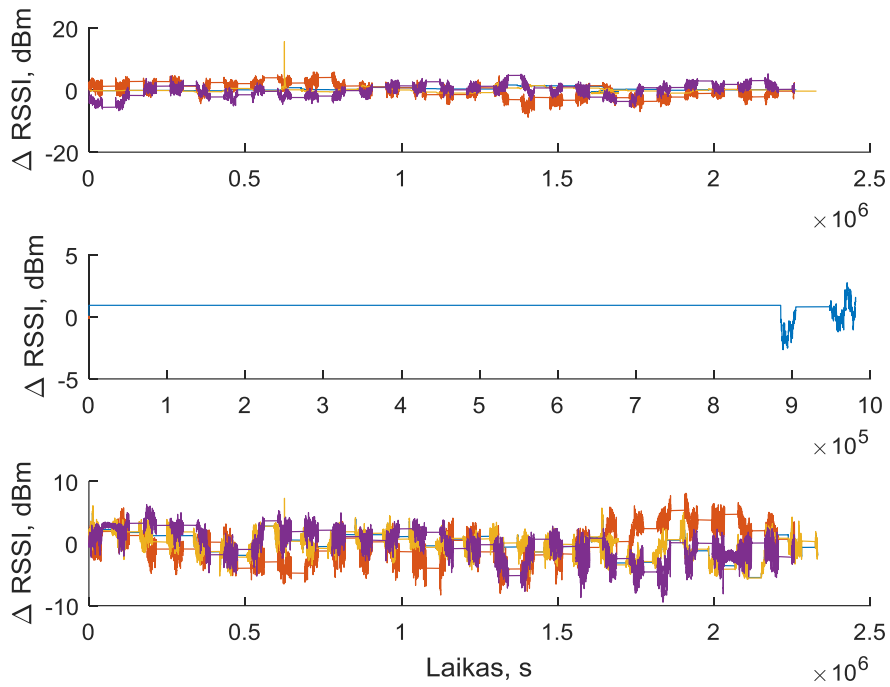




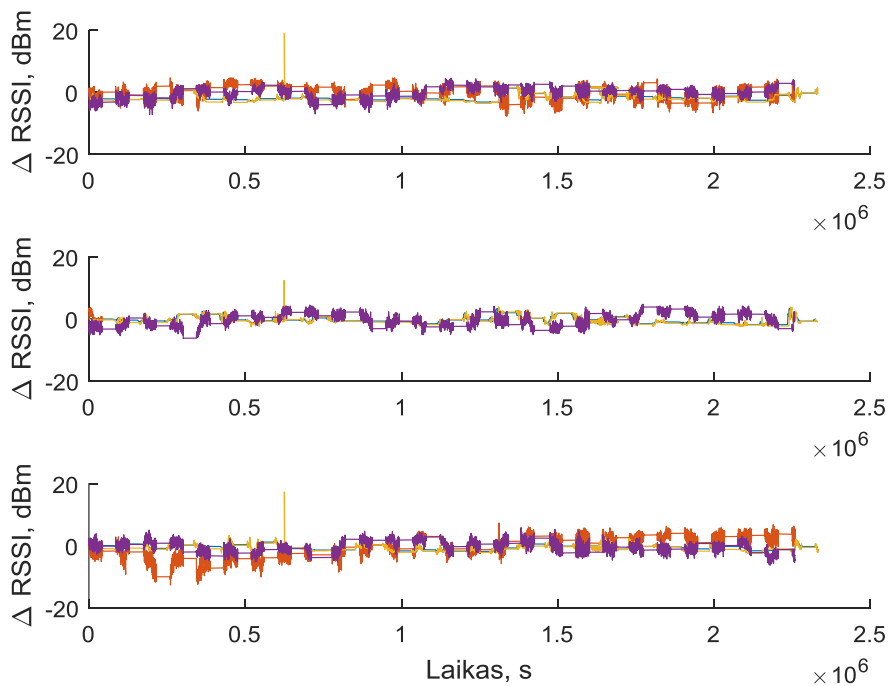
6.2pav. Ilgalaikio testo 1-3 įrenginio filtruoti duomenys.



6.3pav. Ilgalaikio testo 4-6 įrenginio filtruoti duomenys.



6.4pav. Ilgalaikio testo 7-9 įrenginio filtruoti duomenys.



6.5pav. Ilgalaikio testo 10-12 įrenginio filtruoti duomenys.

## 7. REZULTATAI IR IŠVADOS

1. Tyrimų metu nustatyta, kad standartinė programinė įranga, skirta komunikuoti su bluetooth moduliais, neturi galimybės perduoti informacijos, kuriuo kanalu buvo priimtas pranešimas. Neturint papildomos informacijos sunku kompensuoti skirtingų kanalų jautrumo įnešamą paklaidą.
2. Eksperimentiškai nustatyta, kad tyrime naudoto standartinio bluetooth modulio jautrumas erdvėje yra netolygus. Netolygus jautrumas lemia, kad žyma, nutolusi nuo imtuvo tuo pačiu atstumu, tačiau sudaranti kitokį erdvinį kampą su imtuvu, turės kitokį RSSI lygį.
3. Tyrimo metu nustatyta, kad standartiniai bluetooth moduliai neteikia informacijos apie vidinių stiprintuvų būseną. Dėl vidinių stiprintuvų būsenų automatinio persijungimo yra sunku atskirti žymas, nutolusias 2 ir 3m atstumu.
4. Ilgalaikis tyrimas parodė, kad komercinėse patalpose aplinkos charakteristikos keičiasi, todėl kuriant radijo lokacines sistemas yra būtina numatyti mechanizmą, leidžiantį tai kompensuoti. Tyrimo metu, signalo lygio nuokrypis siekė iki 10dBm.
5. Tyrimo metu nustatyta, kad pasiūlytas metodas yra netinkamas aplinkoje, kurioje pasireiškia stiprus parametrų nehomogeniškumas. Praktiniai tyrimai parodė, kad dvi žymos, nutolusios viena nuo kitos 1m atstumu, o nuo antenos nutolusios vienodu atstumu, gali turėti visiškai kitokias RSSI reikšmes.
6. Eksperimentais nustatyta, kad žymų, kurios nutolusios nuo imtuvo didesniu atstumu, RSSI reikšmė yra mažiau jautri lokaliems trikdžiams, pavyzdžiui, žmogaus įsiterpimui į signalo kelią. Atstumui tarp žymos ir imtuvo padidėjus nuo 1m iki 4m RSSI lygio išsibarstymas sumažėjo 11%.

## LITERATŪRA

1. Pablo López, David Fernández, Antonio J. Jara, Antonio F. Skarmeta Clinical Technology Lab (CLITech) Survey of Internet of Things technologies for clinical environments, 2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops.
2. J. M. Cabero, G. Unibaso, A. Sanchez and I. Arizaga, "The Bluetooth Medallion: a wearable device for human MANETs," *Wireless Pervasive Computing*, 2008. ISWPC 2008. 3rd International Symposium on, Santorini, 2008, pp. 776-780.
3. Y. H. Liu et al., "A 1.9nJ/b 2.4GHz multistandard (Bluetooth Low Energy/Zigbee/IEEE802.15.6) transceiver for personal/body-area networks," *Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers (ISSCC)*, 2013 IEEE International, San Francisco, CA, 2013, pp. 446-447.
4. D. Kelly, S. McLoone and R. Farrell, "Minimal hardware Bluetooth tracking for long-term at-home elder supervision," *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2010 Annual International Conference of the IEEE, Buenos Aires, 2010, pp. 2136-2140.
5. E. Akeila, Z. Salcic, A. Swain, A. Croft and J. Stott, "Bluetooth-based indoor positioning with fuzzy based dynamic calibration," *TENCON 2010 - 2010 IEEE Region 10 Conference*, Fukuoka, 2010, pp. 1415-1420.
6. Jia Liu, Canfeng Chen and Yan Ma, "Modeling and performance analysis of device discovery in Bluetooth Low Energy networks," *Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2012 IEEE, Anaheim, CA, 2012, pp. 1538-1543.
7. S. Kajioka, T. Mori, T. Uchiya, I. Takumi and H. Matsuo, "Experiment of indoor position presumption based on RSSI of Bluetooth LE beacon," *Consumer Electronics (GCCE)*, 2014 IEEE 3rd Global Conference on, Tokyo, 2014, pp. 337-339.
8. U. Bandara, M. Hasegawa, M. Inoue, H. Morikawa and T. Aoyama, "Design and implementation of a Bluetooth signal strength based location sensing system," *Radio and Wireless Conference*, 2004 IEEE, 2004, pp. 319-322.
9. A. P. Patil, D. J. Kim and L. M. Ni, "A study of frequency interference and indoor location sensing with 802.11b and Bluetooth technologies," *Symposium, 2005 Wireless Telecommunications*, 2005, pp. 174-183.
10. O. Cruz, E. Ramos and M. Ramírez, "3D indoor location and navigation system based on Bluetooth," *Electrical Communications and Computers (CONIELECOMP)*, 2011 21st International Conference on, San Andres Cholula, 2011, pp. 271-277.
11. H. Kikuchi and T. Yokomizo, "Location Privacy Vulnerable from Bluetooth Devices," 2013 16th International Conference on Network-Based Information Systems, Gwangju, 2013, pp. 534-538.
12. Z. Chen, H. Hu and J. Yu, "Privacy-Preserving Large-Scale Location Monitoring Using Bluetooth Low Energy," 2015 11th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN), Shenzhen, 2015, pp. 69-78.
13. R. Faragher and R. Harle, "Location Fingerprinting With Bluetooth Low Energy Beacons," in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 33, no. 11, pp. 2418-2428, Nov. 2015.
14. S. M. H. Sharhan and S. Zickau, "Indoor mapping for location-based policy tooling using Bluetooth Low Energy beacons," *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, 2015 IEEE 11th International Conference on, Abu Dhabi, 2015, pp. 28-36.

15. M. E. Rida, F. Liu, Y. Jadi, A. A. A. Algawhari and A. Askourih, "Indoor Location Position Based on Bluetooth Signal Strength," *Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, 2015 2nd International Conference on, Shanghai, 2015, pp. 769-773.
16. Y. Wang, Q. Ye, J. Cheng and L. Wang, "RSSI-Based Bluetooth Indoor Localization," 2015 11th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN), Shenzhen, 2015, pp. 165-171.
17. C. H. Huang, L. H. Lee, C. C. Ho, L. L. Wu and Z. H. Lai, "Real-Time RFID Indoor Positioning System Based on Kalman-Filter Drift Removal and Heron-Bilateration Location Estimation," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 64, no. 3, pp. 728-739, March 2015.
18. Abdelmoula Bekkali ; Waseda University ; Horacio Sanson ; Mitsuji Matsumoto RFID Indoor Positioning Based on Probabilistic RFID Map and Kalman Filtering, Third IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob 2007), 8-10 Oct. 2007, page 21.
19. Y. Zhao, Y. Liu and L. M. Ni, "VIRE: Active RFID-based Localization Using Virtual Reference Elimination," 2007 International Conference on Parallel Processing (ICPP 2007), Xi'an, 2007, pp. 56-56.
20. X. Jiang, Y. Liu and X. Wang, "An Enhanced Approach of Indoor Location Sensing Using Active RFID," *Information Engineering*, 2009. ICIE '09. WASE International Conference on, Taiyuan, Chanxi, 2009, pp. 169-172.
21. F. j. Zhu, Z. h. Wei, B. j. Hu, J. g. Chen and Z. m. Guo, "Analysis of Indoor Positioning Approaches Based on Active RFID," 2009 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Beijing, 2009, pp. 1-4.
22. Chunhan Lee et al., "Indoor positioning system based on incident angles of infrared emitters," *Industrial Electronics Society*, 2004. IECON 2004. 30th Annual Conference of IEEE, 2004, pp. 2218-2222 Vol. 3.
23. H. Yucel, R. Edizkan, T. Ozkir and A. Yazici, "Development of indoor positioning system with ultrasonic and infrared signals," *Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*, 2012 International Symposium on, Trabzon, 2012, pp. 1-4.
24. A. S. I. Noh, W. J. Lee and J. Y. Ye, "Comparison of the Mechanisms of the Zigbee's Indoor Localization Algorithm," *Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing*, 2008. SNPD '08. Ninth ACIS International Conference on, Phuket, 2008, pp. 13-18.
25. D. F. Larios, J. Barbancho, F. J. Molina and C. Leon, "Locating sensors with fuzzy logic algorithms," 2011 IEEE Workshop On Merging Fields Of Computational Intelligence And Sensor Technology, Paris, 2011, pp. 57-64.
26. P. Kristalina, Wirawan and G. Hendratoro, "Improved range-free localization methods for wireless sensor networks," *Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*, 2011 International Conference on, Bandung, 2011, pp. 1-6.
27. C. H. Cheng, W. J. Luo, Y. W. Lin and C. C. Sun, "Position location techniques in wireless sensor networks using reference node algorithm," 2013 IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE), Hsinchu, 2013, pp. 73-74.
28. Texas Instrument Application Report SWRA475A –January 2015 –Revised October 2016
29. Apple Getting Started with iBeacon Version 1.0
30. Google dokumentacija projektų vystytojams <https://github.com/google/eddystone> (2016-09-15)
31. National Communication Systems "Federal Standard 1037C", 1996 august 7.