



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Tomas Adomaitis

**OBJEKTO DISLOKACIJOS VIETOS NUSTATYMO
PANAUDOJANT GSM LOKACIJOS PRINCIPUS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. dr. Vytautas Markevičius

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

ELEKTRONIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

**OBJEKTO DISLOKACIJOS VIETOS NUSTATYMO
PANAUDOJANT GSM LOKACIJOS PRINCIPUS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Elektronikos inžinerija (kodas 621H61002)

Vadovas

Prof. dr. Vytautas Markevičius

Recenzentas

Doc. dr. Vytautas Knyva

Projektą atliko

Tomas Adomaitis

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Tomas Adomaitis

(Studento vardas, pavardė)

Elektronikos inžinerija (kodas 621H61002)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Objekto dislokacijos vietos nustatymo panaudojant

GSM lokacijos principus tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. _____ d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Tomo Adomaičio** baigiamasis projektas tema „Objekto dislokacijos vietos nustatymo panaudojant GSM lokacijos principus 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)

Adomaitis, Tomas. Objekto dislokacijos vietos nustatymo panaudojant GSM lokacijos principus tyrimas. Elektronikos inžinerijos magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Vytautas Markevičius; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektronikos inžinerijos katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: *pozicionavimas pagal GSM, korio identifikavimo numeris, signalo vėlinimo reikšmė, korio globalaus identifikavimo metodas, Monte Carlo metodas, tiesių susikirtimo metodas.*

Kaunas, 2017. 46 p.

SANTRAUKA

Darbo tikslas – ištirti objekto vietos nustatymo, naudojant GSM technologijos galimybes ir tikslumą.

Buvo apžvelgti vietos nustatymo metodai, panaudojant GSM technologiją, ir iš penkių metodų pasirinktas korio globalaus identifikavimo metodas. Metodo esmė, kad GSM ryšio stotys siunčia savo identifikavimo numerį (CID) ir signalo vėlinimo reikšmę (TA). Pagal identifikavimo numerį duomenų bazėje, galime nustatyti GSM ryšio stoties koordinatas, o pagal signalo vėlinimo reikšmę – objekto nuotolį nuo stoties. Todėl žinant šiuos duomenis galima nustatyti objekto buvimo vietą.

Atliktas tyrimas, kurio tikslas nuskaityti realius GSM stočių siunčiamus duomenis: identifikavimo numerius ir signalų vėlinimo reikšmes. Kadangi tyrimo vietos koordinatės žinomos, todėl buvo apskaičiuotas atstumas tarp objekto ir ryšio stoties. Pastebėta, kad signalo vėlinimo reikšmė ne visada atitinka realų objekto nuotolį nuo GSM ryšio stoties. Taip pat, naudota įranga turi savo vietos nustatymo algoritmą, pagal GSM technologiją. Naudojant šią įrangos funkciją, buvo nuskaitytos tyrimo vietos koordinatės.

Parašytos programos, naudojant tris skirtingus vietos nustatymo algoritmus: tiesių susikirtimo, Monte Carlo, tikros masės centro. Tyrimo metu gauti realūs duomenys buvo panaudoti modeliavime. Kadangi tyrimo vietų koordinatės žinomos, todėl buvo apskaičiuoti gautų koordinatėlių nuokrypiai nuo realių koordinatėlių.

Sudarytos trys nuokrypių imtys, kurios buvo statistiškai palygintos. Nustatyta, kad aprašyti algoritmai, didesnių nei 95 proc. atvejų, yra tikslesni nei gamintojo pateiktas algoritmas. Monte Carlo metodu paremtas algoritmas buvo tiksliausias. Tačiau lyginant su kitais metodais, jis neperžengė 0,05 reikšmingumo lygio. Todėl objekto vietos nustatymui, pagal GSM technologiją, rekomenduojama toliau tobulinti Monte Carlo metodo algoritmą.

Adomaitis, Tomas. Research of Object Deployment Detection Using GSM Location Principles: Final project of electronics engineering master's degree / supervisor prof. Vytautas Markevičius. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of electronic engineering

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences

Key words: *positioning by GSM, cell identification, timing advance, cell global identification method, Monte Carlo method, crossing lines method.*

Kaunas, 2017. 46 p.

SUMMARY

Purpose of the project – to research object positioning possibilities and accuracy by the GSM technology.

Analyzed five localization using GSM technology methods and was selected cell global identification (CGI) method. Method principle is that GSM radio stations are sending cell identification number and timing advance value. In database, it is possible to determinate GSM radio station's coordinates from cell identification number, while distance from object to station calculating out of timing advance value. Knowing this data object location could be found.

Research, which aim to get real cell identification and timing advance values from GSM stations transmitted data, was completed. Since the coordinates of research are known, therefore distance between the object and station was calculated. It was noticed, that a timing advance value is not always relative to real distance from the object to GSM radio station. Also, used equipment has its own positioning algorithm by the GSM technology. Using this equipment function the research coordinates has been obtained.

Programs were written, using three different positioning algorithms: crossing lines, Monte Carlo, real center of mass. In research obtained real data were used in simulations. Since the coordinates of research are known, so coordinates deviation calculated from the actual position coordinates.

Composed three data samples was statistically compared. It was found that the described algorithms in more than 95 percent cases is more accurate than the equipment algorithm. The most accurate algorithm was based on the Monte Carlo method. However, compared with other methods are under 0.05 significance level. Therefore, for object localization using the GSM technology, it is recommended to further improve the algorithm of Monte Carlo method.

TURINYS

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS	7
ĮVADAS.....	9
1. LITERATŪROS IR UŽDUOTIES ANALIZĖ.....	10
1.1. Vietos nustatymas panaudojant GSM technologiją	10
1.1.1. Priimto signalo atvykimo kampo metodas	10
1.1.2. Priimto signalo laiko metodas	11
1.1.3. Priimto signalo laiko skirtumo metodas	11
1.1.4. Priimto signalo stiprumo metodas	12
1.1.5. Korio (celės) globalaus identifikavimo metodas.....	13
1.1.6. GSM metodų apibendrinimas.....	14
1.2. GSM ryšio stočių duomenų bazės.....	15
1.2.1. GSM ryšio operatoriaus UAB „Telia“ stočių duomenų bazė.....	16
1.2.2. GSM ryšio operatoriaus UAB „Bitė Lietuva“ stočių duomenų bazė.....	16
1.2.3. GSM ryšio operatoriaus UAB „Tele2“ stočių duomenų bazė.....	16
1.2.4. Atviros prieigos Opencellid.org GSM ryšio stočių duomenų bazė.....	16
1.2.5. GSM ryšio stočių duomenų bazių apibendrinimas.....	19
2. TYRIMO METODIKA	21
2.1. Tyrimo schema ir naudota įranga.....	21
2.2. Tyrimo sąlygos	22
2.3. GSM gaunamų duomenų nuskaitymo tyrimo eiga.....	23
2.4. Tyrimo rezultatai	24
2.4.1. Priemiesčio vietovės bandymų rezultatai	24
2.4.2. Didmiesčio vietovės bandymų rezultatai	25
2.4.3. Miestelio vietovės bandymų rezultatai	27
2.4.4. Kaimo vietovės bandymo rezultatai	28
2.4.5. Automagistralės vietovės bandymo rezultatai.....	30

2.5. Tyrimo rezultatų apibendrinimas	31
2.5.1. Bandymų metu Quectel algoritmu nustatytos koordinatės.....	31
3. MODELIAVIMAS.....	33
3.1. Modeliavimo sąlygos	33
3.2. Tiesių susikirtimo metodas.....	34
3.3. Monte Carlo metodas	35
3.4. Tikros masės centro metodas	38
3.5. Modeliavimo rezultatai	39
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI.....	43
INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS	44
PRIEDAI.....	47
Priedas 1. Matlab programa opencellid.org duomenų bazės analizei	47
Priedas 2. Atstumo tarp koordinatinių funkcija	48
Priedas 3. Vertimą iš x ir y į ilgumą ir platumą realizuojanti funkcija	48
Priedas 4. AT komandų atsakymų tekstinis failas.....	49
Priedas 5. Quectel M95 komanda nustatytos vietos nuokrypiai.....	50
Priedas 6. Tiesių susikirtimo metodo programa	52
Priedas 7. Monte Carlo metodo programa.....	53
Priedas 8. Tikros masės centro metodo programa.....	55
Priedas 9. Segmento funkcija	56
Priedas 10. HTML programos kodas pavyzdžių atvaizdavimui	57
Priedas 11. Bandymų metų sudarytos nuokrypių imtys	59

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

2G	Antros kartos belaidė telefono ryšio technologija (angl. <i>Second-Generation wireless telephone technology</i>)
AOA	Atvykimo kampas (angl. <i>Angle Of Arrival</i>)
AT	Telefoninių įtaisų komandos (angl. <i>AT(tention) commands</i>)
BTS	Ryšio stotis (angl. <i>Base Tower Station</i>)
CGI	Korio (celės) globalus identifikavimas (angl. <i>Cell Global Identity</i>)
CID	Korio (celės) identifikatorius (angl. <i>Cell Identifier</i>)
GNSS	Globalios palydovinės navigacijos sistema (angl. <i>Global Navigation Satellite System</i>)
GPS	Globali padėties nustatymo sistema (angl. <i>Global Positioning System</i>)
GPRS	Bendras paketinis radijo ryšys (angl. <i>General Packet Radio Service</i>)
GSM	Globalus mobilių telefonų ryšio standartas (angl. <i>Global System for Mobile Communications</i>)
IoT	Daiktų internetas (angl. <i>Internet of Things</i>)
LAC	Vietinio ploto (zonos) kodas (angl. <i>Local Area Code</i>)
LTE	Ketvirtos kartos didelio greičio mobilaus ryšio standartas (angl. <i>Long-Term Evolution</i>)
MCC	Mobilus šalies kodas (angl. <i>Mobile Country Code</i>)
MNC	Mobilus tinklo kodas (angl. <i>Mobile Network Code</i>)
MS	Mobili stotis (angl. <i>Mobile Station</i>)
PC	Asmeninis kompiuteris (angl. <i>Personal Computer</i>)
RSS	Priimto signalo stiprumas (angl. <i>Received Signal Strength</i>)

SIM	Abonto identifikavimo modulis (angl. <i>Subscriber Identity Module</i>)
SMS	Trumpoji žinutė (angl. <i>Short Message Service</i>)
TA	Signalų vėlinimo reikšmė (angl. <i>Timing Advance value</i>)
TCP/IP	Standartinis duomenų perdavimo protokolų rinkinys (angl. <i>Transmission control protocol/Internet Protocol</i>)
TDOA	Atvykimo laiko skirtumas (angl. <i>Time Difference Of Arrival</i>)
TOA	Atvykimo laikas (angl. <i>Time Of Arrival</i>)
UART	Universalus asinchroninis imtuvas/siųstuvas (angl. <i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>)
UMTS	Universali Mobilios Telekomunikacijos sistema (angl. <i>Universal Mobile Telecommunications System</i>)
USB	Universalioji jungtis naudojama kompiuteriuose (angl. <i>Universal Serial Bus</i>)

ĮVADAS

Šiais laikais navigacijos arba pozicionavimo uždaviniai dažniausiai sprendžiami globalios palydovinės navigacijos sistemos (GNSS) pagalba. Viena iš tokių sistemų yra GPS, kuri yra sutinkama kasdieniniame gyvenime: GPS navigacija automobiliuose, GPS moduliai telefonuose ir taip toliau. Tačiau, GPS ar kitomis GNSS ne visada galime pasinaudoti, dėl per silpno signalo arba pastatų viduje. Tada iškyla problema, kokią technologiją panaudoti vietoje GPS.

Šiame projekte bus apžvelgiamos įtaiso GSM belaidžio ryšio pozicionavimo technologijos pritaikymas. Dažnai siekiama, kad prietaisas užimtų mažiau vietos, kad vartotų mažiau energijos ir tarnautų ilgiau be papildomo pakrovimo. Kita vertus daugėja daiktų interneto arba IoT (angl. *Internet of Things*) įtaisų, kurie turi bent jau 2G (GSM) technologijos prieigą prie interneto. Todėl, norint nustatyti IoT įtaiso buvimo vietą, galima išvengti GPS, nes vietos nustatymas yra realizuojamas GSM technologijos pagalba. Taip yra sumažinamas įtaiso energijos suvartojimas bei užimama vieta.

Nors šiame darbe yra akcentuojamos GSM belaidžio ryšio pozicionavimo technologijos, tačiau šias technologijas nesunkiai galima pritaikyti trečios (3G arba UMTS) ir ketvirtos (4G arba LTE) kartos belaidžio ryšio technologijoms [1].

Darbo objektas – objekto vietos nustatymas, naudojant GSM technologiją.

Darbo tikslas – ištirti objekto dislokacijos vietos nustatymo, naudojant GSM technologijos galimybes ir tikslumą. Vietos nustatymo algoritmų tyrimas ir parinkimas.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti objekto vietos nustatymo, panaudojant GSM technologiją, šaltinių analizę.
2. Apžvelgti GSM ryšio stočių duomenų bazių savybes, duomenų patikimumą ir paklaidas.
3. Panaudojant iš GSM ryšių celių gaunamus duomenis, ištirti jų patikimumą ir panaudojimo objekto vietos nustatymui galimybes.
4. Sukurti vietos nustatymo metodikas, kurios bus modeliuojamos, panaudojant realius GSM ryšio duomenis.
5. Su turimu GSM vietos nustatymo algoritmu ištirti sukurtų metodikų paklaidas bei įvertinti, kuris metodas yra tikslesnis.

1. LITERATŪROS IR UŽDUOTIES ANALIZĖ

1.1. Vietos nustatymas panaudojant GSM technologiją

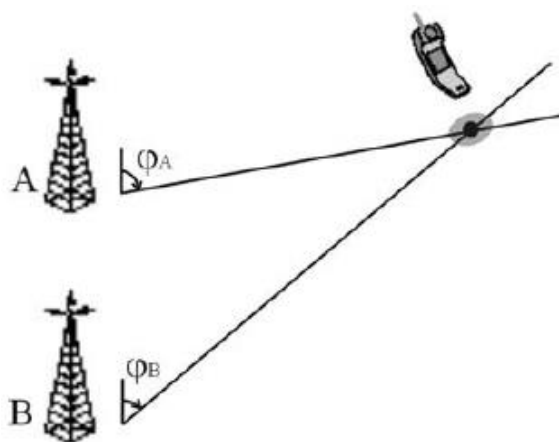
GSM yra antros kartos belaidės telefono ryšio technologijos (2G) skaitmeninio korinio tinklo standartas. Šis standartas yra naudojamas mobiliuose telefonuose, kaip numatytasis globalios mobiliosios komunikacijos standartas [2].

Pagal [3],[4],[5],[6] ir [7] šaltinius, nustatyti objekto arba mobilios stoties (angl. *Mobile Station* – MS) padėtį GSM ryšio stočių (angl. *Base Tower Station* – BTS) atžvilgiu, naudojami penki pagrindiniai GSM technologijos vietos nustatymo metodai:

- 1) priimamo signalo atvykimo kampo (žr. 1.1.1 poskyrį);
- 2) priimto signalo laiko (žr. 1.1.2 poskyrį);
- 3) priimto signalo laiko skirtumo (žr. 1.1.3 poskyrį);
- 4) priimto signalo stiprumo (žr. 1.1.4 poskyrį);
- 5) korio (celės) globalaus identifikavimo (žr. 1.1.5 poskyrį).

1.1.1. Priimto signalo atvykimo kampo metodas

Priimamo signalo atvykimo kampo (angl. *Angle Of Arrival* – AOA) metodui modifikuojamos BTS antenos, kad galėtų nustatyti MS sklaidžiamo signalo kampą. Ant žemės esančiam objektui nustatyti užtenka dviejų ryšio stočių. Tačiau dažniau yra naudojamos trys ryšio stotys (žr. 1.1 pav.), tada, pasinaudojant trianguliacijos algoritmu, galima nustatyti MS padėties koordinatę.

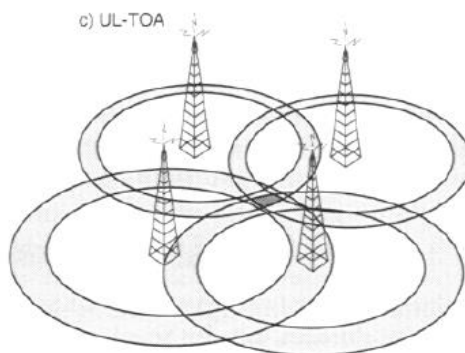


1.1 pav. AOA metodo atvaizdavimas [3]

Šio metodo trūkumas, kad GSM ryšio stotys turi būti su modifikuota įranga arba tiksliau, modifikuotomis antenomis, kurios galėtų nustatyti mobilios stoties (MS) siunčiamo signalo kampą [4].

1.1.2. Priimto signalo laiko metodas

Priimto signalo laiko (angl. *Time Of Arrival* – TOA) metodu apskaičiuojamas į skirtingas ryšio stotis priimamas objekto signalo laikas. Pagal laiką nustatomas atstumas nuo BTS iki MS. Žinant atstumą tarp 3 ryšio stočių ir objekto, pasitelkiant trilateracijos algoritmą, nustatomas MS padėties koordinatės. Trilateracijos metu iš BTS brėžiami apskritimai, kurių spindulys yra atstumas tarp ryšio stoties ir MS. Ten, kur susikerta apskritimai, yra MS. Kadangi BTS koordinatės yra žinomos iš duomenų bazės, todėl MS koordinatės galima apskaičiuoti (žr. 1.2 pav.).

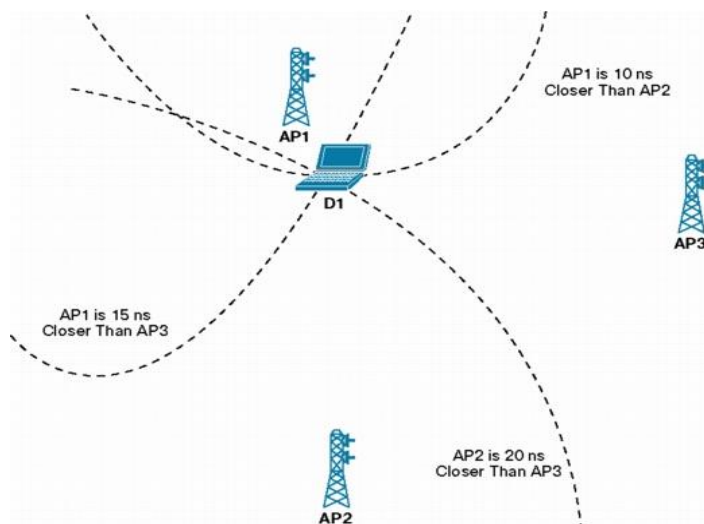


1.2 pav. TOA metodo atvaizdavimas [5]

Šio metodo trūkumas, kad MS turėtų labai tikslų laikrodį, todėl reikia modifikuoti MS stoties įrangą. Tačiau tada įtaisas naudos daugiau energijos [4].

1.1.3. Priimto signalo laiko skirtumo metodas

Priimto signalo laiko skirtumo (angl. *Time Difference Of Arrival* – TDOA) metodas yra panašus į TOA metodą, tačiau ryšio stotys apskaičiuoja laiko skirtumą tarp MS siunčiamo signalo į skirtingas BTS. Todėl gaunami ne apskritimų (žr. 1.2 pav.), o hiperbolių susikirtimai (žr. 1.3 pav.). Taške kur susikerta visos hiperbolės yra MS padėtis, kurios koordinatę galima apskaičiuoti multilateracijos [8] algoritmu.

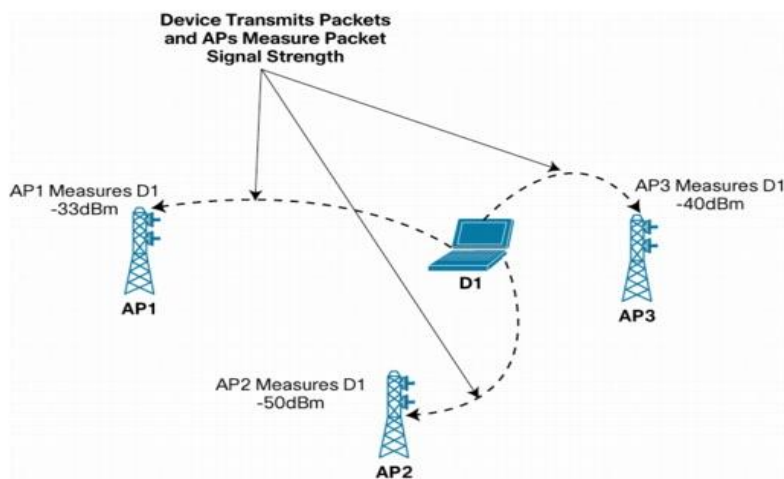


1.3 pav. TDOA metodo atvaizdavimas [9]

Šio metodo trūkumas, kad laikas tarp stočių turi būti sinchronizuotas ir labai tikslus. Taip pat reikalinga informaciją iš stoties pusės [18].

1.1.4. Priimto signalo stiprumo metodas

Priimto signalo stiprumo (angl. *Received Signal Strength* – RSS) metodas paremtas tuo, kad signalo stiprumas mažėja didėjant atstumui tarp BTS ir MS (žr. 1.4 pav.). Todėl, pagal signalo stiprumą galima apskaičiuoti atstumą tarp jų ir, naudojant trilateracijos algoritmą, rasti koordinatę, kurioje yra MS.

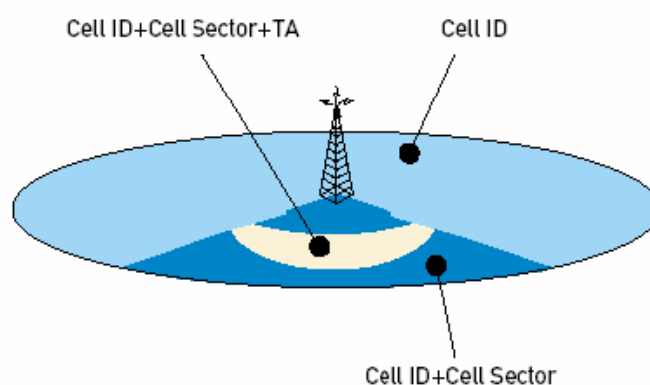


1.4 pav. RSS metodo atvaizdavimas [9]

Šio metodo trūkumas, kad tikslumas yra labai mažas dėl besikeičiančių aplinkos sąlygų – oro, objektų signalo kelyje, jų paviršiaus netolygumų ir t. t. [35]. Šių trūkumų šalinimui naudojamas RSS pėdsako (angl. *Footprint*) metodas, kurio esmė surinkti GSM signalo stiprumo reikšmes dominančiame plote ir pagal tai sudarius duomenų bazę spręsti apie objekto padėtį [36]. Tačiau šiuo atveju dominantis plotas yra per didelis, todėl metodo taikyti negalima.

1.1.5. Korio (celės) globalaus identifikavimo metodas

GSM technologijos korio globalaus identifikavimo (angl. *Cell Global Identity* – CGI) metodas remiasi mobiliam stočiui teikiama ryšio stoties (BTS) duomenimis kaip: vietinio ploto (zonos) kodas (angl. *Local Area Code* – LAC), mobilus šalies kodas (angl. *Mobile Country Code* – MCC), mobilus tinklo kodas (angl. *Mobile Network Code* – MNC), korio identifikatorius (angl. *Cell Identifier* – CID), korio sektorius ir signalo vėlinimo reikšmė (angl. *Timing Advance value* – TA) [10] (žr. 1.5 pav.). Taip pat šiam metodui patikslinti gali būti naudojamas ir priimto signalo stiprumas (angl. *Received Signal Strength* – RSS) [11].



1.5 pav. CGI metodo atvaizdavimas [3]

Pagrindiniai parametrai yra: korio identifikatorius (CID) ir signalo vėlinimo reikšmė (TA). Korio identifikatorius (CID) yra sudarytas iš keturių šešioliktainių skaitmenų. Pagal pirmuosius tris skaitmenis galima identifikuoti GSM ryšio stotį, o ketvirtas skaitmuo naudojamas nustatyti antenos pasukimo azimuto kampą bei ryšio tipą (galimas ne tik GSM bet ir UMTS[12]) ir dažnio juostą (GSM ryšio standartas turi dvi dažnio juostas 900 MHz ir 1800 MHz). Signalo vėlinimo reikšmė yra sveikas skaičius, kuris gali kisti nuo 0 iki 63 [13]. Šios reikšmės pagrindinė atliekama funkcija yra valdyti, kada mobili stotis gali siųsti duomenis į BTS, kad išvengtų duomenų persidengimo tarp vartotojų [14]. Taip pat parametras TA yra tiesiogiai susijęs su atstumu tarp MS ir BTS [15]. Šis ryšis aprašomas formulėje (žr. (1) formulę).

$$D = \frac{1}{2} \cdot c \cdot TA \cdot T \approx 550 \cdot TA \quad (1)$$

Čia: D – atstumas (metrais) tarp BTS ir MS; c – šviesos greitis (apytiksliai 300 000 000 m/s); T – vieno bito periodas (apytiksliai 3,7 μs); o $\frac{1}{2}$ nes signalas padaro pilną ratą (MS-BTS-MS).

Iš formulės (žr. (1) formulę) matyti, kad vieno TA atstumas yra apytiksliai 550 m, o maksimalus GSM ryšio atstumas yra 35 km. Taip pat verta atkreipti dėmesį į tai, kad jei TA yra lygu 0, tai MS vieta nutolusi nuo BTS yra tarp 0 m ir 550 m, jei TA yra 1, tai riba yra 550 m ir 1100 m ir taip toliau [14].

Pagal šiuos parametrus pasinaudojant BTS duomenų bazę yra randamas plotas (žr. 1.5 pav. Cell ID + Cell Sector + TA), kuriame yra objektas.

CGI metodo trūkumai:

- signalo vėlinimo reikšmė gaunama tik siunčiant duomenis;
- tikslumas priklauso nuo korio dydžio. Objektui, esant kaimo vietovėje, tikslumas ženkliai sumažėja, nes ryšio stočių statoma mažiau ir jos yra didesnio galingumo, dėl to gaunamas korio plotas yra didesnis nei miesto vietovėje. Šis trūkumas šalinamas naudojant daugiau ryšio stočių [4], [16] ir [17].

1.1.6. GSM metodų apibendrinimas

Kadangi tyrimui bus naudojamosi GSM operatorių ryšio stotimis, todėl jų įrangos ar programos modifikuoti negalima. Pritaikyti projektą prie tinkamo metodo galima tik modifikuojant įtaisą. Todėl AOA, TOA ir TDOA metodai negalimi. AOA metodui reikia modifikuoti ryšių stočių (BTS) įrangą arba tiksliau antenas, kad jos galėtų nustatyti MS siunčiamo signalo kampą. TOA metodui reikia, kad MS turėtų labai tikslų laikrodį, todėl reikia modifikuoti MS stoties įrangą, tačiau tada įtaisas naudos daugiau energijos [4]. Priimto signalo laiko skirtumo (TDOA) metodas negalimas, nes šiam metodui reikia, kad BTS turėtų labai tikslų laikrodį [18]. RSS metodu gauti duomenys per daug priklauso nuo aplinkos poveikio, pasikeitus bent vienam iš faktorių, pavyzdžiui, oro temperatūrai, tikslumas galėtų labai stipriai skirtis. RSS metodui dažnai taikoma signalo stiprumo duomenų bazės technika, kai žinomas signalo stiprumas kiekviename stebėjimo ploto taške ir kai lyginami duomenys. Tiesiog užtenka palyginti signalo stiprumą su duomenų bazėje esančia verte. Tačiau signalo stiprumo duomenų bazės technika atmeta prietaiso universalumą, tai yra įtaisas rodytų neteisingą buvimo vietą, taip pat dideliame plote kiekviename taške išmatuoti signalo stiprumą užtruktų labai daug laiko.

Dėl visų aukščiau išvardintų vietos nustatymo, panaudojant GSM technologiją, metodų trūkumų pasirinktas CGI metodas. Korio (celės) globalaus identifikavimo metodas prieš kitus metodus pasižymi šiais privalumais:

- 1) nereikia modifikuoti, nei mobilios stoties, nei ryšio stoties įrangos;
- 2) užtenka parengti mobilios stoties programą;
- 3) universalumas, t.y. neprisirišama prie jokių išskirtinių ryšio stočių;
- 4) keičiantis aplinkos sąlygomis tikslumas keičiasi neženkliai;
- 5) maža realizavimo kaina.

Tačiau šis metodas turi nemažai trūkumų:

- 1) signalo vėlinimo reikšmė gaunama tik siunčiant duomenis;

- 2) mažas tikslumas, kuris priklauso nuo korio (celės) dydžio. Kuo korio plotas didesnis, tuo tikslumas mažesnis.

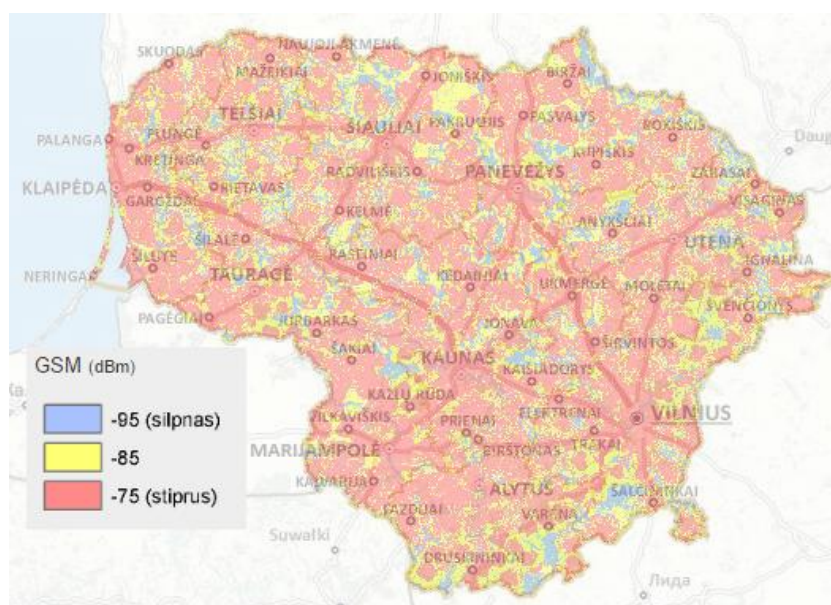
1.2. GSM ryšio stočių duomenų bazės

Visi išvardinti vietos nustatymo metodai (žr. 1.1 skyrių) naudoja atraminius taškus, arba GSM ryšio stotis. Todėl mobilios stoties vietos nustatymui reikia turėti tikslią GSM ryšio stoties padėties koordinačių duomenų bazę. Operatoriai įprastai nesuteikia šių duomenų bazių atvirai prieigai, tačiau šiame tyrime duomenų bazės yra gautos iš operatorių.

Lietuvos teritorijoje yra trys komercinio GSM tinklo operatoriai: UAB „Bitė Lietuva“, UAB „Telia“ ir UAB „Tele2“. Operatoriai turi daug ryšio stočių, bei dar daugiau aktyvių celių (žr. 1.1 lentelę), kurios išdėstytos taip, kad aprėptų visą Lietuvos teritoriją (pvz. „Bitė Lietuva“ žr. 1.6 pav.).

1.1 lentelė. Lietuvos operatorių GSM ryšio stočių ir korių (arba celių) skaičiai [19]

	TELIA	BITĖ LIETUVA	TELE2
Aktyvių celių skaičius	2973	2767	3116
Stočių skaičius	1129	981	1125



1.6 pav. GSM operatoriaus „Bitė Lietuva“ tinklo aprėptis [20]

Kiekvienas komercinis GSM ryšio operatorius pateikė stočių duomenų bases. Trumpa šių duomenų bazių apžvalga pateikiama 1.2.2, 1.2.1 ir 1.2.3 poskyriuose. Taip pat analizuota nemokama atviros prieigos GSM ryšio stočių *Opencellid.org* duomenų bazė [21], kuri pateikia visų operatorių ryšio stočių koordinatas.

1.2.1. GSM ryšio operatoriaus UAB „Telia“ stočių duomenų bazė

UAB „Telia“ operatoriaus GSM ryšio stočių duomenų bazėje pateiktas tik dalinis CID skaičius, kadangi pilnai CID yra sudarytas iš keturių šešioliktainių skaitmenų (žr. 1.1.5 poskyrį), o duomenų bazėje pateikiamas tik trijų skaitmenų šešioliktainis skaičius. Tačiau, pagal pirmus tris skaitmenis galima nustatyti GSM ryšio stotį ir jį susieti su koordinate, esančia duomenų bazėje. Kita vertus, taip prarandamas tikslumas, nes negalima nustatyti kampo, kur nukreipta antena.

1.2.2. GSM ryšio operatoriaus UAB „Bitė Lietuva“ stočių duomenų bazė

UAB „Bitė Lietuva“ operatoriaus stočių duomenų bazėje pateiktas pilnas CID identifikatorius, tai yra pateikiami ne tik pirmi trys skaitmenys, reiškiantys CID kaip operatoriaus UAB „Telia“, bet ir ketvirtas šešioliktainis skaitmuo, kuris reiškia stoties antenos pasukimą azimuto kampu (pvz. 120°).

1.2.3. GSM ryšio operatoriaus UAB „Tele2“ stočių duomenų bazė

Vietos nustatymo prasme ryšio operatoriaus UAB „Tele2“ stočių duomenų bazė yra informatyviausia, nes pateikia pilną CID identifikatorių, kuris prideda papildomos informacijos kaip stoties antenos pasukimą azimuto kampu (pvz. 120°) bei ryšio tipą ir dažnį (pvz. GSM_900). Taip pat šioje duomenų bazėje yra pateikiamas ryšio stoties adresas ir miestas (ar rajonas) kuriame ši stotis yra.

1.2.4. Atviros prieigos Opencellid.org GSM ryšio stočių duomenų bazė

Atviros prieigos duomenų bazę sudaro GSM ryšio stočių pavadinimai (CID) ir koordinatės, tačiau šios koordinatės yra apskaičiuotos iš gausybės matavimų atliktų išmaniuoju telefonu, pagal *Opencellid.org* skaičiavimo algoritmą [21].

Šiame poskyryje lyginamos operatorių duomenų bazės su atviros prieigos duomenų baze. Turimas operatorių duomenų bazes skaitome kaip realią GSM ryšio stoties buvimo vietą. Atviros prieigos duomenų bazę laikome kaip apskaičiuotą vietą. Atviros prieigos duomenų bazės tikslumas vertinamas apskaičiuojant nuokrypio atstumą nuo realios GSM ryšio stoties koordinatė (pateiktos operatorių) iki atviros prieigos (apskaičiuotos) duomenų bazės atitinkamų koordinatė, kurių CID reikšmės sutampa.

Kad būtų gaunama tiksli nuokrypio reikšmė, reikia apskaičiuoti trumpiausią atstumą tarp koordinatė. Šį atstumą apskaičiuoti naudojama Pitagoro teorema lygiakampių projekcijai (angl. *Pythagoras' theorem can be used on an equirectangular projection*) [22]. Šios teoremos realizacija skaičiuojant atstumą tarp taškų A ir B formulėmis (žr. (2), (3) ir (4) formules):

$$x = (LonB + LonA) \times \cos\left(\frac{LatA + LatB}{2}\right) \quad (2)$$

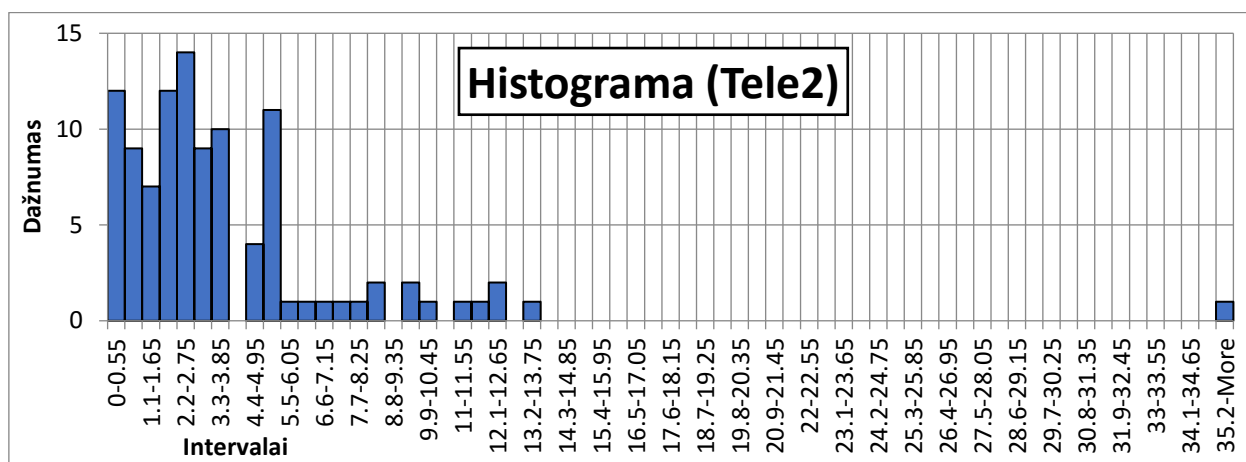
$$y = (LatB - LatA) \quad (3)$$

$$d = \sqrt{x^2 + y^2} \times R \quad (4)$$

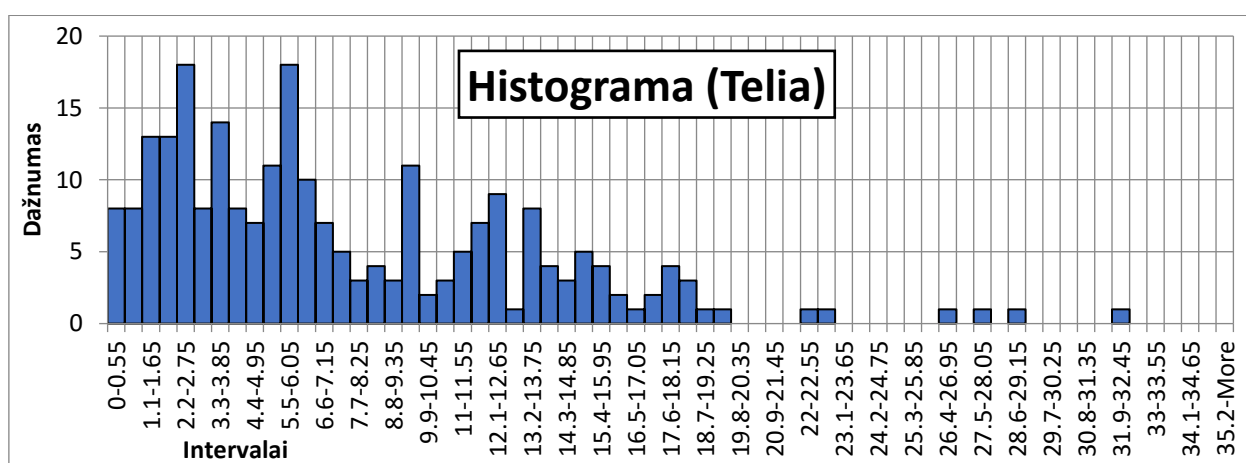
Čia: $LonA$ ir $LonB$ – A ir B taškų koordinacių ilguma radianais; $LatA$ ir $LatB$ – A ir B taškų koordinacių platuma radianais; d – atstumas tarp koordinacių A ir B taškų kilometrais; R – žemės spindulys (6371) kilometrais.

Matlab paketu buvo suprogramuota programa (žr. Priedas 1 ir Priedas 2), kuri kiekvieną *Opencellid.org* duomenų bazės „Telia“, „Tele2“ ir „Bitė“ tinklo narį palygina su operatorių pateiktomis duomenų bazėmis ir radus atitikimą apskaičiuoja atstumą tarp koordinacių, pabaigus rezultatus įrašo į *Excel* failą.

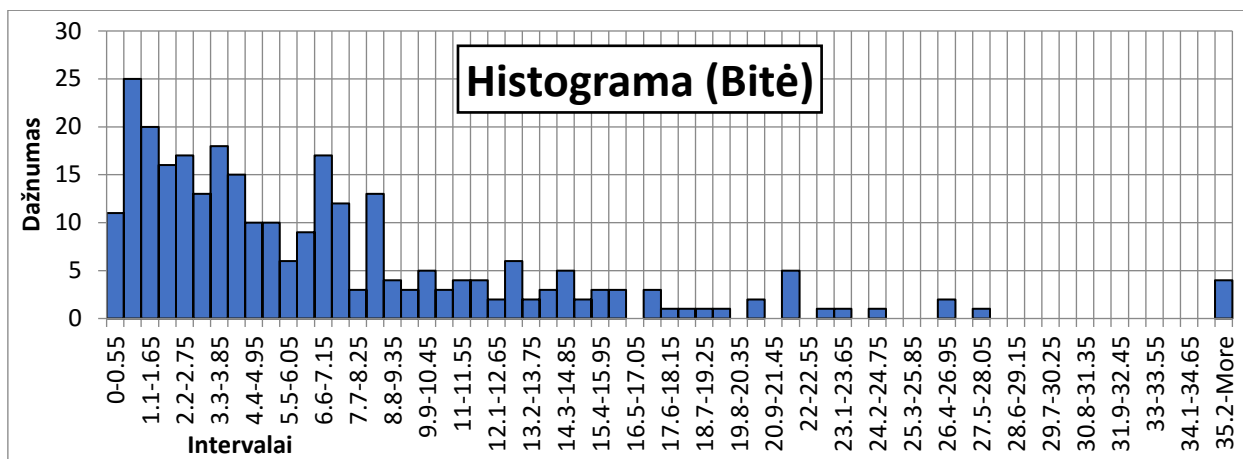
Programą (žr. Priedas 1 ir Priedas 2) sudaro nuokrypio imtis, kurių histogramos atvaizduojamos žemiau (žr. 1.7, 1.8 ir 1.9 pav.).



1.7 pav. Sudaryta „Tele2“ nuokrypio atstumo imties histograma



1.8 pav. Sudaryta „Telia“ nuokrypio atstumo imties histograma



1.9 pav. Sudaryta „Bitė“ nuokrypio atstumo imties histograma

Histogramose parinkti intervalai pagal signalo vėlinimo laiko (angl. *Timing Advance*) vertes, nes vienas TA atitinka 550 m, o maksimalus GSM ryšio nuotolis 35 km. Pastebėtina, kad imtyse („Tele2“ yra viena reikšmė, o „Bitė“ – net keturios reikšmės) gautos klaidingos, nes nuokrypio atstumai didesni nei 35 km. Kas parodo, kad atviros prieigos duomenų bazėje yra neteisingų CID reikšmių. Šias klaidingas reikšmes galima atmesti, tačiau tolimesniuose skaičiavimuose jos yra paliktos, nes klaidingumas pastebimas turinti tik operatoriaus duomenų bazes.

Analizuojant duomenų bazes pirmiausia pastebima, kad *Opencellid.org* atviros prieigos duomenų bazėje yra kur kas mažiau GSM ryšio stočių, nei operatorių pateiktose duomenų bazėse (žr. 1.2 lentelę). Komercinio operatoriaus „Telia“ atveju tik apie ketvirtadalis (23,3 proc.) realių GSM ryšio stočių, iš kurių 4 procentai yra nesutapusių. UAB „Tele2“ atveju tik apie 3,1 procento realių GSM ryšio korių, bet visos stotys yra teisingos, tai yra rasta ta pati CID reikšmė. Operatoriaus „Bitė Lietuva“ apskaičiuotų korių skaičius, lyginant su realių korių skaičiumi, yra didžiausias (apie 11,1 proc.), tačiau ir neteisingų korių skaičius yra didžiausias (49 arba ~ 1,62 proc.).

1.2 lentelė. GSM ryšio operatorių realus, *Opencellid.org* apskaičiuotas, sutapusių, ir nesutapusių su realių ir apskaičiuotų korių skaičius

GSM ryšio korių skaičius:	Tele2	Telia	Bitė
Realių	3334	1070 ¹	3028
Apskaičiuotų	104	249	337
Sutapusių	104	240	288
Nesutapusių	0	9	49

¹ Pateiktas skaičius yra ne korių (celių) skaičius, o GSM ryšio stočių skaičius.

Microsoft office paketo *Excel* programa apskaičiuojami analizuojamų imčių statistiniai parametrai (žr. 1.3 lentelę): imties dydis (žr. 1.3 lentelėje N skaičius), minimumas, maksimumas, vidurkis, standartinis nuokrypis.

1.3 lentelė. Imčių statistiniai parametrai

	Tele2	Telia	Bitė
Imties dydis	104	240	288
Minimumas, km	0,186	0,059	0,040
Maksimumas, km	111,761	31,964	257,378
Mediana, km	2,608	5,935	4,847
Vidurkis, km	4,525	7,528	9,324
Standartinė paklaida, km	1,081	0,379	1,441
Standartinis nuokrypis, km	11,027	5,878	24,460

Iš statistinių parametru (žr. 1.3 lentelę) matyti, kad duomenys atviros prieigos duomenų bazėje yra netikslūs visiems trimis GSM ryšio operatoriams. Nuokrypio nuo realios padėties vidurkis „Tele2“ atveju yra 4,525 kilometro (arba apytiksliai 8 TA reikšmių), „Telia“ atveju – 7,528 kilometro (arba apytiksliai 13 TA reikšmių), „Bitė“ atveju – 9,324 kilometro (apytiksliai 16 TA reikšmių). Taip pat *Opencellid.org* BTS koordinacinių duomenų bazėje trūksta CID reikšmių (žr. 1.2 lentelę). Visa tai apibendrinus prieiname išvados, kad *Opencellid.org* duomenų bazės negalime naudoti vietos nustatymui.

1.2.5. GSM ryšio stočių duomenų bazių apibendrinimas

Turimos visų trijų komercinio GSM tinklo operatorių (UAB „Bitė Lietuva“, UAB „Telia“ ir UAB „Tele2“) ryšio stočių duomenų bazės. UAB „Telia“ pateiktoje duomenų bazėje nėra pilnas CID, tai yra susieti su ryšio stotimi galima, bet trūksta informacijos apie antenų pasukimą. GSM ryšio operatoriaus „Bitė Lietuva“ duomenų bazė pateikia pilną CID reikšmę, tai reiškia, kad galima tiksliai nustatyti, kuriame koryje MS stotis yra. Vietos nustatymo prasme UAB „Tele2“ operatoriaus pateikiama duomenų bazė yra informatyviausia, nes pateikiamas pilnas CID, yra pateikti antenų pasukimai azimuto kampu ir GSM ryšio dažniai naudojami tiems GSM ryšio koriams (celėms).

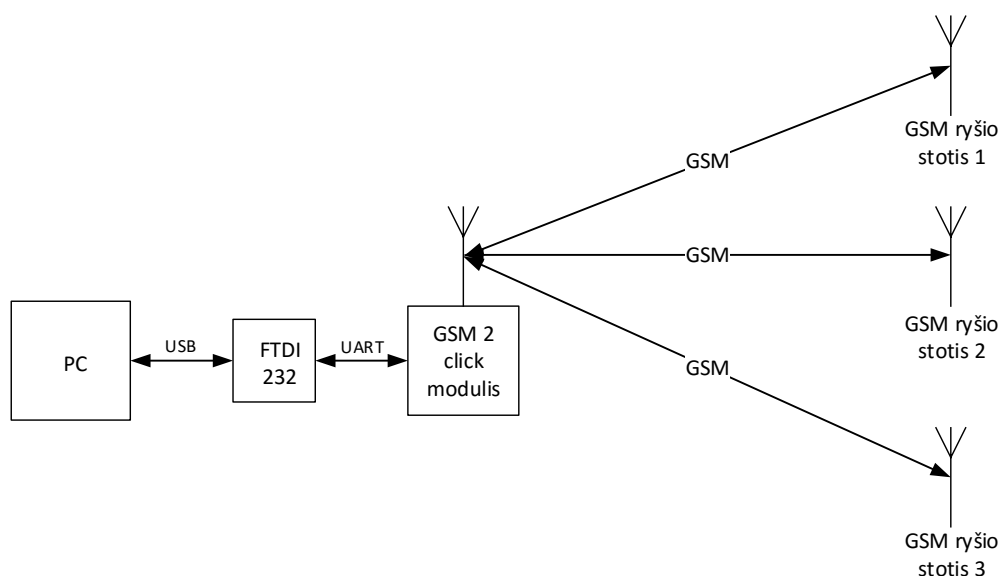
Taip pat kaip alternatyva sunkiai prieinamoms GSM tinklo operatorių duomenų bazėms buvo išanalizuota ir patikrinta didžiausia [21] atviros prieigos (*opencellid.org*) duomenų bazė. Tačiau analizės metu nustatyta, kad atviros prieigos duomenų bazės naudoti vietos nustatymui negalima, dėl duomenų trūkumo ir mažo GSM ryšio stočių koordinacijų tikslumo.

2. TYRIMO METODIKA

Vietos nustatymui naudojant GSM technologijos CGI metodą (žr. 1.1.5 poskyrį) reikalingi pagrindiniai parametrai: korio identifikatorius (CID) ir signalo vėlinimo reikšmė (TA). Pagal CID iš duomenų bazės nustatomos GSM ryšio stoties koordinatės, o pagal TA nustatomas objekto atstumas iki GSM ryšio stoties. Siekiant gauti šiuos duomenis, buvo atliekamas GSM duomenų nuskaitymo tyrimas. Vėliau surinkti realūs duomenys, naudojami modeliuojant situacijas su skirtingais algoritmais, kad būtų galima palyginti, kuris algoritmas tiksliausias.

2.1. Tyrimo schema ir naudota įranga

GSM gaunamų duomenų nuskaitymo tyrimui atlikti, prietaisai buvo sujungti pagal 2.1 pav. parodytą struktūrinę schemą.



2.1 pav. GSM gaunamų duomenų struktūrinė tyrimo schema

GSM gaunamų duomenų nuskaitymo tyrimui panaudota *MikroElektronika GSM2 click* [23] plokštė (žr. 2.2 pav.), kurios pagrindinė dalis *Quectel M95* GSM ryšio modemas. Modemas yra valdomas per UART sąsają, kad pereiti į USB sąsają, kuri tinkama asmeniniam kompiuteriui (PC), naudojama *FTDI232* plokštė.

GSM ryšio modulis *Quectel M95* valdomas AT (nuo angl. *attention*) komandomis, kurios yra pateikiamos dokumentacijoje [24] ir [25]. Taip pat šis *Quectel M95* modemas turi savo vietos nustatymo komandą, pagal *Quectel* algoritmą GSM technologijai [27], todėl bandymų metu fiksuota modemo nustatytos vietos koordinatės. Šios AT komandos siunčiamos *Realterm* programa, kuria ir nuskaitomi GSM ryšio modulio (*M95*) atsakymai. Esant būtinumui siunčiamos komandos ir gaunami atsakymai įrašomi į tekstinį failą (žr. Priedas 4).



2.2 pav. GSM2 click plokštė [23]

Struktūrinėje schemoje (žr. 2.1 pav.) pavaizduotos trys GSM ryšio stotys, tačiau jų gali būti ir mažiau, ir daugiau. Taip pat jų išdėstymas erdvėje gali būti visiškai atsitiktinis, schema skirta tik vizualiai pavaizduoti, kad BTS dalyvauja tyrime. GSM ryšio *Quectel M95* modemo (žr. 2.2 pav.) maksimalus kiekvieno operatoriaus BTS kiekis yra po 10 stočių [26]. Kitų gamintojų ar modelio GSM ryšio modemų maksimalus matomas BTS kiekis gali skirtis.

2.2. Tyrimo sąlygos

Tyrimas atliekamas skirtingose vietose su kelių operatorių SIM kortelėmis. Bandymų vietų tikslios koordinatės buvo rastos *Google Maps* pagalba. Bandymų vietų koordinatės, vietovės tipas ir GSM ryšio operatoriai pateikiami lentelėje (žr. 2.1 lentelę).

2.1 lentelė. Bandymų vietų koordinatės

Bandymo Nr.	GSM ryšio operatorius	Koordinatės (laipsniais)		Vietovės tipas
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)	
1	Telia	54,891697	23,964559	Priemiestis
2	Bitė			
3	Tele2			
4	Telia	54,905666	23,965898	Didmiestis
5	Bitė			
6	Tele2			
7	Telia	55,075322	24,261576	Miestelis
8	Bitė			
9	Tele2			
10	Telia	55,567858	21,649681	Kaimas
11	Bitė			
12	Tele2			
13	Telia	55,469346	22,690585	Automagistralė
14	Bitė			
15	Tele2			

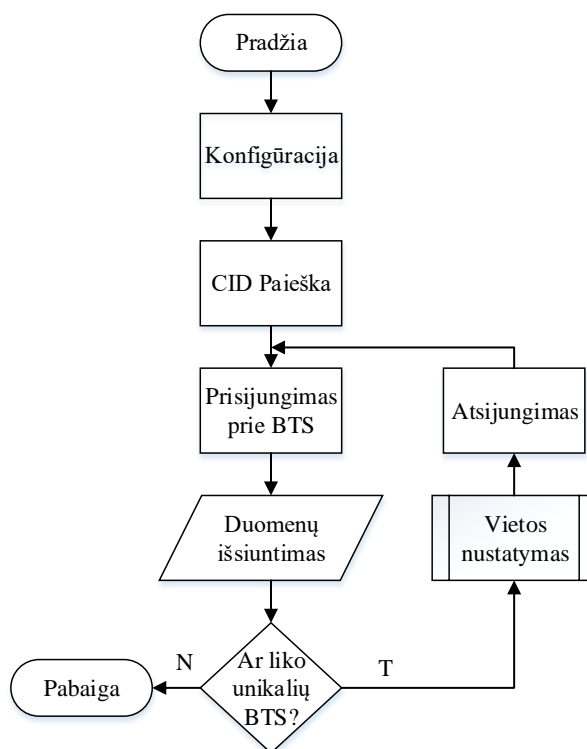
Signalų vėlinimo reikšmei gauti iš GSM ryšio stoties yra reikalingas duomenų perdavimo sujungimas, tai yra modemas turi komunikuoti su BTS. Ši komunikacija vyksta trimis atvejais:

- siunčiant arba priimant skambučius;
- siunčiant arba priimant trumpąsias žinutes (angl. *Short Message Service* arba SMS);
- siunčiant arba priimant duomenis internetu (per GPRS).

Tačiau šiame tyrime akcentuojamas tik duomenų perdavimas internetu. Nes *Quectel M95* modemas vietos nustatymui per TCP/IP protokolą jungiasi prie nuotolinio serverio. Taip pat kuriant vietos nustatymo įtaisą efektyviau naudoti prisijungimą per GPRS prie serverio, nei talpinti į įtaisą duomenų bazę arba apkrauti įtaisą daug resursu reikalaujančiais algoritmais.

2.3. GSM gaunamų duomenų nuskaitymo tyrimo eiga

GSM gaunamų duomenų nuskaitymo tyrimui svarbus komandų vykdymo eiliškumas (žr. 2.3 pav.). Visų pirma, GSM modemas yra konfigūruojamas, tai yra per GPRS prisijungiama prie interneto, gaunamas IP adresas, ir įjungiamas modemo inžinerinis režimas. Šio režimo neįjungus TA reikšmės nėra pasiekiamos.



2.3 pav. Tyrimo vykdymo eiliškumas

Antras tyrimo vykdymo žingsnis yra GSM ryšio stočių paieška. Modemas pateikia iki 10 CID reikšmių, tada prie vieno iš jų prisijungiama nustatant dažnio kanalą. Tada GSM ryšio stotiai perduodami duomenys, ir tikrinama TA reikšmė (šio žingsnio AT komandos ir atsakymai į jas

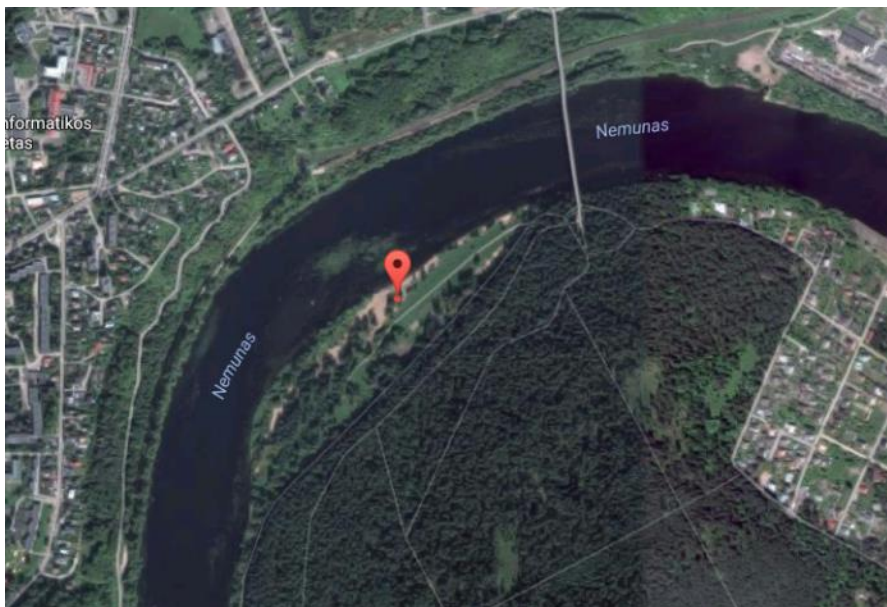
pateikti Priedas 4). Po to tikrinama ar iš surastų CID sąrašo dar yra unikalių BTS stočių. Jei liko – tai atsijungiama nuimant dažnio kanalo nustatymus. Žingsniai kartojasi nuo prisijungimo prie BTS (žr. 2.3 pav.), kol nelieka unikalių GSM ryšio stočių. Modemo vietos nustatymo komanda yra nebūtina, tačiau ji šiame tyrime naudojama iširti *Quectel* vietos nustatymo algoritmą.

2.4. Tyrimo rezultatai

Atlikus tyrimą, gautos korio identifikavimo (CID) ir signalo vėlinimo (TA) reikšmės. Šių reikšmių teisingumas patikrinamas. Norint patikrinti GSM ryšio stoties CID, užtenka surasti pirmus tris skaitmenis duomenų bazėje. Signalo vėlinimo reikšmei patikrinti skaičiuojamas atstumas tarp GSM ryšio stoties (BTS) ir objekto (MS). Šis atstumas apskaičiuojamas į formules (žr. (2), (3) ir (4) formules) įstačius GSM ryšio stoties ir žinomos bandymo vietos koordinatų reikšmes (žr. 2.1 lentelę). Iš atstumo tarp BTS ir MS yra apskaičiuojamas (teorinis) TA, kuris sulyginamas su bandymų metu gauta TA reikšme. Kiekvieno bandymo metu gautos ir apskaičiuotos reikšmės pateikiamos rezultatų lentelėse, o jos grupuojamos pagal atliktų bandymų vietas (žr. 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3, 2.4.4 ir 2.4.5 poskyrius).

2.4.1. Priemiesčio vietovės bandymų rezultatai

Priemiestyje (žr. 2.1 lentelę ir 2.4 pav.) atlikti trys bandymai, nes buvo naudojamos trijų operatorių SIM kortelėmis.



2.4 pav. Priemiesčio vietovės, kur atlikti bandymai, palydovinė nuotrauka [34]

Pirmas bandymas atliktas naudojantis „Telia“ (žr. 2.2 lentelę), antras – „Bitė“ (žr. 2.3 lentelę), o trečias – „Tele2“ operatoriaus paslaugomis (žr. 2.4 lentelę).

2.2 lentelė. Pirmo bandymo metu gautos ir apskaičiuotos reikšmės (GSM operatorius Telia)

Ryšio stoties CID	Gaunamas TA	Koordinatės (laipsniais)		Atstumas tarp BTS ir MS, m	Apskaičiuotas TA
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)		
53AB	1	54,89852353	23,96704224	776	1
524C	3	54,89096238	23,98971237	1611	2,5 ²
56DC	6	54,86221948	23,98487548	3526	6
505B	6	54,90578749	24,00712602	3140	5,5
523B	1	54,89246273	23,95186457	816	1

2.3 lentelė. Antro bandymo metu gautos ir apskaičiuotos reikšmės (GSM operatorius Bitė)

Ryšio stoties CID	Gaunamas TA	Koordinatės (laipsniais)		Atstumas tarp BTS ir MS, m	Apskaičiuotas TA
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)		
0592	1	54,898428	23,967461	771	1
03A9	4	54,903544	23,997381	2478	4
0530	3	54,890933	23,9897	1610	2,5
062C	2	54,89	23,9475	1107	1,5

2.4 lentelė. Trečio bandymo metu gautos ir apskaičiuotos reikšmės (GSM operatorius Tele2)

Ryšio stoties CID	Gaunamas TA	Koordinatės (laipsniais)		Atstumas tarp BTS ir MS, m	Apskaičiuotas TA
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)		
401E	1	54,889828	23,947706	1098	1,5
D19C	2	NaN ³	NaN	NaN	NaN

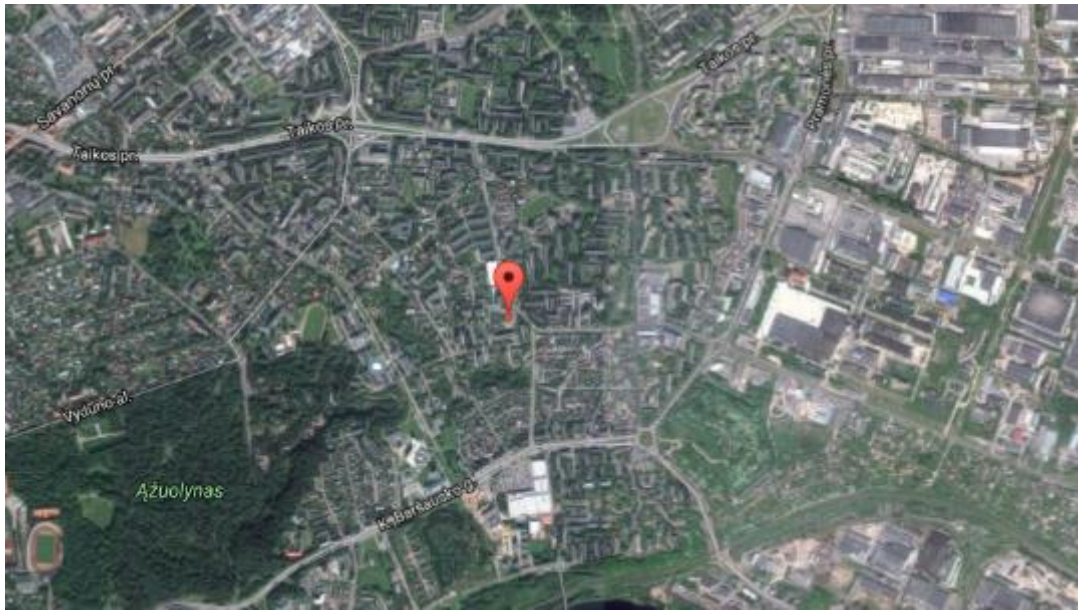
Lentelėje (žr. 2.4 lentelę) matyti, kad iš dviejų stočių yra žinomos tik vienos stoties koordinatės. Dėl šios priežasties, atliekant modeliavimą yra sudėtingiau išgauti tikslesnes koordinatas.

2.4.2. Didmiesčio vietovės bandymų rezultatai

Didmiestyje (žr. 2.1 lentelę ir 2.5 pav.) atlikti trys bandymai, nes buvo naudojami trijų operatorių SIM kortelėmis.

² Gaunama TA reikšmė yra sveikas skaičius nuo 0 iki 63, tačiau teoriškai TA skaičiuojamas pagal $TA = (\text{Atstumas}(m)/550m) - 1$ formulę gaunamas realus skaičius. Todėl, kai atstumas mažesnis nei 100m, kad TA pakeistų reikšmę yra rašoma „,5“. Taip nurodoma, kad priklausomai nuo bandymo TA reikšmė gali kisti tiek į didesnę, tiek į mažesnę pusę.

³ NaN - (angl. *Not a Number*) nėra skaičiaus. Koordinatė stulpelyje tai reiškia, kad CID atitinkamoje operatoriaus duomenų bazėje nerastas.



2.5 pav. Didmiesčio vietovės, kur atlikti bandymai, palydovinė nuotrauka [34]

Ketvirtas bandymas atliktas naudojantis „Telia“ (žr. 2.5 lentelę), penktas – „Bitė“ (žr. 2.6 lentelę), o šeštas – „Tele2“ operatoriaus paslaugomis (žr. 2.7 lentelę).

2.5 lentelė. Ketvirto bandymo metu gautos ir apskaičiuotos reikšmės (operatorius Telia)

Ryšio stoties CID	Gaunamas TA	Koordinatės (laipsniais)		Atstumas tarp BTS ir MS, m	Apskaičiuotas TA
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)		
528C	0	54,90608086	23,97154249	364	0
522A	1	54,9079084	23,95406048	797	1
5A4B	2	54,91501	23,96183	1071	1,5
53AA	1	54,89852353	23,96704224	798	1
523A	4	54,89246273	23,95186457	1721	2,5

2.6 lentelė. Penkto bandymo metu gautos ir apskaičiuotos reikšmės (GSM operatorius Bitė)

Ryšio stoties CID	Gaunamas TA	Koordinatės (laipsniais)		Atstumas tarp BTS ir MS, m	Apskaičiuotas TA
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)		
0355	2	54,905556	23,951389	928	1
00FD	0	54,905247	23,966761	72	0
0509	3	54,912222	23,945278	1506	2
0593	1	54,898428	23,967461	811	1
0101	2	54,915	23,961694	1072	1,5
09BC	1	54,911347	23,9584	793	1
0BC0	3	NaN	NaN	NaN	NaN

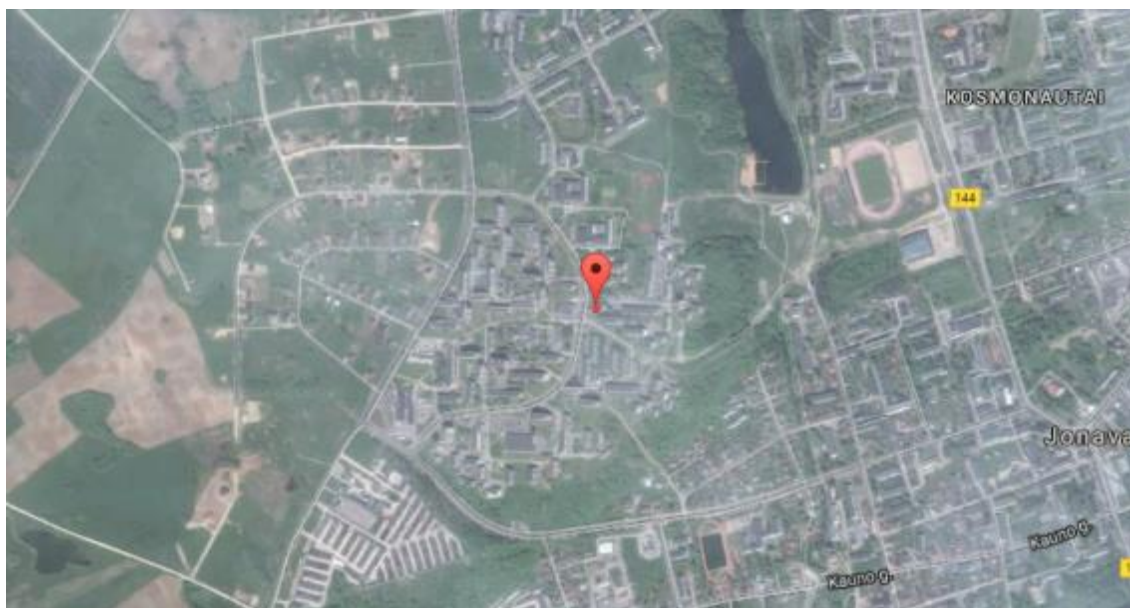
2.7 lentelė. Šešto bandymo metu gautos ir apskaičiuotos reikšmės (GSM operatorius Tele2)

Ryšio stoties CID	Gaunamas TA	Koordinatės (laipsniais)		Atstumas tarp BTS ir MS, m	Apskaičiuotas TA
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)		
210B	0	54,905864	23,966116	26	0
400C	1	54,912923	23,95772	961	1
208C	2	54,91292	23,978977	1162	1,5
434B	1	54,905364	23,950535	983	1
D19A	2	NaN	NaN	NaN	NaN

Iš lentelių (žr. 2.5 ir 2.6 lenteles) matyti, kad keliais atvejais signalo vėlinimo reikšmės yra vienu TA didesnės nei teoriškai apskaičiuotos. Tai turėtų būti dėl to, kad iš GSM ryšio stoties signalas pasiekia ne tiesiu keliu, o per atspindį.

2.4.3. Miestelio vietovės bandymų rezultatai

Miestelyje (žr. 2.1 lentelę ir 2.6 pav.) atlikti trys bandymai, nes buvo naudojamos trijų operatorių SIM kortelėmis.



2.6 pav. Miestelio vietovės, kur atlikti bandymai, palydovinė nuotrauka [34]

Septintas bandymas atliktas naudojantis „Telia“ (žr. 2.8 lentelę), aštuntas – „Bitė“ (žr. 2.9 lentelę), o devintas – „Tele2“ operatoriaus paslaugomis (žr. 2.10 lentelę).

2.8 lentelė. Septinto bandymo metu gautos ir apskaičiuotos reikšmės (operatorius Telia)

Ryšio stoties CID	Gaunamas TA	Koordinatės (laipsniais)		Atstumas tarp BTS ir MS, m	Apskaičiuotas TA
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)		
7033	0	55,073775	24,26393667	228	0
550C	2	55,07214589	24,27737594	1066	1,5
449B	4	55,0896272	24,28626908	2236	3,5

2.9 lentelė. Aštunto bandymo metu gautos ir apskaičiuotos reikšmės (GSM operatorius Bitė)

Ryšio stoties CID	Gaunamas TA	Koordinatės (laipsniais)		Atstumas tarp BTS ir MS, m	Apskaičiuotas TA
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)		
00B3	1	55,073978	24,257567	296	0
0AA4	2	55,079567	24,274911	971	1,5
0269	8	55,083253	24,327228	4271	7,5
0886	7	55,044947	24,279	3555	6
01F1	2	55,072222	24,277278	1057	1,5
0AAD	0	55,077325	24,258308	305	0

2.10 lentelė. Devinto bandymo metu gautos ir apskaičiuotos reikšmės (operatorius Tele2)

Ryšio stoties CID	Gaunamas TA	Koordinatės (laipsniais)		Atstumas tarp BTS ir MS, m	Apskaičiuotas TA
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)		
245B	1	55,076563	24,258584	235	0
431C	5	55,098288	24,282383	2877	5
246A	2	55,072191	24,277188	1053	1,5
D83C	1	NaN	NaN	NaN	NaN
D87A	8	NaN	NaN	NaN	NaN

Iš lentelių (žr. 2.9 ir 2.10 lenteles) matyti, kad keliais atvejais signalo vėlinimo reikšmės yra vienu TA didesnės nei teoriškai apskaičiuotos.

2.4.4. Kaimo vietovės bandymo rezultatai

Kaimo vietovėje (žr. 2.1 lentelę ir 2.7 pav.) atlikti trys bandymai, panaudojant visų operatorių SIM korteles.



2.7 pav. Kaimo vietovės, kur atlikti bandymai, palydovinė nuotrauka [34]

Dešimtas bandymas atliktas naudojantis „Telia“ (žr. 2.11 lentelę), vienuoliktas – „Bitė“ (žr. 2.12 lentelę), o dvyliktas – „Tele2“ operatoriaus paslaugomis (žr. 2.13 lentelę).

2.11 lentelė. Dešimto bandymo metu gautos ir apskaičiuotos reikšmės (operatorius Telia)

Ryšio bokšto CID	Gaunamas TA	Koordinatės (laipsniais)		Atstumas tarp BTS ir MS, m	Apskaičiuotas TA
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)		
269A	9	55,52877139	21,61798729	4782	8
23AF	10	55,60966267	21,59558862	5759	10

2.12 lentelė. Vienuolikto bandymo metu gautos ir apskaičiuotos reikšmės (operatorius Bitė)

Ryšio bokšto CID	Gaunamas TA	Koordinatės (laipsniais)		Atstumas tarp BTS ir MS, m	Apskaičiuotas TA
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)		
0AF5	13	55,622072	21,579311	7476	13
0493	9	55,528611	21,618056	4796	8
06F9	16	55,589119	21,798847	9669	16,5

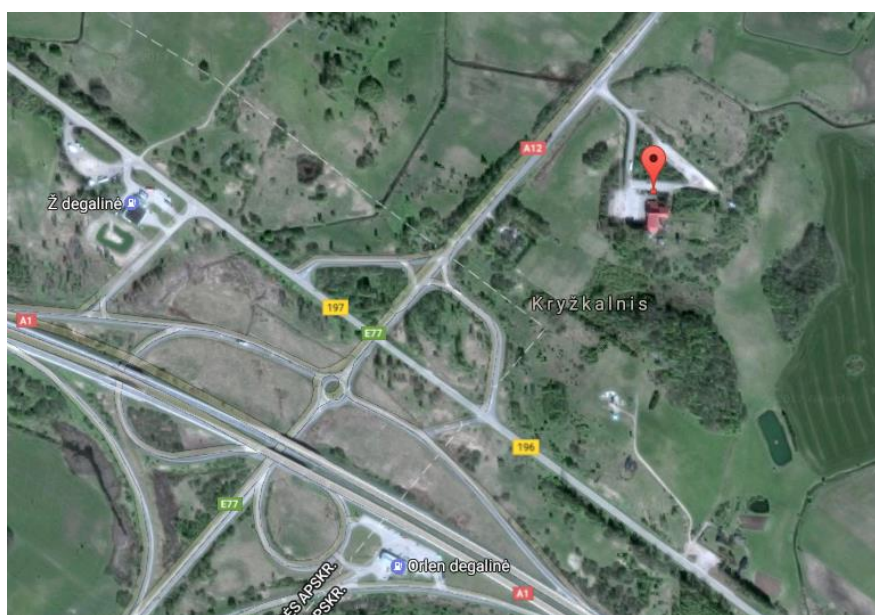
2.13 lentelė. Dvylikto bandymo metu gautos ir apskaičiuotos reikšmės (operatorius Tele2)

Ryšio bokšto CID	Gaunamas TA	Koordinatės (laipsniais)		Atstumas tarp BTS ir MS, m	Apskaičiuotas TA
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)		
116A	8	55,528531	21,618081	4804	8
517B	9	NaN	NaN	NaN	NaN

Lentelėje (žr. 2.13 lentelę) matyti, kad iš dviejų GSM ryšio stočių, vietos nustatymui galima panaudoti tik vieną stotį. Kitos ryšio stoties duomenų bazėje nebuvo. Taip pat, iš lentelių (žr. 2.11 ir 2.12 lenteles) matyti, kad keliais atvejais signalo vėlinimo reikšmės yra vienu TA didesnės nei teoriškai apskaičiuotos.

2.4.5. Automagistralės vietovės bandymo rezultatai

Automagistralės vietovėje (žr. 2.1 lentelę ir 2.8 pav.) atlikti trys bandymai, panaudojant visų operatorių SIM korteles.



2.8 pav. Automagistralės vietovės, kur atlikti bandymai, palydovinė nuotrauka [34]

Tryliktas bandymas atliktas naudojantis „Telia“ (žr. 2.11 lentelę), keturioliktas – „Bitė“ (žr. 2.12 lentelę), o paskutinis – „Tele2“ operatoriaus paslaugomis (žr. 2.13 lentelę).

2.14 lentelė. Trylikto bandymo metu gautos ir apskaičiuotos reikšmės (operatorius Telia)

Ryšio bokšto CID	Gaunamas TA	Koordinatės (laipsniais)		Atstumas tarp BTS ir MS, m	Apskaičiuotas TA
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)		
203A	4	55,46062563	22,67023478	1608	2,5

2.15 lentelė. Keturiolikto bandymo metu gautos ir apskaičiuotos reikšmės (operatorius Bitė)

Ryšio bokšto CID	Gaunamas TA	Koordinatės (laipsniais)		Atstumas tarp BTS ir MS, m	Apskaičiuotas TA
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)		
00A6	0	55,467231	22,690467	235	0
0ACB	1	55,467231	22,690467	235	0

2.16 lentelė. Paskutinio bandymo metu gautos ir apskaičiuotos reikšmės (operatorius Tele2)

Ryšio bokšto CID	Gaunamas TA	Koordinatės (laipsniais)		Atstumas tarp BTS ir MS, m	Apskaičiuotas TA
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)		
234A	3	55,463607	22,661801	1923	3

Lentelėse (žr. 2.14 , 2.15 ir 2.16 lentelę) matyti, kad vietos nustatymui galima panaudoti tik po vieną GSM ryšio stotį. Lentelėje (žr. 2.15 lentelę) nors ir dviejų GSM ryšio stočių CID reikšmės, tačiau duomenų bazėje šių stočių koordinatės tos pačios, kas nurodo, kad tai yra ta pati stotis.

2.5. Tyrimo rezultatų apibendrinimas

Visų bandymų metu gautos korio identifikavimo (CID) ir signalo vėlinimo (TA) reikšmės. Tačiau pastebėta, kad visuose bandymuose, kuriuose naudota „Tele2“ operatoriaus SIM kortelė, duomenų bazėje trūko CID reikšmių. Tai parodo, kad naudojama duomenų bazė yra pasenusi ir reikia jos atnaujinimo. Taip pat pastebėta, kad dažnai signalo vėlinimo reikšmės gaunamos didesnės nei teoriškai apskaičiuotos TA reikšmės. Tai turėtų būti dėl to, kad iš GSM ryšio stoties signalas pasiekia ne tiesiu keliu, o per atspindį.

2.5.1. Bandymų metu *Quectel* algoritmu nustatytos koordinatės

Visų pirma, buvo apskaičiuoti nuokrypiai tarp kiekvieno bandymo metu gaunamų *Quectel* koordinačių ir realios objekto buvimo vietos koordinačių (žr. 2.1 lentelę). Iš šių nuokrypių sudaryta imtis pateikta priede (žr. Priedas 5). Šios nuokrypių imties statistiniai parametrai pateikti žemiau (žr. 2.17 lentelę).

2.17 lentelė. Nuokrypių imties statistiniai parametrai

	<i>Quectel</i> nuokrypių
Imties dydis	50
Minimumas, m	80
Maksimumas, m	8882
Mediana, m	806
Vidurkis, m	1496,034
Standartinė paklaida, m	267,920
Standartinis nuokrypis, m	1894,483

Iš lentelės (žr. 2.17 lentelę) matyti, kad imtis labai plati. Tai parodo didelė imties standartinio nuokrypio reikšmė, taip pat ir didelis skirtumas tarp maksimumo ir minimumo. Tikėtasi, kad imties vidurkis bus mažesnis. Modeliuojant visi metodai bus lyginami su šia nuokrypių imtimi.

3. MODELIAVIMAS

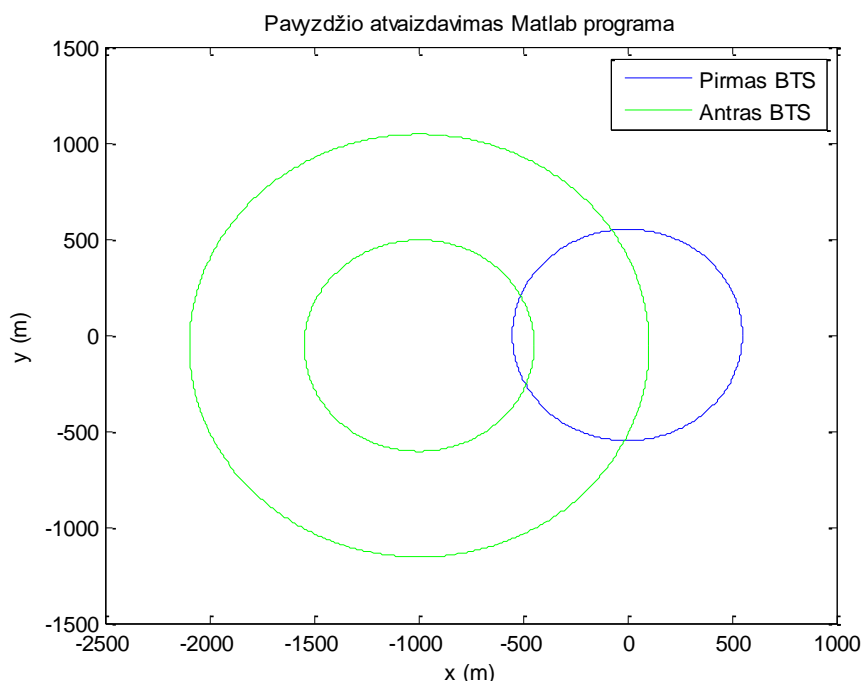
Su tyrimo metu gautais duomenimis atliekamas modeliavimas, tam kad išmėginti kelis skirtingus vietos nustatymo metodus. Ir po to palyginti juos su *Quectel* algoritmų nustatytais reikšmėmis.

3.1. Modeliavimo sąlygos

Visų pirma, iškeliamos kelios prielaidos, kurios supaprastina modeliavimą. Pirmoji prielaida – kadangi atstumai sąlyginai nedideli (iki 20 kilometrų), žemę laikome plokščia, todėl galime skaičiavimus perkelti į x ir y (pagal (2) ir (3) formules) koordinatinių sistemą [22]. Antroji prielaida – kad atskaitos taškas (arba nulinė koordinatė) yra artimiausia GSM ryšio stotis. Tada, pagal gautus realius GSM tinklo tyrimo (žr. 2.4 skyrių) duomenis, modeliuojamos situacijos pagal tris metodus:

- 1) tiesių susikirtimo metodas (žr. 3.2 skyrių);
- 2) Monte Carlo metodas (žr. 3.3 skyrių);
- 3) tikros masės centro metodas (žr. 3.4 skyrių).

Šių metodų veikimui pavaizduoti naudojamas pavyzdinis modelis (žr. 3.1 pav.). Pavyzdinio modelio pirmasis (žr. 3.1 pav. mėlynas) apskritimas, kurio centras yra $x = 0, y = 0$ koordinatėse, o spindulys $r_1 = 550$ m (arba 0 TA reikšmė). Antrojo ir trečiojo (žr. 3.1 pav. žaliųjų) apskritimų centrai yra $x = -996,0739$ m, $y = -55,5975$ m koordinatėse, o spinduliai atitinkamai lygus $r_2 = 1100$ m ir $r_3 = 550$ m (arba 1 TA reikšmė).



3.1 pav. Pavyzdinio modelio atvaizdavimas *Matlab* programa

Apskaičiuotas taškas x ir y koordinatų sistemoje turi būti paverstas į platumos (angl. *Latitude*) ir ilgumos (angl. *Longitude*) koordinatę. Tai atlieka parašyta funkcija (žr. Priedas 3) pagal formules (žr. (5), (6), (7) ir (8) formules) [22, 28 ir 29]).

$$dLat = dy/R \quad (5)$$

$$dLon = \frac{dx}{R \cdot \cos(\pi \cdot Lat/180^\circ)} \quad (6)$$

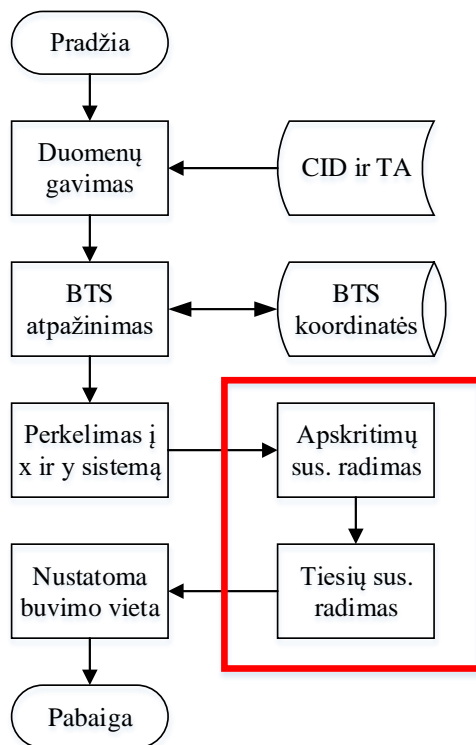
$$nLat = Lat + dLat \cdot 180^\circ/\pi \quad (7)$$

$$nLon = Lon + dLon \cdot 180^\circ/\pi \quad (8)$$

Čia: $dLat$ ir $dLon$ – platumos ir ilgumos nuokrypis nuo pradinės koordinatės radianais; $nLat$ ir $nLon$ – naujos platumos ir ilgumos koordinatės laipsniais; dx ir dy – taško nuokrypis nuo atskaitos taško x ir y ašyse metrais; R – žemės spindulys (6371000) metrais.

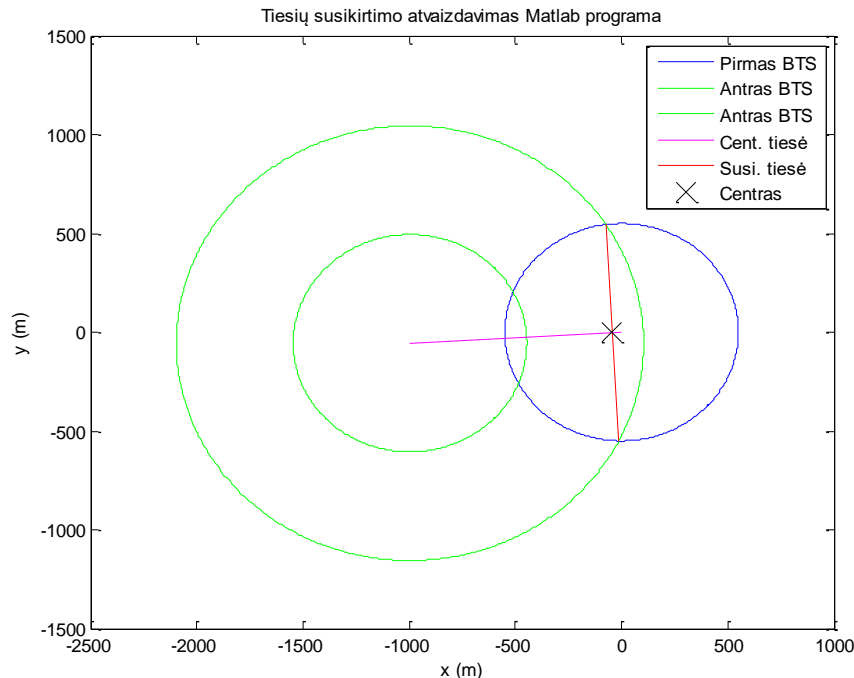
3.2. Tiesių susikirtimo metodas

Visi naudojamų metodų algoritmai turi tuos pačius žingsnius aptartus aukščiau, tačiau tiesių susikirtimo metodas yra pats paprasčiausias iš vietos nustatymo metodų. Šio metodo algoritmas (žr. 3.2 pav.) turi tik unikalius žingsnius (žr. 3.2 pav. pažymėta raudonai). Tiesių susikirtimo metodui parašyta programa (žr. Priedas 6).



3.2 pav. Tiesių susikirtimo metodo programos algoritmas

Programa sudaro (žr. Priedas 6) dvi tieses. Pirmoji tiesė (žr. 3.3 pav. rožinė) sujungia GSM ryšio stočių centrus, o antroji tiesė (žr. 3.3 pav. raudona) sujungia iš BTS, pagal TA reikšmę brėžiamų apskritimų (žr. 3.3 pav. Pirmas ir Antras BTS), susikirtimo taškus. Šios tiesės kertasi ir jų kirtimosi vieta laikome apskaičiuotą koordinatę (žr. 3.3 pav. centras).

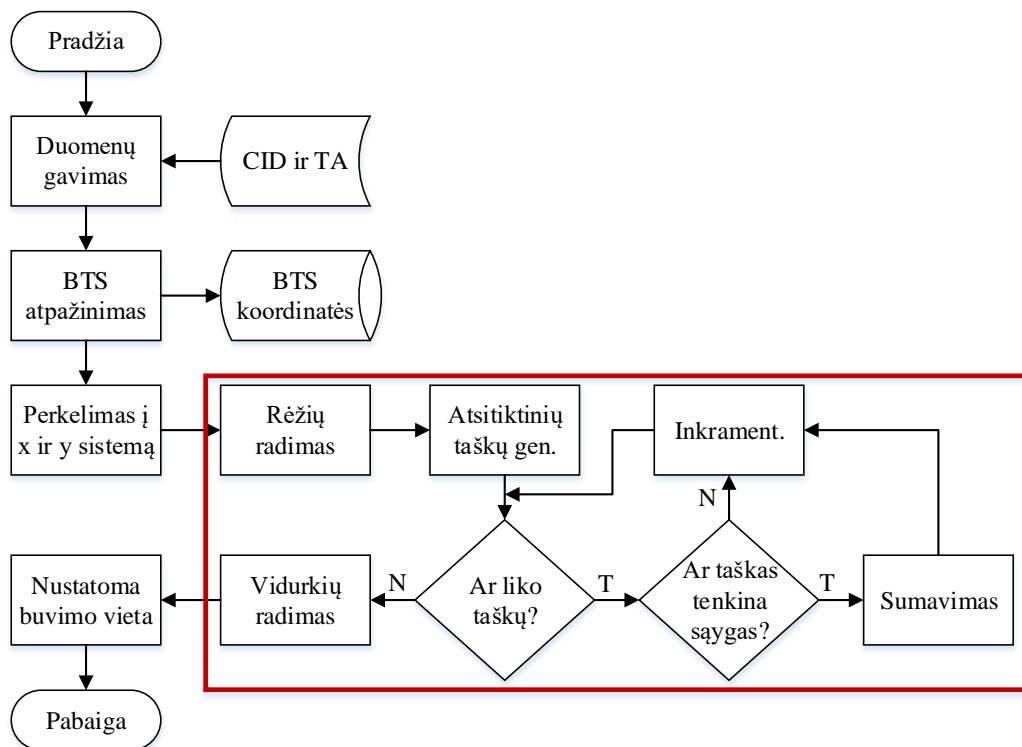


3.3 pav. Tiesių susikirtimo metodo atvaizdavimas pavyzdiniame modelyje

Kaip matyti paveikslėlyje (žr. 3.3 pav.) tiesių susikirtimo metodu apskaičiuotos koordinatės ne visada sutampa su persidengiančių apskritimų suformuotos figūros centru. Apskaičiuotas taškas (žr. 3.3 pav. centras) yra paslinktas arčiau artimesnės GSM ryšio stoties (kurios mažesnis TA) arba apskritimo centro. Dėl šios priežasties metodas tinkamesnis, kai apskritimų spinduliai (GSM ryšiu gaunamos TA reikšmės) yra vienodi arba skiriasi labai mažai. Pagrindinis šio metodo privalumas, apskaičiavimui reikia mažai veiksmų, o trūkumai – sunkumas pritaikyti, kai apskritimų daugiau nei du ir didesnė paklaida, nes apskaičiuotas taškas ne visada sutampa su figūros centru.

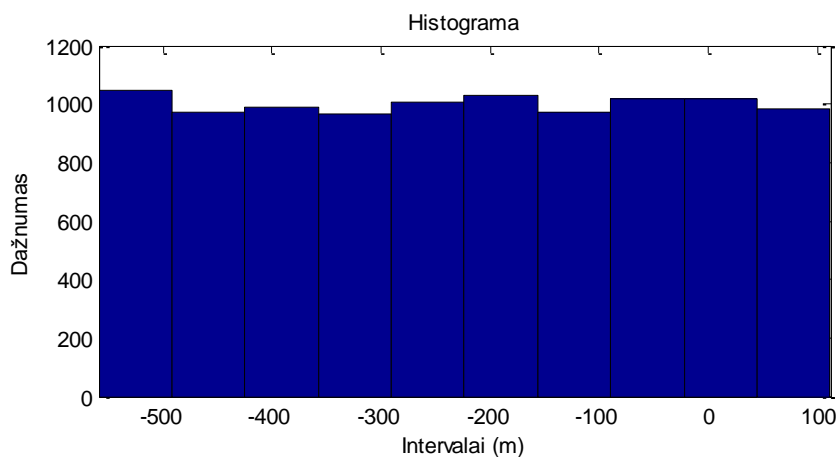
3.3. Monte Carlo metodas

Apskritimų persidengimo figūros centrą Monte Carlo metodu apskaičiuojanti programa pateikta priede (žr. Priedas 7). Šio metodo programos algoritmas (žr. 3.4 pav.) turi daugiausiai unikalių žingsnių (žr. 3.4 pav. pažymėta raudonai) iš naudojamų metodų.



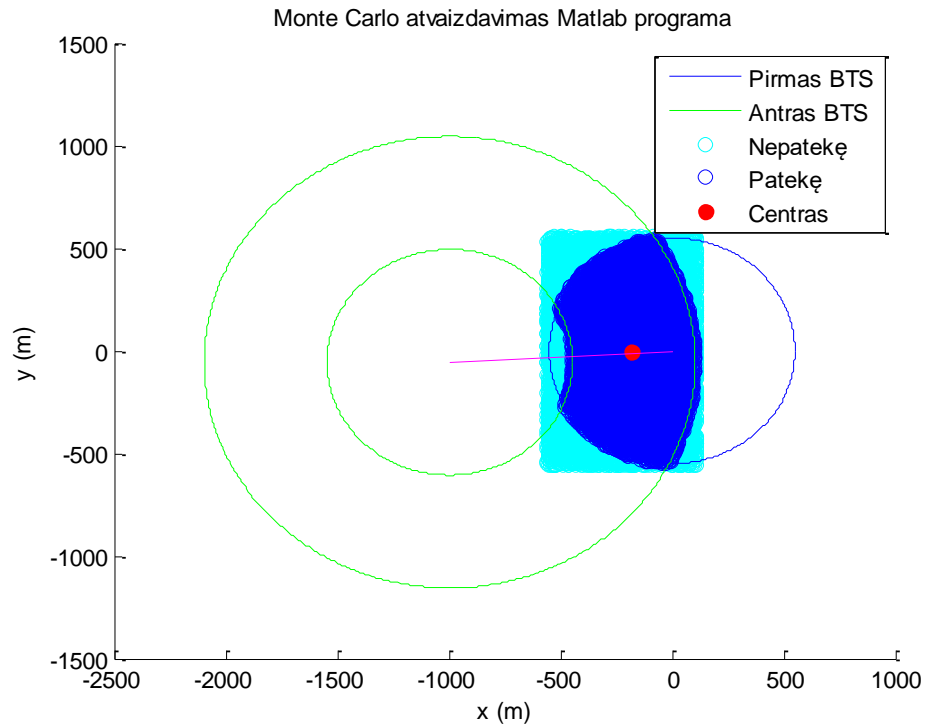
3.4 pav. Monte Carlo metodo programos algoritmas

Visų pirma, apskaičiuojami apskritimų (žr. 3.6 pav.) susikirtimo taškai ir ekstremumai. Pagal tai nustatomi rėžiai, kurie yra x ir y ašių maksimumai ir minimumai. Šiuose rėžiuose generuojamos atsitiktinės x ir y koordinatės, pagal tolydųjį tolygųjį skirstinį (angl. *continuous uniform distribution*) (žr. 3.5 pav.).



3.5 pav. Pavyzdžio modeliui sugeneruotu 10 tūkst. x reikšmių histograma

Tada tikrinama, kurios koordinatės patenka į apskritimų persidengimo plotą (žr. 3.6 pav. mėlynas plotas). Visų patekusių koordinačių x reikšmės sumuojamos ir dalinamos iš patekusių taškų skaičiaus (randamas vidurkis). Tas pats atliekama su y reikšmėmis. Šie x ir y vidurkiai yra apskaičiuotas apskritimų persidengimo ploto masės centras (žr. 3.6 pav. centras).



3.6 pav. Monte Carlo metodo atvaizdavimas pavyzdiniame modelyje

Šis metodas įrodomas, remiantis dvejomis fundamentaliomis fizikos ir geometrijos formulėmis (žr. (9) ir (10) formules). Pirmoji formulė (žr. (9) formulę) yra dalelių sistemos masės centro (angl. *Center of mass for a system of particles*) formulė [30].

$$\mathbf{R} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n (m_i \cdot \mathbf{r}_i) \quad (9)$$

Čia: \mathbf{R} – masės centro koordinatės; n – dalelių skaičius; m_i – i -tosios dalelės masė; \mathbf{r}_i – i -tosios dalelės masės centro koordinatės; M – visos sistemos masė.

Priimama prielaida, kad vienos dalelės masė m lygi vienetui. Tada visos sistemos masė M lygi dalelių skaičiui n . Gaunama išraiška matematiškai lygi baigtinių taškų skaičiaus centro (angl. *Centroid of a finite set of points*) formulėi (žr. (10) formulę) [31 ir 32].

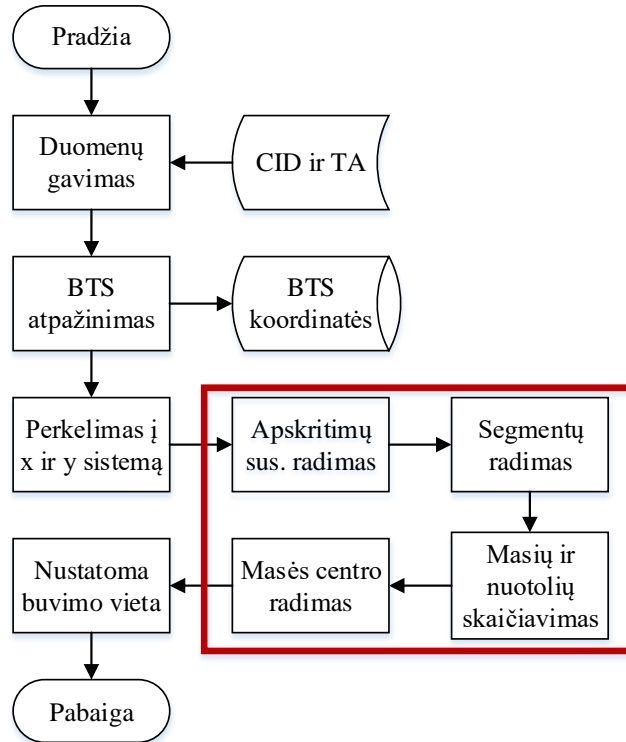
$$C_x = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_k}{k} \quad (10)$$

Čia: C_x – taškų centras x ašyje; k – dalelių skaičius; x – taško koordinatė x ašyje.

Monte Carlo metodo privalumas yra tai, kad lengva pritaikyti, kai apskritimų yra daugiau nei du. Kita vertus šio metodo trūkumas, kad tiksliai apskaičiuoti figūros centrą reikia sugeneruoti pakankamai didelį atsitiktinių taškų skaičių (pavyzdyje naudojama 10 tūkst. taškų).

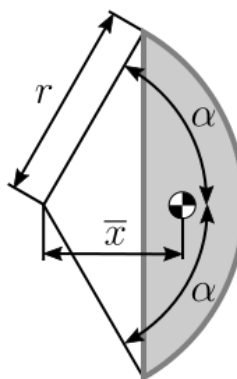
3.4. Tikros masės centro metodas

Tikros masės centro nustatymo metodui parašyta programa (žr. Priedas 8), pagal algoritmą, pateikta žemiau (žr. 3.7 pav.). Šis metodas turi keturis unikalius žingsnius (žr. 3.7 pav. apibraukti raudonai).



3.7 pav. Tikros masės centro metodo programos algoritmas

Tikros masės centro metodo esmė – apskritimų persidengimo figūrą suskirstyti į apskritus segmentus (angl. *Circular segment*) (žr. 3.8 pav.).



3.8 pav. Apskritas segmentas [33]

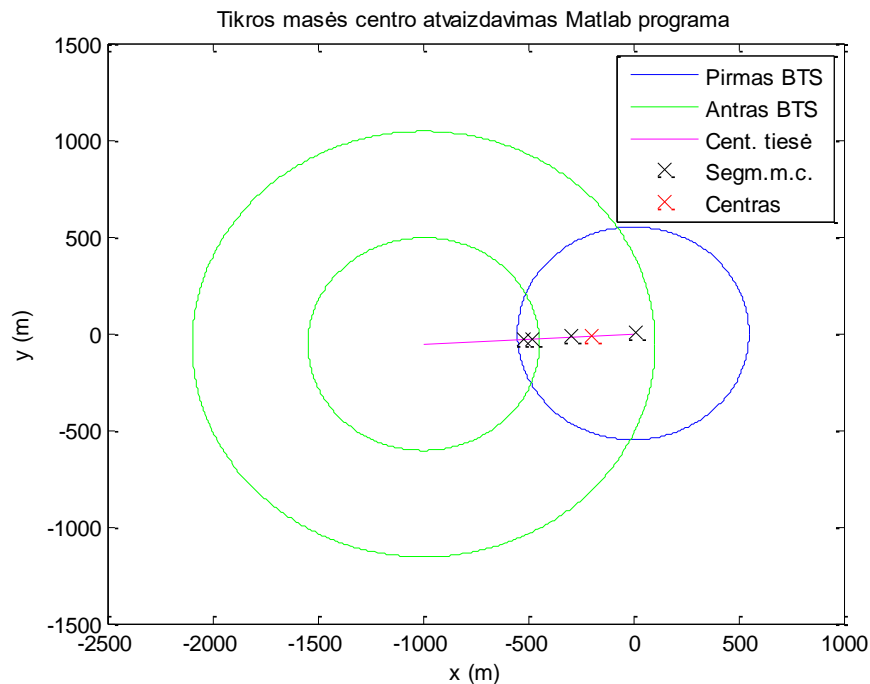
Tada pagal formules (žr. (11) ir (12) formules) yra apskaičiuojamas kiekvieno segmento plotas ir masės centras [33]. Šiam tikslui atlikti sudaryta *Matlab* funkcija (žr. Priedas 9).

$$\bar{x} = \frac{4r \cdot \sin^3(\alpha)}{3(2\alpha - \sin(2\alpha))} \quad (11)$$

$$S = \frac{r^2}{2} (2\alpha - \sin(2\alpha)) \quad (12)$$

Čia: \bar{x} – segmento masės centro nuotolis nuo apskritimo centro; S – segmento plotis; α – pusė apskritimo centrinio kampo (žr. pav.), radianais; r – apskritimo spindulys.

Kadangi \bar{x} segmento masės centro nuotolis nuo apskritimo centro yra pakrypęs kampu, tai \bar{x} nelygu x . Tam, kad apskaičiuoti segmento masės centro koordinatas, randamas kampas tarp x ašies ir apskritimo centrų susikirtimo tiesės. Pagal šį kampą, taikant sinuso ir kosinuso taisykles, apskaičiuojamos kiekvieno segmento masės centro koordinatės (žr. 3.9 pav. Segm.m.c.).



3.9 pav. Tikros masės centro metodo atvaizdavimas pavyzdiniame modelyje

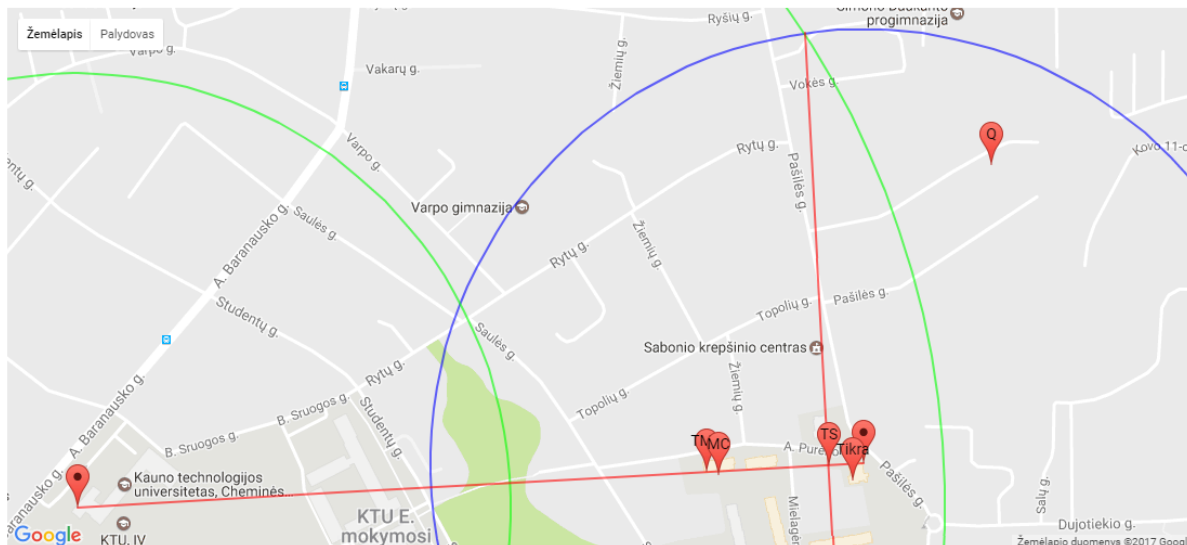
Darant prielaidą, kad plotas yra lygus masei, pagal dalelių sistemos masės centro formulę (žr. (9) formulę), apskaičiuojamas apskritimų persidengimo figūros masės centras (žr. 3.9 pav. Centras).

Tikros masės centro metodo trūkumas yra kompleksiskumas, ypač kai naudojama daugiau nei dvi stotys. Šio metodo privalumas – masės centro koordinatės yra randamos ypač tiksliai.

3.5. Modeliavimo rezultatai

Gauti modeliavimo pavyzdžio rezultatai (žr. 3.10 pav.) pavaizduojami žemėlapyje, pasinaudojant Google žemėlapiais ir parašyta programa (žr. Priedas 10).

Bandymas (Tele2), atvaizdavimas su Google Maps API



3.10 pav. Pavyzdžio atvaizdavimas Google žemėlapiu pagalba [34]

Čia: TMC – objekto buvimo vieta gauta tikro masės centro metodu; MC – objekto buvimo vieta gauta Monte Carlo metodu; TS – objekto buvimo vieta gauta tiesių susikirtimo metodu; Q – objekto buvimo vieta gauta Quectel algoritmu; Tikra – objekto buvimo vietą.

Programų pagalba (žr. Priedas 6, Priedas 7 ir Priedas 8) pagal metodus visoms sumodeliuotoms situacijoms, apskaičiuojamos objekto buvimo koordinatės. Šioms koordinatėms apskaičiuotos nuokrypių nuo realios koordinatės imtys (žr. Priedas 11), kurių statistiniai parametrai pateikti lentelėje (žr. 3.1 lentelę).

3.1 lentelė. Skirtingais metodais sumodeliuotų nuokrypio imčių statistiniai parametrai

	Tiesių susikirtimo metodas	Monte Carlo metodas	Tikros masės centro metodas
Imties dydis	72	72	72
Minimumas, m	25	17	31
Maksimumas, m	4704	4614	4715
Mediana, m	761	561	533
Vidurkis, m	904,759	777,425	810,999
Standartinė paklaida, m	91,065	92,985	99,919
Standartinis nuokrypis, m	772,709	789,003	847,839

Šios trys nuokrypių imtys lyginamos su *Quectel* algoritmu gauta koordinačių nuokrypių imtimi (žr. Priedas 5). Visų pirma, iškeliami nulinė hipotezė (žr. (13) formulę), kad pirmos *Quectel*

nuokrypių imties vidurkis (žr. 2.17 lentelę) yra lygus antros (pirmu atveju tiesių susikirtimo, antru – Monte Carlo, trečiu – tikros masės centro) nuokrypių imties (žr. 3.1 lentelę) vidurkiui.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad (13)$$

Tada iškeliami alternatyvi hipotezė (žr. (14) formulę), kad pirmos imties vidurkis yra didesnis už antros imties vidurkį.

$$H_1: \mu_1 > \mu_2 \quad (14)$$

Daroma prielaida, kad abiejų imčių dispersijos skiriasi. Pagal (15) formulę [37] apskaičiuojamas laisvės laipsnis (angl. *degree of freedom* – *d.f.*). Gauti laisvės laipsniai yra surašomi į lentelę (žr. 3.2 lentelę).

$$d.f. = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{(n_1 - 1)} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{(n_2 - 1)}} \quad (15)$$

Čia: s – imties standartinis nuokrypis (angl. *sample standard deviation*); n – imties dydis.

Pagal nutylėjimą, reikšmingumo lygis (angl. *significance level*) $\alpha = 0,05$, pagal tai $t_{\alpha, d.f.}$ randamas iš t testo lentelės [38] arba iš programų funkcijų [37]. Tada įstačius imčių vidurkius X , pagal (16) formulę [37], randamos $t_{\alpha, d.f.}$ ir apskaičiuojamos t_0 reikšmės surašomos į lentelę (žr. 3.2 lentelę).

$$t_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - 0}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (16)$$

3.2 lentelė. Apskaičiuotos t testo reikšmės

	Tiesių susikirtimo metodas	Monte Carlo metodas	Tikros masės centro metodas
Laisvės laipsnis ($d.f.$)	60	61	63
Kritinė t reikšmė ($t_{\alpha, d.f.}$)	1,671	1,670	1,669
Gauta t reikšmė (t_0)	2,090	2,534	2,396

Visais metodais t_0 reikšmė yra didesnė nei $t_{\alpha, d.f.}$ (žr. 3.2 lentelę), todėl visiems atvejams nulinė hipotezė atmetama. Tai reiškia, kad *Quectel* nuokrypių imties vidurkis yra ženkliai didesnis ir visi modeliavimo metodai tiksliau už *Quectel* algoritmą nustato objekto buvimo vietą.

Lyginant metodus tarpusavyje sudaromos trys poros:

- 1) tiesių susikirtimo ir Monte Carlo metodai (sutrumpinimas TS ir MC);
- 2) Monte Carlo ir tikros masės centro metodai (sutrumpinimas MC ir TMC);

3) tiesių susikirtimo ir tikros masės centro metodai (sutrumpinimas TS ir TMC).

Visoms poroms lyginimas šiek tiek skiriasi dėl dviejų priežasčių. Pirma, abiejų imčių dispersijos nesiskiria. Antra, abiejų imčių dydžiai vienodi.

Iškeliama nulinė hipotezė (žr. (13) formulę), kad pirmo metodo nuokrypių imties vidurkis (žr. 3.1 lentelę) yra lygus antro metodo nuokrypių imties (žr. 3.1 lentelę) vidurkiui. Alternatyvi hipotezė (žr. (14) formulę), kad pirmos imties vidurkis yra didesnis už antros imties vidurkį. Pagal (17) formulę [37] apskaičiuojamas laisvės laipsnis (*d.f.*).

$$d.f. = 2n - 2 = 142 \quad (17)$$

Pagal nutylėjimą, reikšmingumo lygis $\alpha = 0,05$, tai visiems atvejams $t_{\alpha, d.f.} = 1,656$. Tada, pagal (18) formulę [37], apskaičiuojama t_0 reikšmė.

$$t_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{s_p \cdot \sqrt{\frac{2}{n}}} \quad (18)$$

Čia s_p – sudėtinis standartinis nuokrypis (angl. *pooled standard deviation*), kuris apskaičiuojamas pagal (19) formulę [37].

$$s_p = \sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{2}} \quad (19)$$

Apskaičiuotos t_0 reikšmės pateikiamos lentelėje (žr. 3.3 lentelę).

3.3 lentelė. Apskaičiuotos t testo reikšmės ir tikimybės

Metodų pora	Reikšmė T_0	Tikimybė $P(T \leq T_0)$
TS ir MC	0,978	0,165
MC ir TMC	-0,246	0,597
TS ir TMC	0,694	0,245

Kadangi $t_0 < t_{\alpha, d.f.}$, todėl visiems atvejams (žr. 3.3 lentelę) priimama nulinė hipotezė. Tai reiškia, kad nėra stiprių įrodymų, jog pirmos imties vidurkis didesnis už antros imties vidurkį. Tikimybė P šiuo atveju parodo, kad Monte Carlo metodo algoritmas tiksliausias. Tikimybė, kad Monte Carlo metodu gauta reikšmė bus tikslesnė už tiesių susikirtimo metodo yra 0,835 (arba 1-0,165). Tačiau Monte Carlo metodas mažai skyriais nuo tikros masės centro metodo, nes tikimybė, kad Monte Carlo metodu gauta reikšmė tikslesnė yra tik 0,597.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

Vietos nustatymui, panaudojant GSM technologiją naudojami penki metodai: Korio globalaus identifikavimo (CGI), priimto signalo atvykimo kampo (AOA), priimto signalo laiko (TOA), priimto signalo laiko skirtumo (TDOA) ir priimto signalo stiprumo (RSS). Objekto dislokacijos vietos nustatymo, panaudojant GSM lokacijos principus, tyrimui tinkamiausias yra korio globalaus identifikavimo metodas, nes nereikia modifikuoti ryšio stočių (BTS) ir mobilios stoties (MS) įrangos. Taip pat CGI metodas yra atsparesnis aplinkos poveikiui, universalesnis ir CGI metodo realizavimo kaina yra mažesnė.

Naudojamos visų trijų (UAB „Bitė Lietuva“, UAB „Telia“ ir UAB „Tele2“) komercinio GSM tinklo operatorių ryšio stočių duomenų bazės. Vietos nustatymo prasme operatoriaus „Tele2“ pateikiama duomenų bazė yra informatyviausia. Taip pat ištirta didžiausia atviros prieigos duomenų bazė ir nustatyta, kad tiksliam vietos nustatymui ši duomenų bazė netinka dėl GSM ryšio stočių koordinacių netikslumo ir mažo duomenų kiekio.

Visų bandymų metu gautos korio identifikavimo (CID) ir signalo vėlinimo (TA) reikšmės. Tačiau pastebėta, kad visuose bandymuose, kuriuose naudota „Tele2“ operatoriaus SIM kortelė, duomenų bazėje trūko CID reikšmių. Tai parodo, kad yra reikalingas naudojamos duomenų bazės atnaujinimas. Taip pat pastebėta, kad dažnai signalo vėlinimo reikšmės yra gaunamos didesnės nei teoriškai apskaičiuotos TA reikšmės. Bandymų metu ištirtas *Quectel* įtaiso algoritmas yra naudojamas vietos nustatymui pagal GSM duomenis. Nustatyta, kad *Quectel* algoritmas yra nepakankamai tikslus, nes apskaičiuotos koordinatės nuokrypis nuo realios koordinatės vidurkio viršija 1 km (apytiksliai 1496 metro).

Situacijų modeliavimui parašytos trys programos, pagal tris skirtingus metodus. Šie metodai yra: tiesių susikirtimo, Monte Carlo ir tikros masės centro metodai. Visi metodai veikia be klaidų ir juos taikant apskaičiuotos objekto koordinatės visiems situacijų modeliams. Pagal apskaičiuotas objekto koordinatas sudarytos nuokrypių nuo realios objekto padėties imtys.

Modeliuojamų metodų tikslumas palygintas su *Quectel* įtaiso algoritmu. Nustatyta, kad statistiškai daugiau nei 95 procentų atvejų, visų modeliuojamų metodų tikslumas yra didesnis už *Quectel* algoritmą. Lyginant modeliuojamus metodus tarpusavyje, nustatytas nepakankamas skirtumas įvertinti 0,05 reikšmingumo lygiu. Tačiau apskaičiuota, kad Monte Carlo metodas tiksliausias ir 83,5 procentų atvejų yra tikslesnis už tiesių susikirtimo metodą bei 59,7 procentų tikslesnis už tikros masės centro metodą.

Tolimesnėms objekto vietos nustatymo tyrimams, naudojantis GSM ryšiu, rekomenduojama tobulinti Monte Carlo metodu paremtą algoritmą, panaudojant papildomą informaciją, kaip GSM ryšio stočių signalo stiprumus arba tikslinant signalo vėlinimo reikšmes, apskaičiuojant jų vidurkį.

INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. Telecomhall.com, Analyzing Coverage with Propagation Delay - PD and Timing Advance - TA (GSM-WCDMA-LTE). [Žiūrėta 2016-01-23] Prieiga internete: <http://www.telecomhall.com/analyzing-coverage-with-propagation-delay-pd-and-timing-advance-ta-gsm-wcdma-lte.aspx>
2. Wikipedia, GSM – Wikipedia, the free encyclopedia. [Žiūrėta 2015-12-07] Prieiga internete: <https://en.wikipedia.org/wiki/GSM>
3. Brida P. (2003). Location technologies for GSM / Department of Telecommunication, Faculty of Electrical Engineering, University of Žilina, Slovak Republic.
4. Ibrahim M. & Youssef M. (2012). Vehicular Technology, IEEE Transactions on // CellSense: An Accurate Energy-Efficient GSM Positioning System. Vol, 61 Iss. 1, p. 286-296. DOI: 10.1109/TVT.2011.2173771.
5. De Groote A. (2005). GSM Positioning Control. Seminar Mobile business Dr. Henrik Stormer/ University of Fribourg, Switzerland.
6. Singh, B., Pallai, S., & Rath, S. K. (2012). A Survey of Cellular Positioning Techniques in GSM Networks. In NATIONAL CONFERENCE IN MOBILE COMPUTING-NCMC'12.
7. Schwieger, V. (2007). Positioning within the GSM Network. In 6th FIG Regional Conference San José, Costa Rica.
8. Wikipedia, Multilateration - Wikipedia, the free encyclopedia. [Žiūrėta 2015-12-11] Prieiga internete: <https://en.wikipedia.org/wiki/Multilateration>
9. Cisco, The Technologies behind a Context - Aware Mobility Solution – CISCO White Paper. [Žiūrėta 2015-12-11] Prieiga internete: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/borderless-networks/context-aware-mobility-solution/white_paper_c11-476796.html
10. Meneses, F., & Moreira, A. (2006). IEEE Pervasive Health Conference and Workshops // Using GSM CellID positioning for place discovering. p. 1-8. DOI: 10.1109/PCTHEALTH.2006.361692.
11. Google, Google Maps Geolocation API – Google Developers. [Žiūrėta 2015-12-13] Prieiga internete: <https://developers.google.com/maps/documentation/geolocation/intro>
12. Wikipedia, UMTS (telecommunication) – Wikipedia, the free encyclopedia. [Žiūrėta 2016-01-31] Prieiga internete: [https://en.wikipedia.org/wiki/UMTS_\(telecommunication\)](https://en.wikipedia.org/wiki/UMTS_(telecommunication))
13. TC-SMG, E. T. S. I. European digital telecommunications system (Phase 2); Radio subsystem synchronization (GSM 05.10). ETSI-European Telecommunications Standards Institute, 1996.

14. TelecomHall.com, Parameter Timing Advance (TA). [Žiūrėta 2016-02-10] Prieiga internete: <http://www.telecomhall.com/parameter-timing-advance-ta.aspx>
15. Raitoharju, M, Ali-löytty, S; Wirola, L. (2011). International Society for Optics and Photonics. International Conference on Graphic and Image Processing (ICGIP 2011), 82855L // Estimation of base station position using timing advance measurements. p. 1-8. DOI:10.1117/12.913427
16. Kuipers, M., Gradalski, P., & Pakulski, M. (2005). Low cost positioning and efficient fallback in GSM and UTRAN networks. In Proceedings of the 2nd Workshop on Positioning, Navigation and Communication (p. 57-62).
17. GSM-modem.de, GSM location by Timing Advance. [Žiūrėta 2016-02-10] Prieiga internete: <http://www.gsm-modem.de/gsm-location.html>
18. Drane, C., Macnaughtan, M., & Scott, C. (1998). Communications Magazine, IEEE // Positioning GSM telephones. Vol 36 Iss. 4p. 46-54,59. DOI: 10.1109/35.667413.
19. Lietuvos Respublikos ryšių reguliavimo tarnyba, Judriojo ryšio tinklų tikėtinos aprėpties zonos. [Žiūrėta 2015-12-10] Prieiga internete: <http://epaslaugos.rrt.lt/apreptis/>
20. Geoportal, Judriojo ryšio tinklai – Lietuvos Erdvinės informacijos portalas. [Žiūrėta 2015-12-10] Prieiga internete: <http://www.geoportal.lt/tinklai/>
21. Opencellid.org. The world's largest Open Database of Cell Towers. [Žiūrėta 2016-05-30] Prieiga internete: <http://opencellid.org/>
22. Movable Type Scripts. Calculate distance, bearing and more between Latitude/Longitude points. [Žiūrėta 2016-05-30] Prieiga internete: <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>
23. Mikroe.com, GSM2 Click – User Manual. [Žiūrėta 2016-02-10] Prieiga internete: <http://download.mikroe.com/documents/add-on-boards/click/gsm-2/gsm-2-click-manual-v100.pdf>
24. Quectel.com, GSM QuecCell AT Commands Manual V1.0. [Žiūrėta 2016-03-21] Prieiga internete: http://www.quectel.com/UploadImage/Downlad/Quectel_GSM_QuecCell_AT_Commands_Manual_V1.0.pdf
25. Quectel.com, M95 AT Commands Manual V3.1. [Žiūrėta 2016-03-21] Prieiga internete: https://www.robofun.ro/docs/gsm/Quectel_M95_AT_Commands_Manual_V3.1.pdf
26. Quectel.com, M95 Hardware Design V1.3. [Žiūrėta 2016-03-20] Prieiga internete: http://www.quectel.com/UploadImage/Downlad/M95_Hardware_Design_V1.3.pdf

27. Quectel.com, QuecLocator AT Commands Manual V1.0. [Žiūrėta 2017-05-19] Prieiga internete:
http://support.lyconsys.com/download/3gplus5/Quectel_QuecLocator_AT_Commands_Manual_V1.0.pdf
28. StackOverflow.com, Calculating new longitude, latitude from old + n meters. [Žiūrėta 2017-05-01] Prieiga internete: <http://stackoverflow.com/questions/7477003/calculating-new-longitude-latitude-from-old-n-meters>
29. StackExchange.com, Algorithm for offsetting a latitude/longitude by some amount of meters [Žiūrėta 2017-05-01] Prieiga internete: <https://gis.stackexchange.com/questions/2951/algorithm-for-offsetting-a-latitude-longitude-by-some-amount-of-meters>
30. Wikipedia, Center of mass – Wikipedia, the free encyclopedia. [Žiūrėta 2017-05-05] Prieiga internete: https://en.wikipedia.org/wiki/Center_of_mass
31. Protter, M. H., & Morrey, C. B. (1977). College calculus with analytic geometry. Addison-Wesley.
32. Wikipedia, Centroid – Wikipedia, the free encyclopedia. [Žiūrėta 2017-05-05] Prieiga internete: <https://en.wikipedia.org/wiki/Centroid>
33. Wikipedia, List of centroids – Wikipedia, the free encyclopedia. [Žiūrėta 2017-05-05] Prieiga internete: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_centroids
34. Google žemėlapiai. [Žiūrėta 2017-05-25] Prieiga internete: <https://www.google.lt/maps/>
35. M. Ibrahim and M. Youssef, "CellSense: A Probabilistic RSSI-Based GSM Positioning System," 2010 IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM 2010, Miami, FL, 2010, pp. 1-5. DOI: 10.1109/GLOCOM.2010.5683779
36. M. Ibrahim and M. Youssef, "Enabling wide deployment of GSM localization over heterogeneous phones," 2013 IEEE International Conference on Communications (ICC), Budapest, 2013, pp. 6396-6400. DOI: 10.1109/ICC.2013.6655634
37. Wikipedia, Student's t-test – Wikipedia, the free encyclopedia. [Žiūrėta 2017-05-25] Prieiga internete: https://en.wikipedia.org/wiki/Student%27s_t-test
38. Student's t-test table. [Žiūrėta 2017-06-01] Prieiga internete: <http://www.sjsu.edu/faculty/gerstman/StatPrimer/t-table.pdf>

PRIEDAI

Priedas 1. *Matlab* programa *opencellid.org* duomenų bazės analizei

```
%% failu pavadinimai
OpensourceFILE = 'cell_towers.xlsx';
Tele2FILE = 'Tele2.xlsx';
OmnitelFILE = 'omnitel.xls';
BiteFILE = 'bite.xlsx';
%% Import Omnitel data
[temp1,temp1,Opensource] = xlsread(OpensourceFILE,2,'F2:H250');
[temp1,temp1,Original] = xlsread(OmnitelFILE,1,'A2:C1071');
sheet = 2;
%% Import Tele2 data
[temp1,temp1,Opensource] = xlsread(OpensourceFILE,3,'F2:H105');
[temp1,temp1,Original] = xlsread(Tele2FILE,2,'A2:C952');
sheet = 1;
%% Import Bite data
[temp1,temp1,Opensource] = xlsread(OpensourceFILE,4,'F2:H338');
[temp1,temp1,Original] = xlsread(BiteFILE,1,'A2:C3029');
sheet = 3;
%% pagalbiniu duomenu paruosimas
r = 4; % tikriname pirmus 3 simbolius
n = length(Opensource); %CID numeriu skaicius opensource
m = length(Original); %CID numeriu skaicius originale
k = 0; % apnulimas atitikimu skaitiklis
D = zeros(n,1); % sukuriamas 0 masyvas (del greicio)
%% for ciklas lygina atitikimus
for i = 1:n
    str = Opensource{i,1}; % ieskomas string
    rastas = strncmp(Original,str,r); % paieska Originale
    tmpIndex = find(rastas); % eilute kurioje rastas atitikimas
    if tmpIndex>0 % ar rastas atitikimas?
        Lon = Original{tmpIndex,2}; % Longitude
        Lat = Original{tmpIndex,3}; % Latitude
        sLon = Opensource{i,2}; % Longitude
        sLat = Opensource{i,3}; % Latitude
        k = k+1; % jei if tenkinamas k++
        d = Atstumas_tarp_koordinaciu(Lat,Lon,sLat,sLon);
    %atstumas
        D(k) = d; % irasomas i masyva
    end
end
%% paskutinis informacijos apdorojimas ir isaugojimas
D=D(1:k); % ismetame 0 jei buvo neatitikimu
A = { '', 'CID', '';
      'Duomb', 'Rastu', 'Orig';
      i, k, m;
      'skirtumai', 0, ''}; % paruosiamas tekstas faile
filename = 'atstumas.xlsx'; % failo pavadinimas
xlswrite(filename,A,sheet,'B2'); % irasomas paruoestas tekstas i
faila
xlswrite(filename,D,sheet,'C5'); %irasomas masyvas i faila
```


Priedas 2. Atstumo tarp koordinacių funkcija

```
function [ d ] = Atstumas_tarp_koordinaciju( Lat, Lon, sLat, sLon )
%Funkcija apskaičiuojanti atstuma tarp dviejų koordinacijų pagal
%Pytagoro teorema (+equirectangular projection)
% Lat - (input) pirmos koordinatės latitute laipsniais
% Lon - (input) pirmos koordinatės longitute laipsniais
% sLat - (input) antros koordinatės latitute laipsniais
% sLon - (input) antros koordinatės longitute laipsniais
% d - (output) atstumas tarp koordinacijų kilometrais (km)
LatR = deg2rad(Lat);
LonR = deg2rad(Lon);
sLonR = deg2rad(sLon);
sLatR = deg2rad(sLat);
x = (LonR-sLonR)*cos((LatR+sLatR)/2);
y = LatR-sLatR;
d = sqrt(x^2+y^2)*6371;
end
```

Priedas 3. Vertimą iš x ir y į ilgumą ir platumą realizuojanti funkcija

```
function [ nLat, nLon ] = delta_koord ( Lat, Lon, dx, dy )
%Funkcija apskaičiuojanti koordinatės kai turima pradinės
koordinatės
%ir x bei y nuokrypius
% Lat - (input) pradinės koordinatės latitute laipsniais
% Lon - (input) pradinės koordinatės longitute laipsniais
% dx - (input) nuokrypis metrais x projekcijoje (m)
% dy - (input) nuokrypis metrais y projekcijoje (m)
% nLat - (output) nauja koordinatė latitute laipsniais
% nLon - (output) nauja koordinatė longitute laipsniais
R=6371000;
% nuokrypis radianais
dLat = dy/R;
dLon = dx/(R*cos(pi*Lat/180));
% naujos koordinatės
nLat = Lat + dLat * 180/pi;
nLon = Lon + dLon * 180/pi;
end
```

Priedas 4. AT komandų atsakymų tekstinis failas

AT+QOPS

+QOPS: 2,"TELE2","TELE2","24603"

1,0031,210B,1B,32,45

2,0031,210E,21,25,857

3,0031,210D,24,23,767

4,0031,210C,18,23,8

5,0031,210A,1B,19,42

6,0031,400B,1D,17,13

7,0031,D19A,26,16,28

8,0031,434B,1C,17,6

+QOPS: 3,"BITE GSM","BITE","24602"

1,0018,0BB1,11,29,121

2,0018,0BC0,13,34,54

3,0018,0354,1B,27,106

4,0018,00FD,3B,29,60

5,0018,0509,1D,24,70

6,0018,0355,3F,25,111

7,0018,0101,3E,28,57

8,0018,0593,1D,22,66

9,0018,09BC,3B,23,96

10,0018,00FE,3F,22,51

+QOPS: 3,"OMNITEL","OMT","24601"

1,006E,528C,18,35,76

2,006E,522A,1B,32,40

3,006E,5A4B,3E,29,37

4,006E,53AA,1B,27,39

5,006E,522B,3C,28,29

6,006E,5A42,3E,25,744

7,006E,5221,3A,27,736

8,006E,528B,39,22,83

9,006E,523A,1F,21,36

10,006E,5222,3E,18,748

OK

AT+QLOCKF=1,0,28

OK

AT+QOPS

+QOPS: 2,"TELE2","TELE2","24603"

1,0031,D19A,26,17,28

OK

RING

RING

AT+QCHINFO?

+QCHINFO: 6,28,-93,27,1,0,0

RING

AT+QLASTTA

+QLASTTA: 1

OK

Priedas 5. Quectel M95 komanda nustatytos vietos nuokrypiai

Bandymo Nr.	GSM ryšio operatorius	Koordinatės (laipsniais)		Nuokrypis (m)
		Platuma (Šiaurinė)	Ilguma (Rytinė)	
1	Telia	54,896542	23,965405	541
		54,897175	23,962421	624
2	Bitė	54,888702	23,963367	342
		54,897137	23,977209	1010
		54,899475	23,955647	1036
		54,894711	23,950504	959
3	Tele2	54,895237	23,956497	649
4	Telia	54,903477	23,952681	879
		54,906017	23,964804	80
		54,911049	23,957466	805
		54,911263	23,96142	685
		54,901184	23,974377	736
5	Bitė	54,904789	23,960384	366
		54,905849	23,956282	615
		54,900257	23,949265	1222
		54,907726	23,96987	342
		54,91449	23,952047	1322
		54,900066	23,961971	671
		54,911972	23,959656	807
		54,907799	23,95533	716
6	Tele2	54,90926	23,968655	437
		54,903847	23,972801	485
		54,9011	23,967123	514
		54,910908	23,972885	734
7	Telia	55,061947	24,258835	1497
		55,078358	24,261305	338
		55,078453	24,274019	865
		55,081856	24,267736	826
8	Bitė	55,074097	24,265062	260
		55,069508	24,271967	925
		55,039841	24,219564	4767
		55,039322	24,231054	4450
		55,075974	24,277891	1041
		55,033539	24,197317	6192
		55,074097	24,265062	260

9	Tele2	55,074478	24,271519	640
		55,075108	24,275311	875
		55,053616	24,245737	2616
		55,073475	24,257921	310
		55,100582	24,257269	2822
10	Telia	55,630882	21,604757	7555
11	Bitè	55,596413	21,596483	4611
		55,565319	21,658663	631
12	Tele2	55,563091	21,634274	1104
13	Telia	55,470814	22,686319	315
		55,452194	22,709682	2255
14	Bitè	55,470055	22,659004	1992
		55,531612	22,77891	8882
15	Tele2	55,454182	22,703264	1866
		55,470699	22,685963	328

Priedas 6. Tiesių susikirtimo metodo programa

```
% MAIN
% isvalimas
clc; clear all;
% failo nuskaitymas
path = 'C:\Users\ATomas\Google Drive\Magistras\DATA\Panemune\';
fileName = 'Bite.txt';
Reali_koord = [54.891697, 23.964559];
fullName = strcat(path,fileName);
fileID = fopen(fullName);
formatSpec = '%4s, %2f, %11.9f, %11.9f';
C = textscan(fileID,formatSpec);
fclose(fileID);
n = length(C{1});
l = 0;
% Kintamųjų deklaravimas
% BTS koordinatės {lat, lon, TA}
for i = 1:n
    for j = (i+1):n
        l = l + 1;
        K0 = {C{3}(i),C{4}(i),C{2}(i)};
        K1 = {C{3}(j),C{4}(j),C{2}(j)};
        [d,dx,dy] = Atstumas_tarp_koordinacių(K0{1},K0{2},K1{1},K1{2});
        R0 = 550*(K0{3}+1); % TA
        R1 = 550*(K1{3}+1); % TA
        C0 = [0,0];
        C1 = [dx,dy];
        % apskritimo susikirtimo taskų gavimas
        F = @(z) ((z(1)-C0(1))^2+(z(2)-C0(2))^2-R0^2; ...
            (z(1)-C1(1))^2+(z(2)-C1(2))^2-R1^2);
        opt = optimoptions(@fsolve);
        opt.Algorithm = 'levenberg-marquardt';
        opt.Display = 'off';
        xy1 = fsolve(F,[C0(1),C0(1)+R0],opt);
        % fprintf('First intersection point: (%f,%f)\n',xy1(1),xy1(2)); % test
        xy2 = fsolve(F,[C0(1),C0(1)-R0],opt);
        % fprintf('Second intersection point: (%f,%f)\n',xy2(1),xy2(2)); % test
        % tiesės tarp BTS centru ir apskritimo susikirtimo taskų
        [k,b] = Tiese(C0,C1);
        [m,a] = Tiese(xy1,xy2);
        % sprendimas
        syms x y
        eqn1 = k*x - y == -b;
        eqn2 = m*x - y == -a;
        [A,B] = equationsToMatrix([eqn1, eqn2], [x, y]);
        X = linsolve(A,B);
        Ap_k = [double(X(1)) double(X(2))];
        % rezultatas
        [nLat(l), nLon(l)] = delta_koord ( K0{1}, K0{2}, Ap_k(1), Ap_k(2) );
        nuokrypis(l) = Atstumas_tarp_koordinacių( Reali_koord(1),...
            Reali_koord(2),nLat(l),nLon(l));
        figure (l)
        A0 = circle(0,0,R0,'b');
        hold on
        A1 = circle(C1(1),C1(2),R1,'g');
        ACt = plot([C0(1),C1(1)],[C0(2),C1(2)],'m');
        STt = plot([xy1(1),xy2(1)],[xy1(2),xy2(2)],'r');
        TSC = plot(Ap_k(1),Ap_k(2),'kx','MarkerSize',15);
        legend([A0 A1 ACt STt TSC], 'Pirmas BTS', 'Antras BTS', 'Cent. tiesė', 'Susi. tiesė', 'Centras')
    end
end
filename = 'test.xlsx'; % failo pavadinimas
xlswrite(filename,nuokrypis,1,'B4'); % irasomas atstumu masyvas i faila
```

Priedas 7. Monte Carlo metodo programa

```

%% MAIN
% isvalimas
clc; clear all;
% failo nuskaitymas
path = 'C:\Users\ATomas\Google Drive\Magistras\DATA\Panemunė';
fileName = 'Bite.txt';
Reali_koord = [54.891697, 23.964559];
fullName = strcat(path,fileName);
fileID = fopen(fullName);
formatSpec = '%4s, %2f, %11.9f, %11.9f';
C = textscan(fileID,formatSpec);
fclose(fileID);
n = length(C{1});
l = 0;
% Kintamųjų deklaravimas
% BTS koordinatės {lat, lon, TA}
for i = 1:n
    for j = (i+1):n
        l = l + 1;
        K0 = {C{3}(i),C{4}(i),C{2}(i)};
        K1 = {C{3}(j),C{4}(j),C{2}(j)};
        [d,dx,dy] = Atstumas_tarp_koordinacių(K0{1},K0{2},K1{1},K1{2});
        R0 = 550*(K0{3}+1); % TA
        R1 = 550*(K1{3}+1); % TA
        C0 = [0,0];
        C1 = [dx,dy];
        % apskritimų susikirtimo taskų gavimas
        F=@(z) ([ (z(1)-C0(1))^2+(z(2)-C0(2))^2-R0^2; ...
            (z(1)-C1(1))^2+(z(2)-C1(2))^2-R1^2]);
        opt=optimoptions(@fsolve);
        opt.Algorithm='levenberg-marquardt';
        opt.Display='off';
        xy(1,:) = fsolve(F,[C0(1),C0(1)+R0],opt);
        % fprintf('First intersection point: (%f,%f)\n',xy1(1),xy1(2)); % test
        xy(2,:) = fsolve(F,[C0(1),C0(1)-R0],opt);
        % fprintf('Second intersection point: (%f,%f)\n',xy2(1),xy2(2)); % test
        % apskritimų susikirtimo taskų gavimas
        F=@(z) ([ (z(1)-C0(1))^2+(z(2)-C0(2))^2-(R0-550)^2; ...
            (z(1)-C1(1))^2+(z(2)-C1(2))^2-R1^2]);
        opt=optimoptions(@fsolve);
        opt.Algorithm='levenberg-marquardt';
        opt.Display='off';
        xy(3,:) = fsolve(F,[C0(1),C0(1)+R0-550],opt);
        % fprintf('First intersection point: (%f,%f)\n',xy1(1),xy1(2)); % test
        xy(4,:) = fsolve(F,[C0(1),C0(1)-R0],opt);
        % fprintf('Second intersection point: (%f,%f)\n',xy2(1),xy2(2)); % test
        F=@(z) ([ (z(1)-C0(1))^2+(z(2)-C0(2))^2-R0^2; ...
            (z(1)-C1(1))^2+(z(2)-C1(2))^2-(R1-550)^2]);
        opt=optimoptions(@fsolve);
        opt.Algorithm='levenberg-marquardt';
        opt.Display='off';
        xy(5,:) = fsolve(F,[C0(1),C0(1)+R0],opt);
        % fprintf('First intersection point: (%f,%f)\n',xy1(1),xy1(2)); % test
        xy(6,:) = fsolve(F,[C0(1),C0(1)-R0-550],opt);
        % fprintf('Second intersection point: (%f,%f)\n',xy2(1),xy2(2)); % test
        F=@(z) ([ (z(1)-C0(1))^2+(z(2)-C0(2))^2-(R0-550)^2; ...
            (z(1)-C1(1))^2+(z(2)-C1(2))^2-(R1-550)^2]);
        opt=optimoptions(@fsolve);
        opt.Algorithm='levenberg-marquardt';
        opt.Display='off';
        xy(7,:) = fsolve(F,[C0(1),C0(1)+R0-550],opt);
        % fprintf('First intersection point: (%f,%f)\n',xy1(1),xy1(2)); % test
        xy(8,:) = fsolve(F,[C0(1),C0(1)-R0-550],opt);
        % fprintf('Second intersection point: (%f,%f)\n',xy2(1),xy2(2)); % test
        kampas = atan(C1(2)/C1(1));
        if C1(1)>0
    
```

```

koef_x=-1;
else
koef_x=1;
end
if C1(2)>0
koef_y=-1;
else
koef_y=1;
end
t(1,1) = koef_x*(d-R0)*cos(kampas);    t(1,2) = koef_y*(d-R0)*sin(kampas);
t(2,1) = koef_x*(R1)*cos(kampas);     t(2,2) = koef_y*(R1)*sin(kampas);
t(3,1) = koef_x*(d-(R0-550))*cos(kampas); t(3,2) = koef_y*(d-(R0-550))*sin(kampas);
t(4,1) = koef_x*(R1-550)*cos(kampas);  t(4,2) = koef_y*(R1-550)*sin(kampas);
tn(1,:)= C1 + t(1,:);
tn(2,:)= C1 + t(2,:);
tn(3,:)= C1 + t(3,:);
tn(4,:)= C1 + t(4,:);
i_D = zeros(1,4);
for m = 1:4
if (((tn(m,1)-C0(1))^2+(tn(m,2)-C0(2))^2<=(R0+10)^2) && ...
((tn(m,1)-C1(1))^2+(tn(m,2)-C1(2))^2<=(R1+10)^2) && ...
((tn(m,1)-C1(1))^2+(tn(m,2)-C1(2))^2>=(R1-550)^2) && ...
((tn(m,1)-C0(1))^2+(tn(m,2)-C0(2))^2>=(R0-550)^2))
i_D(m) = m;
end
end
i_D = i_D(i_D~=0);
tm=tn([i_D],:);
y_min = min([xy(:,2);tm(:,2)])-10;
y_max = max([xy(:,2);tm(:,2)])+10;
x_min = min([xy(:,1);tm(:,1)])-10;
x_max = max([xy(:,1);tm(:,1)])+10;
x_sum = 0; y_sum = 0; o = 0;
% rng('default') % For reproducibility
u(:,1)= x_min+(x_max-x_min)*rand(10000,1);
u(:,2)= y_min+(y_max-y_min)*rand(10000,1);
for m = 1:10000
if (((u(m,1)-C0(1))^2+(u(m,2)-C0(2))^2<=(R0)^2) && ...
((u(m,1)-C1(1))^2+(u(m,2)-C1(2))^2<=(R1)^2) && ...
((u(m,1)-C1(1))^2+(u(m,2)-C1(2))^2>=(R1-550)^2) && ...
((u(m,1)-C0(1))^2+(u(m,2)-C0(2))^2>=(R0-550)^2))
x_sum = x_sum + u(m,1);
y_sum = y_sum + u(m,2);
o = o + 1;
x_n(o) = u(m,1);
y_n(o) = u(m,2);
end
end
x_vid = x_sum/o;
y_vid = y_sum/o;
area= o/10000;
[nLat(1), nLon(1)] = delta_koord ( K0{1}, K0{2}, x_vid, y_vid );
nuokrypis(1) = Atstumas_tarp_koordinaciu( Reali_koord(1),...
Reali_koord(2),nLat(1),nLon(1));
figure (1)
Visi = scatter(u(:,1),u(:,2),'c');
hold on
Pat = scatter(x_n,y_n,'b');
clear x_n;clear y_n;
Cen = scatter(x_vid,y_vid,'r','filled');
A0 = circle(0,0,R0,'r');
A1 = circle(C1(1),C1(2),R1,'g');
A01 = circle(0,0,R0-550,'r');
A11 = circle(C1(1),C1(2),R1-550,'g');
legend([A0 A1 Visi Pat Cen], 'Pirmas BTS', 'Antras BTS', 'Nepatekę', 'Patekę', 'Centras');
end
end
filename = 'test.xlsx'; % failo pavadinimas
xlswrite(filename,nuokrypis,2,'B2'); % irasomas atstumu masyvas i faila

```

Priedas 8. Tikros masės centro metodo programa

```
% % MAIN
% isvalimas
clc; clear all;
% failo nuskaitymas
path = 'C:\Users\ATomas\Google Drive\Magistras\DATA\Dauksaiciai\';
fileName = 'Bite.txt';
Reali_koord = [55.567858, 21.649681];
fileID = fopen(strcat(path,fileName));
formatSpec = '%4s, %2f, %11.9f, %11.9f';
C = textscan(fileID,formatSpec);
fclose(fileID);
n = length(C{1});
% Kintamųjų deklaravimas
% BTS koordinatės {lat, lon, TA}
l = 0;
for i = 1:n
    for j = (i+1):n
        l = l + 1;
        K0 = {C{3}(i),C{4}(i),C{2}(i)};
        K1 = {C{3}(j),C{4}(j),C{2}(j)};
        [d,dx,dy] = Atstumas_tarp_koordinacių( K0{1},K0{2},K1{1},K1{2} );
        R0 = 550*(K0{3}+1); %TA
        R1 = 550*(K1{3}+1); %TA
        C0 = [0,0];
        C1 = [dx,dy];

        % figure
        % A0 = circle(C0(1),C0(2),R0,'b');
        % hold on
        % A1 = circle(C1(1),C1(2),R1,'g');

        if (R0 + R1 > d) && (abs(R0-R1)<d)
            xy = Circles_intersec_Sol([C0(1),C0(2),R0],[C1(1),C1(2),R1]);
            kampas1 = kampas_tarp_koord(xy(1,:),xy(2,:),R0);
            kampas = atan(abs(C1(2)/C1(1)));
            [d1,m1]=Aps_segmento_d_m(R0,kampas1/2);
            if C1(1)>0
                koef_x=1;
            else
                koef_x=-1;
            end
            if C1(2)>0
                koef_y=1;
            else
                koef_y=-1;
            end
            t(1,1) = koef_x*d1*cos(kampas);    t(1,2) = koef_y*d1*sin(kampas);
            tn(1,:)= C0 + t(1,:);
            % plot(xy([1 2],1),xy([1 2],2),'r');
            % plot(tn(1,1),tn(1,2),'bx','MarkerSize',10);

            kampas2 = kampas_tarp_koord((xy(1,:)-C1),(xy(2,:)-C1),R1);
            [d2,m2]=Aps_segmento_d_m(R1,kampas2/2);
            t(2,1) = -koef_x*d2*cos(kampas);    t(2,2) = -koef_y*d2*sin(kampas);
            tn(2,:)= C1 + t(2,:);
            % plot(tn(2,1),tn(2,2),'gx','MarkerSize',10);

            dis = (d1*m1+(d-d2)*m2)/(m1+m2);
            t(3,1) = koef_x*dis*cos(kampas);    t(3,2) = koef_y*dis*sin(kampas);
            tn(3,:)= C0 + t(3,:);
        end
    end
end
```



```

    x_vid = tn(3,1);    y_vid = tn(3,2);
%   plot (tn(3,1),tn(3,2),'kx','MarkerSize',10);

else
    if (R0<R1)
        x_vid = C0(1,1); y_vid = C0(1,2);
    else
        x_vid = C1(1,1); y_vid = C1(1,2);
    end
%   plot (x_vid,y_vid,'rx','MarkerSize',10);
end

[nLat(1), nLon(1)] = delta_koord ( K0{1}, K0{2}, x_vid, y_vid );
nuokrypis(1) = Atstumas_tarp_koordinaciu( Reali_koord(1),...
    Reali_koord(2),nLat(1),nLon(1));

    end
end
filename = 'test_TMC.xlsx'; % failo pavadinimas
xlswrite(filename,nuokrypis,4,'B5'); % irasomas atstumu masyvas i faila

```

Priedas 9. Segmento funkcija

```

function [ d,m ] = Aps_segmento_d_m( R,tau )
%Funkcija apskaičiuojanti apskritimo segmento masės centro nuotoli
%nuo apskritimo centro ir segmento plotą
% R - (input) apskritimo spindulys
% tau - (input) puse apskritimo centrinio kampo laipsniais
% d - (output) segmento masės centro nuotoli nuo apskritimo centro
% m - (output) segmento plotas (arba masė jei segmentas vienalytis)
t = tau*pi/180; % vertimas i radianus
d = (4*R*sin(t)^3)/(3*(2*t-sin(2*t)));
m = (R^2)*(2*t-sin(2*t))/2;
end

```

Priedas 10. HTML programos kodas pavyzdžių atvaizdavimui

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<title>Bandymas bendrabutyje Tele2</title>
</head>
<body>
<h1>Bandymas (Tele2), atvaizdavimas su Google Maps API</h1>
<div id="map" style="width:100%;height:500px"></div>

<script>
function myMap() {
  var MyCenter = new google.maps.LatLng(54.905666, 23.965898);
  var myCID1 = new google.maps.LatLng(54.905864, 23.966116);
  var myCID2 = new google.maps.LatLng(54.905364, 23.950535);
  var TS = new google.maps.LatLng(54.905841956818930, 23.965429086125944);
  var TMC = new google.maps.LatLng(54.905763985544890, 23.962999387692353);
  var MC = new google.maps.LatLng(54.905734659362814, 23.963236328327007);
  var Q = new google.maps.LatLng(54.90926, 23.968655);
  var mapCanvas = document.getElementById("map");
  var mapOptions = {center: MyCenter, zoom: 14};
  var map = new google.maps.Map(mapCanvas, mapOptions);
  var marker = new google.maps.Marker({position: MyCenter,label:"Tikra",title:"Tikra vieta"});
  var marker1 = new google.maps.Marker({position: myCID1,title:"CID=434B"});
  var marker2 = new google.maps.Marker({position: myCID2,title:"CID=210B"});
  marker.setMap(map);
  marker1.setMap(map);
  marker2.setMap(map);
  var marker_TS = new google.maps.Marker({position: TS,label:"TS",title:"Apskaiciuotas centras(tiesių susikirtimo)});
  marker_TS.setMap(map);
  var marker_TMC = new google.maps.Marker({position: TMC,label:"TMC",title:"Apskaiciuotas centras (Tikros masės
centro)});
  marker_TMC.setMap(map);
  var marker_MC = new google.maps.Marker({position: MC,label:"MC",title:"Apskaiciuotas centras(Monte Carlo)});
  marker_MC.setMap(map);
  var marker_Q = new google.maps.Marker({position: Q,label:"Q",title:"Gautas Quectel"});
  marker_Q.setMap(map);
  //Pirmas CID=210B
  var myCity1 = new google.maps.Circle({
    center: myCID1,
    radius: 550,
    strokeColor: "#0000FF",
    strokeOpacity: 0.6,
    strokeWeight: 2,
    fillColor: "#0000FF",
    fillOpacity: 0
  });
  myCity1.setMap(map);
  //Pirmas CID=434B
  var myCity2 = new google.maps.Circle({
    center: myCID2,
    radius: 550,
    strokeColor: "#00FF00",
    strokeOpacity: 0.6,
    strokeWeight: 2,
    fillColor: "#00FF00",
    fillOpacity: 0
  });
  myCity2.setMap(map);
  //antras CID=434B
  var myCity3 = new google.maps.Circle({
    center: myCID2,
    radius: 1100,
    strokeColor: "#00FF00",
    strokeOpacity: 0.6,
    strokeWeight: 2,
    fillColor: "#00FF00",
```

```

    fillOpacity: 0
  });
  myCity3.setMap(map);
  //pirma linija
  var LineA1Coordinates = [
    {lat: 54.905864, lng: 23.966116},
    {lat: 54.905364, lng: 23.950535}
  ];
  var LineA1 = new google.maps.Polyline({
    path: LineA1Coordinates,
    //geodesic: true,
    strokeColor: '#FF0000',
    strokeOpacity: 0.6,
    strokeWeight: 2
  });
  LineA1.setMap(map);
  //antra linija
  var LineA1Coordinates = [
    {lat: 54.910764722983920, lng: 23.964951156376323},
    {lat: 54.900919190653940, lng: 23.965907015875565}
  ];
  var LineA1 = new google.maps.Polyline({
    path: LineA1Coordinates,
    //geodesic: true,
    strokeColor: '#FF0000',
    strokeOpacity: 0.6,
    strokeWeight: 2
  });
  LineA1.setMap(map);
}
</script>

<script src="https://maps.googleapis.com/maps/api/js?callback=myMap"></script>
</body>
</html>

```

Priedas 11. Bandymų metų sudarytos nuokrypių imtys

Bandymo Nr.	Tiesių susikirtimo metodas	Monte Carlo metodas	Tikros masės centro metodas
1	884	813	749
	417	369	359
	1031	787	776
	534	529	534
	1609	1634	1727
	1538	1482	2029
	352	221	185
	2185	2106	2185
	682	649	644
	698	535	456
2	695	672	1082
	890	822	758
	567	527	504
	1570	1589	1808
	295	316	320
	202	163	152
4	209	131	131
	685	445	351
	398	346	328
	1062	659	364
	941	878	780
	437	430	437
	1402	1156	826
	278	199	172
	775	698	565
1282	943	798	
5	710	329	72
	928	862	1111
	766	713	620
	788	772	788
	1111	994	755
	689	329	72
	176	55	250
	565	251	216
	165	17	119
	676	588	515
	1165	1113	1124
	938	653	793
	278	199	173
	208	205	208
1090	587	793	

6	25	158	191
	471	151	298
	36	171	188
	901	861	820
	846	858	846
	474	436	429
7	575	198	228
	558	311	384
	1091	1075	1153
8	259	149	31
	571	357	249
	851	623	723
	266	204	212
	904	527	305
	761	501	1760
	1087	963	905
	926	902	926
	762	461	305
	2875	2663	2884
	965	773	1764
	727	451	357
	1298	1165	1494
	855	527	304
535	315	118	
9	347	245	532
	188	100	119
	1041	1019	1080
10	2649	2678	2655
11	2936	2729	2957
	4704	4614	4715
	2788	3022	2829