



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

Lina Pakamorytė

**GSM RYŠIO SISTEMŲ KOORDINATĖMS KADASTRINIUIOSE
MATAVIMUISE NUSTATYTI TAIKYMAS (KLAIPĖDA)**

**THE APPLICATION OF THE GSM SYSTEMS FOR DETERMINATION OF
COORDINATES IN CADASTRAL MEASUREMENT (KLAIPĖDA)**

Baigiamasis magistro darbas

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 612H14003

Kadastro informacinių sistemų specializacija

Matavimų inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Česlovas Aksamitauskas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Lina Pakamorytė

**GSM RYŠIO SISTEMŲ KOORDINATĖMS KADASTRINIULOSE
MATAVIMULOSE NUSTATYTI TAIKYMAS (KLAIPĖDA)**

**THE APPLICATION OF THE GSM SYSTEMS FOR DETERMINATION OF
COORDINATES IN CADASTRAL MEASUREMENT (KLAIPĖDA)**

Baigiamasis magistro darbas

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 612H14003

Kadastro informacinių sistemų specializacija

Matavimų inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

prof. habil. dr. Jonas Skeivalas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas lekt. Regina Žukienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2012

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Geodezijos ir kadastro katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data:.....:.....

Pirmosios pakopos studijų **Geodezijos** programos baigiamasis darbas

Pavadinimas **GSM ryšio sistemų taikymas erdvinėms koordinatėms nustatyti (L objektas)**

Autorius **Lina Pakamorytė**

Vadovas **prof. habil. dr. Jonas Skeivalas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame darbe nagrinėjamas taškų koordinatžių nustatymo metodas taikant GSM sistemas. Matavimai atlikti Vilniaus mieste, miesto teritorijoje ir pusiau atviroje teritorijoje. Šiuo būdu taškų koordinatės nustatomos remiantis triliteracijos tinklu, sudarytu iš GSM stočių ir GSM mobiliųjų imtuvų. Atstumas tarp GSM stočių ir mobiliojo imtuvo apskaičiuotas pagal GSM stočių spinduliuojamos ir mobiliųjų imtuvų priimtų signalų galių lygmenis taikant empirinį Hata-Okumura algoritmą. Pagrindiniai duomenys gauti atlikus matavimus mobiliuoju telefonu Nokia ir GPS imtuvu. Skaičiavimams atlikti naudota kompiuterinė programa VSM.m, kurioje taikomi Matlab programinio paketo operatoriai. Apskaičiuotų koordinatžių skirtumai nuo tikrųjų reikšmių pateikti grafiškai. Išnagrinėjus koordinatžių nustatymo principus ir skaičiavimo rezultatus, pateikiamos baigiamojo darbo išvados ir siūlymai.

Darbą sudaro įvadas, aštuoni skyriai, išvados ir siūlymai, literatūros sąrašas, priedai.

Darbo apimtis – 71 p. teksto be priedų, 27 ilustr., 60 lent., 19 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai

GSM ryšio sistema, bazinė stotis, mobili stotis, koordinatės, signalo stiprumas, triliteracijos tinklas.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Geodesy and Cadastre

ISBN ISSN
Copies No.
Date

Master Degree Studies **Geodesy and Cartography** study programme Final Thesis

Title **The Application of the GSM Systems for Determination of Coordinates in Cadastral Measurements (Klaipėda)**

Author **Lina Pakamorytė**

Academic supervisor **Prof Dr Habil Jonas Skeivalas**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

This final Master work represents a new method for determination of spatial coordinates, using GSM systems. The measurements was carried out in Klaipėda city and Vilnius city. A trilateration network consisted of GSM base station and mobile station was used for determination of spatial coordinates. The distance between each GSM base station and the mobile station are determined using Hata-Okumura and COST 231 propagation models. The models provides an expressing of the path loss of the signal transmitted by the GSM base station and received signal at the mobile station. Initial data was registered using mobile phone Nokia and GPS receiver. The calculation of coordinates process was carried out using VSM.m software in Matlab environment. Deviations of the coordinates of GSM recipients are shown in diagrams. The conclusion and suggestion are made according to the results.

The structure of the work consists of an introduction, four chapters, the findings, the use of reference and attachments.

Bachelor work consists of: 93 p. texts without appendixes, 47 pictures, 49 tables, 40 bibliographical entries.

Keywords

GSM system, base station, mobile station, coordinates, signal strength, trilateration network.

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	12
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	14
IVADAS	16
1. LITERATŪROS APŽVALGA	18
1.1. VIETOS NUSTATYMU PAREMTOS PASLAUGOS	20
1.2. VIETOS NUSTATYMO TECHNOLOGIJŲ PALYGINIMAS	22
1.2.1. Vietos nustatymo metodų panaudojimo patirtis Europoje ir JAV.....	23
1.2.2. Vietos nustatymo būdai Europos GSM tinkluose	23
1.2.3 Cell-ID metodas.....	23
1.2.4. TOA metodas (Time Of Arrival).....	25
1.2.5. AOA metodas (Angle Of Arrival).....	28
1.2.6. E-OTD metodas (Downlink Enhanced Observed Time Difference).....	29
1.2.7 A-GPS (Asisted Global Positioning System) metodas.....	31
1.2.8. Metodų palyginimas	33
2. RADIO SIGNALŲ STIPRUMO PROGNOZAVIMO MODELIŲ ANALIZĖ.....	35
2.1. Radijo signalo stiprumo prognozavimo atviroje erdvėje (Free space) modelis	36
2.2. Lee radijo signalo stiprumo prognozavimo modelis	36
2.3. Hata radijo signalo stiprumo modelis.....	38
2.4. Tiesinis radijo signalo stiprumo modelis.....	38
2.5. COST-231 Walfish-Ikegami radijo bangų sklaidimo modelis.....	39
2.6. Kalmano filtro modelis.....	41
3. GSM RYŠIO SISTEMŲ TAIKYMO KOORDINATĖMS NUSTATYTI TEORINIS PRINCIPAS.....	43
3.1. Koordinatinių nustatymo metodas	44
3.2. Koordinatės nustatyti taikoma programinė įranga.....	47
3.3. Pradiniai duomenys	49
4. APSKAIČIUOTŲ ERDVINIŲ KOORDINAČIŲ REZULTATAI IR KOORDINAČIŲ NUOKRYPIŲ NUO TIKRŲJŲ REIKŠMIŲ ANALIZĖ.....	55
4.4.1. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste ir Vilniaus mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=200$	56
4.4.2. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste ir Vilniaus mieste , kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=150$	64
4.4.3. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste ir Vilniaus mieste , kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=50$	72
4.4.4. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=1$	80
4.4.5. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste ir Vilniaus mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=150$, taikomas skirtingas mobiliojo imtuvo dažnis $f=1200$ MHz ir $f=900$ MHz.....	84
IŠVADOS	92
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	94
PRIEDAI	97
1 PRIEDAS. IŠMATUOTŲ TAŠKŲ PADĖTYS KLAIPĖDOS MIESTE	98
2 PRIEDAS. IŠMATUOTŲ TAŠKŲ PADĖTYS VILNIAUS MIESTE	102
3 PRIEDAS. ERDVINIŲ KOORDINAČIŲ NUSTATYMO PROGRAMA, KAI TAIKYTAS EMPIRINIS OKUMURA-HATA ALGORITMAS.....	106
4 PRIEDAS. ERDVINIŲ KOORDINAČIŲ NUSTATYMO PROGRAMA, KAI TAIKYTAS EMPIRINIS COST 231 ALGORITMAS.....	109

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Vietos nustatymo GSM tinkle metodų palyginimas pagal esminius kriterijus.....	22
2 lentelė. Galimos padėties nustatymo paklaidos naudojant Cell-ID technologiją.....	24
3 lentelė. Galimos padėties nustatymo paklaidos naudojant TOA metodą.....	25
4 lentelė. Galimos padėties nustatymo paklaidos naudojant E-OTD apskritiminį metodą.....	30
5 lentelė. Galimos padėties nustatymo paklaidos naudojant A-GPS metodą.....	32
6 lentelė. Laikas iki pirmojo fiksavimo GSP ir A-GPS technologijose	32
7 lentelė. Vietos nustatymo technologijų palyginimas.....	34
8 lentelė. Rekomenduojamos COST-231 Walfish Ikegami modelio parametrų reikšmės.....	41
10 lentelė. Mobiliuoju telefonu gauti duomenys Klaipėdos mieste	50
11 lentelė. Mobiliuoju telefonu gauti duomenys Vilniaus mieste.....	50
12 lentelė. GPS imtuvu išmatuotos taškų koordinatės Klaipėdoje.....	51
13 lentelė. GPS imtuvu išmatuotos taškų koordinatės Vilniuje	51
14 lentelė. GSM stočių duomenys Klaipėdos mieste	52
14 lentelės tęsinys. GSM stočių duomenys Klaipėdos mieste	53
15 lentelė. GSM stočių duomenys Vilniaus mieste	53
15 lentelės tęsinys. GSM stočių duomenys Vilniaus mieste	54
15 lentelės tęsinys. GSM stočių duomenys Vilniaus mieste	55
16 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas Okumura-Hata algoritmas, $p=200$	56
17 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas Okumura Hata algoritmas, $p=200$	57
18 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=200$	57
19 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=200$	58
20 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai taikytas Okumura-Hata algoritmas, $p=200$	60
21 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai taikytas Okumura Hata algoritmas, $p=200$	61
22 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=200$	61
23 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=200$	62
24 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas Okumura-Hata algoritmas, $p=150$	64
25 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas Okumura Hata algoritmas, $p=150$	65
26 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=150$	65
27 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=150$	66
28 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai taikytas Okumura-Hata algoritmas, $p=150$	68
29 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai taikytas Okumura Hata algoritmas, $p=150$	68
30 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=150$	69
31 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=150$	69

32 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas Okumura-Hata algoritmas, $p=50$	72
33 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas Okumura Hata algoritmas, $p=50$	72
34 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=50$	73
35 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=50$	73
36 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai taikytas Okumura-Hata algoritmas, $p=50$	76
37 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai taikytas Okumura Hata algoritmas, $p=50$	76
38 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=50$	77
39 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=50$	77
40 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas Okumura-Hata algoritmas, $p=1$	80
41 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas Okumura Hata algoritmas, $p=1$	80
42 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=1$	81
43 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=1$	81
44 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=150$, mobiliojo imtuvo dažnis $f=1200$ MHz	84
45 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=150$, $f=1200$ MHz	84
46 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=150$, mobiliojo imtuvo dažnis $f=900$ MHz	85
47 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=150$, $f=900$ MHz	85
48 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=150$, mobiliojo imtuvo dažnis $f=1200$ MHz	87
49 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=150$, $f=1200$ MHz	88
50 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=150$, mobiliojo imtuvo dažnis $f=900$ MHz	88
49 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=150$, $f=900$ MHz	89

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Celė	24
2 pav. Celė su sektoriumi	24
3 pav. TOA metodas	26
4 pav. Atstumo tikimybinis pasiskirstymas	26
5 pav. Atstumo tikimybinis pasiskirstymas vienoje celėje	26
6 pav. Tikslumo padidinimas, naudojant dviejų bazinių stočių signalus	27
7 pav. Atstumo nustatymo tikslumo padidinimas naudojant 3 BTS	27
8 pav. Koordinatų radimas naudojant trianguliaciją	27
9 pav. AOA metodas	29
10 pav. E-OTD hiperbolinis metodas	30
11 pav. E-OTD apskritiminis metodas	30
12 pav. A-GPS metodas	31
13 pav. Pozicionavimo tikslumo padidinimas fiksuojant abonento priklausomybę kelioms aprėpties zonomoms	33
14 pav. Pozicionavimo tikslumo padidinimas žiedų persidengimo būdu	34
15 pav. Tikrojo pagrindinės stoties antenos aukščio skaičiavimas	37
16 pav. COST–231 Walfish–Ikegami modelio parametų grafinis paaiškinimas	39
17 pav. Daugkartinės linijinės sankirtos schema	46
18 pav. Programos NetMonitor 3 langas	48
19 pav. Programos NetMonitor 4 langas	48
20 pav. Programos NetMonitor 11 langas	49
21 pav. Apskaičiuotų X koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=200$	58
22 pav. Apskaičiuotų Y koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=200$	59
23 pav. Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=200$	60
24 pav. Apskaičiuotų X koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=200$	62
25 pav. Apskaičiuotų Y koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=200$	63
26 pav. Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=200$	64
27 pav. Apskaičiuotų X koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=150$	66
28 pav. Apskaičiuotų Y koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=150$	67
29 pav. Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=150$	68
30 pav. Apskaičiuotų X koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=150$	70
31 pav. Apskaičiuotų Y koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=150$	70
32 pav. Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=150$	71
33 pav. Apskaičiuotų X koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=50$	74
34 pav. Apskaičiuotų Y koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=50$	74
36 pav. Apskaičiuotų X koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=50$	78
37 pav. Apskaičiuotų Y koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=50$	78
38 pav. Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=50$	79
39 pav. Apskaičiuotų X koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=1$	82
40 pav. Apskaičiuotų Y koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=1$	82
41 pav. Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=1$	83
42 pav. Apskaičiuotų X koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=150$, $f=1200$ MHz ir $f=900$ MGz	86
43 pav. Apskaičiuotų Y koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=150$, $f=1200$ MHz ir $f=900$ MGz	86

44 pav. Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=150$, $f=1200$ MHz ir $f=900$ MGz.....	87
45 pav. Apskaičiuotų X koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=150$, $f=1200$ MHz ir $f=900$ MGz.....	89
46 pav. Apskaičiuotų Y koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=150$, $f=1200$ MHz ir $f=900$ MGz.....	90
47 pav. Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=150$, $f=1200$ MHz ir $f=900$ MGz.....	91

IVADAS

Mobiliosios stoties vietos nustatymo panaudojant GSM tinklo savybes uždaviniai tapo aktualūs, kai iškilo skubios pagalbos paslaugos visiems mobiliojo tinklo abonentams būtinumas. E911 standartas įpareigojo mobiliojo ryšio operatorius teikti pagalbos skambučių centrui informaciją apie 911 skambintojų geografinę padėtį. Kartu su skubios pagalbos paslaugomis aktualios tapo ir tarptautinių vežimų transporto priemonių nuolatinio stebėjimo uždaviniai.

GPS sistemos taškų koordinatėms nustatyti bei navigacijai paprastai yra sunkiai pritaikomos urbanizuotose teritorijose ir pastatuose. Taip yra dėl silpnų GPS signalų, kurie urbanizuotose teritorijose bei pastatų viduje dar labiau susilpnėja. Mobilijų objektų vietos nustatymo sistemų realizavimo klausimai plačiai nagrinėjami mokslinėje literatūroje. Pavyzdžiui, moksliniame darbe (Hamani *et. al.* 2007) nagrinėjama GPS ir GSM technologijų sujungimas mobilijų objektų vietos nustatymui panaudojant radijo signalo prognozavimo modelį – Kalmano filtrą. Darbe (Shaukat 2009) nagrinėjamas mobiliojo imtuvo vietos nustatymas užstatytose ir kaimiškose vietovėse taikant priimtų signalų laiko skirtumo technologiją. Kitame darbe (Paliulionis 2004) nagrinėjami GSM ir mobilijų technologijų integravimo lokalizuotųjų paslaugų sistemose ypatumai.

Lietuvoje UAB „Mobilijų sprendimų centras“ vykdo projektus, skirtus gerinti vietos nustatymo paslaugų kokybę, taikyti pačius naujausius mokslinius pasiekimus vietos nustatymo srityje, nuolat vystyti turimus bei kurti naujus produktus bei paslaugas, susijusias su vietos nustatymu taikant GSM sistemas. MSC siekia sukurti „Universalią vietos nustatymo platformą“ su įdiegtais patobulintais vietos nustatymo metodais. Platforma būtų naudojama tiek teikiant komercinės vietos nustatymo paslaugas (tokias kaip šiuo metu MSC teikiama paslauga Locator.lt), tiek užtikrinant žymiai geresnę vietos nustatymo kokybę skambinančiųjų trumpuoju skubios pagalbos numeriu 112.

Buvo sukurti ir išbandyti keli padėties nustatymo metodai, pradedant tokiais, kurie naudoja tik esamą GSM tinklo struktūrą ir baigiant tokiais, kuriems reikėjo keleto pakeitimų. Tarp pirmųjų metodų yra „Zonos nustatymo“ (angl. Cell Identity arba Cell-ID) metodas, kurio metu padėtis yra nustatoma randant zoną (geografinę vietovę, kurioje veikia bazinė stotis), kurioje yra mobilusis įrenginys. Kitas padėties nustatymo metodas naudoja „sinchronizavimo poslinkį“ (angl. timing advance arba TA), paremtą signalo sklidimo trukmės nuo bazinės stoties iki mobiliojo imtuvo ir atgal matavimu. Objekto vietos nustatymo metodui, kuris reikalauja pakeitimų GSM tinkle, priskiriama „atvykstančių signalų laiko skirtumo“ (angl. TDOA) ir „atvykstančiojo signalo kampo“ (angl. AOA) metodai.

Pasiūlytas pagalbinės GPS (A-GPS) vietos nustatymo metodas, kuris laikomas daug žadančia ateities vietų nustatymo sistemų technologija. A-GPS veikimo principas yra sujungti GSM ryšio technologiją ir GPS signalus bei pasitelkus pagalbinį serverį, kurį galima pasiekti, pavyzdžiui, per tinklą, padėti GPS imtuvui atlikti užduotis, reikalingas padėties nustatymui. Tinklu paremtas metodas gali būti naudingas, kai GPS yra neprieinamas.

Vienas iš svarbiausių klausimų, nagrinėjamų šiame darbe, yra taškų koordinatėjų nustatymo taikant GSM ir GPS hibridines sistemas tikslumas. Taškų koordinatėms laisvoje erdvėje, urbanizuotoje erdvėje bei pastatuose nustatyti sudaromas trilateracijos tinklas, į kurį įtraukiamos GSM stotys ir mobilieji GSM imtuvai. GSM stotys yra trilateracijos tinklo pradiniai taškai, jų koordinatėms randamos GPS metodu. Trilateracijos tinklo stygos, t.y. atstumai tarp GSM stočių ir mobiliųjų GSM imtuvų, gaunami pagal atitinkamų GSM signalų galių santykį. Taškų erdvinėms koordinatėms skaičiuoti taikomas linijinės sankirtos metodas – sprendžiamas mažiausiųjų kvadratų meodu linearizuotų parametrinių lygčių sistema. Sistemos sprendinys tikslinamas iteracijomis ir taikant Kalmano filtrą. Rezultatų tikslumas įvertinamas pagal apskaičiuotų taškų koordinatėjų kovariacijų matricos įverčius.

DARBO TKSLAS

Nustatyti kadastrinės vietovės taškų koordinatas GSM mobiliaisiais imtuvais, panaudojant GSM imtuvo priimtos spinduliuotės galios sumažėjimą ir taikant erdvinės trilateracijos principą.

DARBO UŽDAVINIAI

1. Apžvelgti literatūrą nagrinėjama tema, pateikiant GSM sistemos taikymo koordinatėms nustatyti metodų sampratą ir pagįsti tyrimo metodiką.
2. Paruošti matavimų duomenis Matlab programinio paketo operatorių aplinkoje. Nustatyti taškų koordinatas, panaudojant GSM imtuvo priimtos spinduliuotės galios sumažėjimą ir taikant erdvinės trilateracijos principą.
3. Apdoroti matavimų rezultatus panaudojant du skirtingus radijo signalo stiprumo prognozavimo modelius.
4. Pavaizduoti grafiškai gautus koordinatėjų nuokrypius nuo tikrųjų reikšmių, taip suteikiant patogesnę galimybę vaizdžiai matyti gautus rezultatus ir įvertinti parengtą GSM sistemos metodą taškų koordinatėms nustatyti.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

Nustatyti mobiliojo objekto vietą yra vienas iš svarbiausių uždavinių, kurį reikia išnagrinėti siekiant diegti lokalizuotąsias paslaugas. Yra du pagrindiniai vietos nustatymo būdai: naudojant palydovinę vietos nustatymo sistemą arba mobiliojo ryšio tinklo infrastruktūrą. Daugelyje šalių buvimo vietos nustatymas GSM tinklu naudojamas pagalbos telefonu (112, 911) skambinančiojo vietai nustatyti. Pats paprasčiausias būdas – tikrinti, prie kurios bazinės stoties yra prisijungęs mobilusis telefonas. Sužinoma tik apytikslė (apie 200 m tikslumu mieste ir apie 2 km tikslumu užmiestyje) objekto buvimo vieta, tačiau to gali užtekti, kad skambutis būtų automatiškai nukreiptas į artimiausią gaisrinės ar policijos skyrių. Norint tiksliau nustatyti buvimo vietą, panašiai kaip ir GPS, pasitelkiama daugiau bazinių stočių. Matavimus ir skaičiavimus atlieka ne mobilusis įrenginys, o bazinių stočių aparatūra. Gaunamos objekto vietos paklaida – 50 m ar net mažiau (Docket 1994; Swales *et al.* 1999).

Kadangi E911 standartas įpareigojo mobiliojo ryšio operatorius teikti pagalbos skambučių centrui informaciją apie 911 skambintojų geografinę padėtį, buvo sukurti ir išbandyti keli padėties nustatymo metodai, pradedant tokiais, kurie naudoja tik esamą GSM tinklo struktūrą ir baigiant tokiais, kuriems reikėjo pakeitimų GSM tinklo struktūroje. Tarp pirmųjų metodų yra „Zonos nustatymo“ (*angl. Cell Identity arba CID*) metodas, kurio metu padėtis yra nustatoma randant zoną (geografinę vietovę, kurioje veikia bazinė stotis), kurioje yra mobilusis įrenginys. Kitas metodas naudoja „synchronizavimo poslinkį“ (*angl. timing advance arba TA*), kuris yra paremtas signalo sklidimo trukmės nuo bazinės stoties iki mobiliojo imtuvo ir atgal matavimu (Drane *et al.* 1998; Ali 2002; D’Roza *et al.* 2003). Šis metodas leidžia vartotojui, priklausomai nuo radijo bangų sklidimo greičio, nustatyti atstumą tarp bazinės stoties ir mobiliojo imtuvo. Kai naudojamos kelios bazinės stotys, mobiliojo imtuvo padėtis yra randama nustatant visų bazinių stočių veikimo diapazono susikirtimo tašką. Kiti metodai naudoja bazinės stoties siunčiamo signalo stiprumą, kurį mobilusis imtuvas priima iš bazinės stoties, ir kuris yra perskaičiuojamas į atstumą tarp mobiliojo imtuvo ir bazinės stoties, naudojant radijo bangų sklidimo modelį (Kupper 2005; Tse *et al.* 2005; Gunnarsson *et al.* 1998; Stuber 2002; Fujimoto, James 2001; Abhayawardhana *et al.* 2005). Tarp vietos nustatymo metodų, kurie reikalauja pakeitimų korinėje GSM tinklo struktūroje, gerai žinomi atvykstančiųjų signalų laiko skirtumo (*angl. TDOA*) ir atvykstančiojo signalo kampo (*angl. AOA*) metodai (Fujimoto, James 2001). Skirtingai nei GSM sistema paremti metodai, GPS technologija naudoja GPS palydovus, kurie siunčia sinchronizuotus skaitmeninius radijo signalus. Šiuos signalus priima specialus įrenginys – GPS imtuvas, kuris pagal signalų gavimo laiko skirtumus trianguliacijos būdu apskaičiuoja imtuvo buvimo vietos geografines koordinatas (Paliulionis 2004). GPS sistemos taškų koordinatėms nustatyti bei navigacijai paprastai yra sunkiai

pritaikomos urbanizuotose teritorijose ir pastatuose. Taip yra dėl silpnų GPS signalų, kurie urbanizuotose teritorijose bei pastatų viduje susilpnėja, kai signalų stiprio slopinimo faktorius siekia 100 ir daugiau (Dargis 2007; Skeivalas, Radis, Liutkauskas 2009). Jau dabar pasiekama geresnių vietos nustatymo rezultatų, naudojant A-GPS technologiją. A-GPS (*angl. assisted GSP*) – tai hibridinė GSM ir GPS sistemų technologija, naudojant GPS palydovų duomenis ir papildomą informaciją iš bevielio ryšio tinklo. Vieta nustatoma tiksliau net esant blogoms palydovų matomumo sąlygoms (Paliulionis 2004). Toks buvimo vietos nustatymas yra gana tikslus. Miestuose, kur GPS signalams trukdo aukšti pastatai, arba patalpose, kuriose GPS gali apskritai neveikti, tai puiki alternatyva – A-GPS paklaida dažnai siekia vos keletą metrų.

Galima išskirti sritis, kuriose sėkmingai gali būti naudojamos vietos nustatymu paremtos paslaugos, taikant GSM sistemas: skubi pagalba (užpuolimų ar ligos priepuolių atveju), mažesnis apmokestinimas už paslaugas nustatytoje zonoje (verslo zona, namų zona), informacija apie transporto srautus (kokio ilgio automobilių eilė šioje sankryžoje?), informacija apie pagomų vietų nustatymą spinduliu (koku keliu patekti į pasirinktą vietą?), važiavimo kolonoje informacija (kolonos dalyvių išdėstymas), transporto priemonių sekimas (pavogtos transporto priemonės vietos nustatymas), vietos nustatymu pagrįsta prekyba ir verslas, vaikų stebėjimas (kur esi?) (IST-1999-14093 LOCUS; Plėštys, Radis, Liutkauskas 2009). Šiuo metu Lietuvoje yra įdiegta mobiliųjų telefonų vietos nustatymo platforma trijų operatorių („Bitė Lietuva“, „Bitė Latvija“, „Omnitel“) tinkluose. 2008 m. įdiegta skambinančiųjų trumpuoju skubios pagalbos telefono numeriu 112 vietos nustatymo sistema. Yra sukurtas mobiliųjų telefonų buvimo vietos nustatymo internetinis portalas „Locator.lt“.

Locator – tai vietos nustatymo GSM tinkle technologiją naudojanti sistema. Ji leidžia nustatyti mobilaus telefono buvimo vietą. Lietuvoje ir Latvijoje GSM/3G telefonų vietos nustatymo tikslumas miestuose – nuo 50 m patalpose iki 2 km lauke, mažesniuose miesteliuose – 5-10 km. Sistema informaciją apie nustatytą abonentų buvimo vietą gali pateikti interneto svetainėje, WAP naršyklėje, MMS arba SMS žinute. Kai abonentas nepasiekiamas, sistema pateikia paskutinę žinomą jo buvimo vietą. Taip pat sistema leidžia periodinį telefono vietos nustatymą, kai vartotojas pasirenka vietos nustatymo periodą, dienas, valandas ir vietos nustatymo dažnumą. Vartotojai taip pat gali atlikti istorinių ir periodinių buvimo vietos nustatymų peržiūrą.

Lietuvoje taip pat teikiama paslauga „LocTracker“ – objektų buvimo vietos ir judėjimo sistema. Šiam stebėjimui naudojami palydovinis bei mobilusis ryšiai, detaliuose žemėlapiuose nuolat fiksuojant buvimo vietą, duomenys pateikiami realiuoju laiku. Informacijos perdavimui pasitelkiami modernūs duomenų perdavimo sprendimai, todėl itin taupiai naudojami telekomunikaciniai resursai ir užtikrinamas patikimas paslaugos veikimas. Kartu su šia paslauga

teikiamas ir logistikos sprendimas LocLogistics. Visos šios Lietuvoje teikiamos paslaugos paremtos GSM mobiliuoju ryšiu.

Šiame darbe atlikta taškų koordinacių nustatymo taikant GSM hibridines sistemas metodo analizė. Taškų koordinatėms laisvoje erdvėje, urbanizuotoje teritorijoje nustatyti sudaromas trilateracijos tinklas, į kurį įtraukiama GSM stotys ir mobilieji GSM imtuvai (Schiller 2003; Dargis 2007). GSM stotys yra trilateracijos tinklo pradiniai taškai, jų koordinatės randamos GPS metodu. Trilateracijos tinklo stygos, t.y. atstumai tarp GSM stočių ir mobiliųjų GSM imtuvų, gaunami pagal atitinkamų GSM signalų galių santykį. Atstumas tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuotas pagal empirinį Okumura-Hata modelį ir COST 231 modelį. Pasaulyje nėra nei vieningai priimto radijo signalo stiprumo prognozavimo modelio nei visuotinai priimto standarto, nusakančio prognozavimo modelių naudojimą. ETSI rekomendacijoje pabandyta nustatyti GSM tinklo projektavimui naudotinus modelius, kur, skaičiuojant GSM tinklo ląstelės aprėptį, kai bazinės stoties antena iškelta birš aplinkinių namų stogų ir signalo slopinimą pagrinde nulemia sklaida ir užlinkimas už kliūčių, rekomenduojama naudoti Hata modelį, o miesto teritorijoje mažų GSM tinklo ląstelių, kurių aprėptis iki 5 km, atveju rekomenduojama naudoti COST 231 Walfish-Ikegami modelį, kuriame signalo slopinimas yra įvertinamas atsižvelgiant ir į pastatų aukščius, tarpus tarp pastatų, gatvių plotį ir orientaciją. Empiriniai radijo signalo prognozavimo modeliai yra sudaryti statistiškai apibendrinus nemažą kiekį atliktų matavimų rezultatų (GSM 03.30 version 8.3.0. 1999). Visuose radijo signalo stiprumo prognozavimo modeliuose atstumas nuo bazinės stoties iki mobiliojo imtuvo yra kritinis parametras. Kitaip tariant, radijo signalo sklaidimo nuostoliai labai priklauso nuo atstumo tarp bazinės stoties ir mobiliojo imtuvo. Todėl signalo perdavimo nuostolių priklausomybę nuo atstumo atspindintis parametras dažnai naudojamas radijo signalo prognozavimo modelių palyginimui. Be atstumo, taip pat kiti daugiausia topografiniai veiksniai turi ženklią įtaką radijo bangų sklidimui, kuri vienaip ar kitaip yra atspindėta skirtinguose modeliuose (Radis 2002).

1.1. VIETOS NUSTATYMU PAREMTOS PASLAUGOS

Yra du pagrindiniai vietos nustatymo būdai: naudojant palydovinę vietos nustatymo sistemą arba mobiliojo ryšio tinklo infrastruktūrą. Mobiliosios stoties vietos nustatymas panaudojant GSM tinklo savybes uždaviniai tapo aktualūs, kai iškilo skubios pagalbos paslaugos mobiliojo tinklo abonentams būtinumas. Anksčiau sukurta visuotinio pozicionavimo sistema patikimai veikia atviroje vietovėje, tačiau dar negali užtikrinti patikimo vietos nustatymo patalpose. Tai yra dėl silpnų GPS signalų, kurie urbanizuotose teritorijose bei pastatų viduje dar labiau susilpnėja.

Paskutiniuoju metu sparčiai plinta paslaugos, pagrįstos vietos nustatymu. Pasinaudojant mobiliojo ryšio tinklo resursais, galima nustatyti tam tikro telefono vietos koordinates. Kombinuojant valdančias, informacines bei lokacijos paslaugas, jas modeliuojant, galima gauti įvairių naujų sprendimų. Nuo paprasčiausios vietos nustatymo paslaugos iki teikiamų paslaugų aplink klientą, žemėlapių sudarymo, ar viešojo transporto sekimo sistemos. Yra du pagrindiniai vietos nustatymo būdai: naudojant palydovinę vietos nustatymo sistemą arba mobiliojo ryšio tinklo infrastruktūrą.

Pagrindinis GSM sistemos privalumas yra tas, kad ji veikia ne tik lauko sąlygomis, bet ir pastatų viduje. Tačiau šios technologijos trūkumas – priklausomybė nuo GSM tinklo struktūros ir aptarnaujančių stočių išdėstymo tinklo. Tai lemia pakankamai netikslius duomenis apie objekto poziciją (Skeivalas, Radis, Liutkauskas 2009).

Objekto vietos koordinatų nustatymas taikant GSM gali būti naudojamas, pavyzdžiui:

- Skubios pagalbos suteikimas – tai aiškiausiai apibrėžiama sritis, kurioje gali būti naudojamas vietos nustatymas taikant GSM ryšio sistemą. Žmogui, kuriam reikia skubios pagalbos, galima padėti tik žinant vietos, kurioje jis yra, koordinates. Todėl vietą svarbu nustatyti kuo greičiau – geriausia automatiškai skambinimo pagalbos telefonu metu. Bendrasis pagalbos centras vietos informaciją sužino įvertinę tai, prie kurios iš mobiliojo ryšio stoties antenų telefonas yra prijungtas.
- Navigacija. Vartotojui atvykus į svetimą miestą reikia nurodymų, kaip pasiekti tam tikras paslaugas: parduotuves, viešbučius, degalines ir pan., priklausomai nuo vartotojo buvimo vietos. Navigacija taip pat svarbi dideliuose pastatuose ar pastatų kompleksuose – prekybos centruose, ligoninėse, kitose viešose įstaigose.
- Informacija. Informacijos pateikimas vartotojui, priklausomai nuo esamos vietos. Kelionių gidai gali suteikti informaciją apie lankytinas vietas, pramoginiai informaciniai pranešimai apie vykstančius renginius netoliese. Plėtojamos vietos nustatymo paslaugos, tokias kaip rekama ar net „miesto pulso žemėlapis“, pagal didesnę nei įprasta mobiliųjų telefonų susitelkimą vienoje vietoje nustatantis „karščiausias“ miesto vietas. GPS signalai gali būti naudojami ir atliekantis statistinius tyrimus (pvz., stebint, kiek žmonių kasdien važiuoja Vilniaus-Kauno greitkelio arba kiek žmonių praeina pro tam tikrą reklaminių stendą). Plėtojama ir mobiliosios reklamos idėja. Žinodama, kad vartotojas apsilankė prekybos centre, bet praėjo pro tam tikrą parduotuvę, speciali sistema galėtų nusiųsti pranešimą apie tam tikras nuolaidas.

- Sekimas. Sekimo paslaugos gali padėti surasti pasimetusius žmones ar daiktus (pavogtus automobilius, pasiklydusius vaikus atrakcionų parke, pagyvenusius žmones prekybos centruose). Įstaigose galima greitai surasti aptarnaujantį personalą – salės darbuotoją prekybos centre, arčiausiai esantį gydytoją ligoninėje.
- Mobiliojo įrenginio vietos nustatymo paslauga. Leidžia sužinoti mobiliųjų įrenginių geografinę vietą. Galima sužinoti konkretaus įrenginio (pavyzdžiui, savojo) buvimo vietą, kelių įrenginių buvimo vietas, gauti koordinates periodiškai arba pagal įvykius.
- Kol kas taikyti GSM sistemas kadastriniuose matavimuose trukdo tai, kad nėra pasiektas reikiamas tikslumas. Preliminarių matavimų tikslumas yra žymiai mažesnis už kadastrinių matavimų tikslumą, todėl GSM sistemos gali būti taikomos matavimams, kurie nereikalauja didelio tikslumo t.y. preliminariniams miško, vandens telkinių, pasėlių matavimams. GSM sistemos gali būti naudojamos žemės sklypo dislokacijos nustatymui Lietuvos teritorijoje, miesto teritorijoje, jeigu žemės sklypas labai didelis, tai gali būti panaudojama ir vietos nustatymui pačiame sklype (Paliulionis 2004).

1.2. VIETOS NUSTATYMO TECHNOLOGIJŲ PALYGINIMAS

Abonento mobiliojo imtuvo pozicija dažniausiai nustatoma naudojant arba globalaus pozicionavimo sistemas (Global positioning) arba korinio ryšio tinklus (GSM positioning). Naudojant globalaus pozicionavimo signalus gautos objektų koordinatės perduodamos GSM tinklu naudojant signalizacijos kanalus arba GPRS, arba EDGE kanalus. Koordinatės talpinamos lokacijos centre (Location centre). GPS sistema turi esminį trūkumą – ji negali būti panaudota pozicionuojant patalpų viduje esančius objektus.

Remiantis (Kupper 2005; Yilin 2002) pateikta informacija, vietos nustatymo GSM tinkle metodai, įvertinti pagal esminius kriterijus ir rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Vietos nustatymo GSM tinkle metodų palyginimas pagal esminius kriterijus

	Paklaida (m)			Pridėtinė apkrova	Energijos suvartojimas	Nustatymo trukmė (s)	Įdieg./palaik. Kaina
	Kaime	Priemiesčiuose	Mieste				
Cell-ID	>10 km.	2-10 km.	50-1000	Maža	Minimalus	0,5-5	Maža
E-OTD	50-150	50-250	50-300	Didelė	Didelis	<10	Didelė
U-TDoA	50-120	40-50	40-50	Didelė	Minimalus	<10	Vidutinė
A-GPS	10-40	20-100	30-150	Vidutinė	Vidutinis	30-60	Vidutinė

E-OTD metodas buvo intensyviai diegiamas JAV, kad pasiektų reikiamą tikslumą, numatytą E-911 įstatyme. Operatoriams įdiegus sprendimus, paaiškėjo metodo trūkumai – dėl įvairių, su fizinėmis GSM signalo savybėmis (*multipath*, *rayleigh effect*) susijusių priežasčių, tikslumas buvo gerokai mažesnis. Taip pat iškilo problemos kaimo vietovėse, kur mobilieji imtuvai

priima mažiau nei iš trijų bazinių stočių signalus. Problemos buvo sprendžiamos įvairiais signalo apdorojimo algoritmais, kurie turėjo sumažinti signalo stiprumo slopinimo priežastis (Liutkauskas, Atkočiūnas 2009).

1.2.1. Vietos nustatymo metodų panaudojimo patirtis Europoje ir JAV

E-OTD problemas JAV operatoriai bando spręsti pereidami prie U-TdoA metodo, kur signalo stiprumo matavimai atliekami tinkle, naudojant LMU įrenginius. Tačiau tai nešprendžia kitos E-OTD metodo problemos – objekto vietos nustatymo kaimo vietovėse. Jeigu mobilusis imtuvas priima vienos bazinės stoties signalus, negalima atlikti E-TDO ar U-TdoA reikalingos trienguliacijos ir vietos nustatymo tikslumas yra toks pat, kaip ir Cell-ID metodo.

Dauguma Europos operatorių yra įsidedę Cell-ID metodu pagrįstus sprendimus (įskaitant ir Lietuvos operatorių UAB Bitė Lietuva) (Kupper 2005; IST-1999-14093 LOCUS 2001).

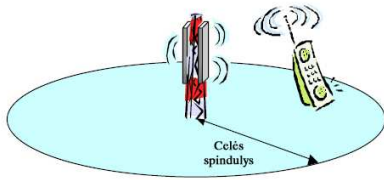
1.2.2. Vietos nustatymo būdai Europos GSM tinkluose

Europos GSM tinkluose dominuoja Cell_ID metodas arba kombinuotas Cell-ID ir TA (timing advance) metodas (Lagzdinytė, Budnikas 2009). Tai yra GSM tinklo funkcionalumu pagrįstas metodas, kuris nereikalauja didelių investicijų į infrastruktūrą. Europos GSM operatoriai Cell-ID metodo pagrindu sukūrė vietos nustatymo platformą, kuri ruošia rinką gerokai tikslesniems vietos nustatymo būdams, panaudojant GSM hibridinės sistemos metodus. Cell-ID teikiamo vietos nustatymo tikslumo užtenka miestuose, kur esant palankiam bazinių stočių tankiui, vietos nustatymo tikslumas gali konkuruoti su kitais metodais (Zhao 2000).

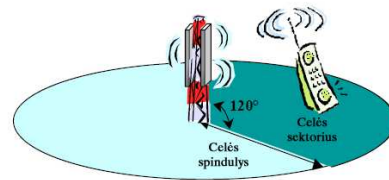
1.2.3 Cell-ID metodas

Principas

Šis metodas, dar žinomas kaip Cell Of Origin (COO) ar Cell Global Identity (CGI), pats paprasčiausias ir lengviausiai įgyvendinamas būdas norint nustatyti objekto padėtį. Tereikia iš Cell Global Identity (CGI) paimti Cell Identity (CI). Atliekant įprastinius veiksmus GSM tinkle, operatorius žino mobiliojo telefono prisijungimo prie tinklo tašką per ląstelės identifikatorių (Cell-ID), taip pat operatorius žino kiekvienos ląstelės koordinatas (Bazinės stoties (BTS) padėtį GSM tinkle ir Nodes B padėtį UMTS tinkluose). Naudojant Cell-ID ir ląstelių koordinatų duomenų bazę, operatorius gali nustatyti mobiliojo telefono padėtį bet kuriuo metu. Gaunamas atsakymas – ląstelės numeris. Kadangi negaunama jokios papildomos informacijos, išskyrus ląstelės identifikacinį numerį, gaunamas tikslumas atitinka ląstelės dydį. Ląstelės dydis svyruoja nuo kelių šimtų metrų miestuose iki 35 kilometrų užmiesčiuose. Paprastai bazinė stotis turi keletą kryptinių antenų, todėl galima sužinoti, kokia kryptimi yra objektas nuo bazinės stoties (Ali 2002).



1 pav. Cėlė



2 pav. Cėlė su sektoriumi

Charakteristikos

Paprastai operatorius žino bazinės stoties koordinatės 10–30 metrų tikslumu. Padėties nustatymo tikslumas negali būti didesnis nei bazinės stoties žinomų koordinatų paklaida.

Ląstelės dydis gali būti labai nevienodas. Didelės ląstelės spindulys užmiesčiuose kai kuriais atvejais gali pasiekti iki 35km. Priemiesčiuose ląstelės yra keleto kilometrų spindulio. Labiau apgyvendintose teritorijose ląstelės dydis paprastai neviršija 1 kilometro. Tankiai apgyvendintose vietose ląstelės dydis svyruoja nuo 100 iki 500 metrų spindulio.

2 lentelė. Galimos padėties nustatymo paklaidos naudojant Cell-ID technologiją

	Užmiestis	Priemiestis	Miestas
Cell-ID	1km – 35km	1km – 10km	100m – 1km

Svarbų vaidmenį padėties nustatymui turi ląstelės tipas (vienalytė/sektorizuota). Tačiau abiem atvejais nustatymo tikslumas priklauso nuo ląstelės dydžio. Jeigu ląstelė sektorizuota, padėties nustatymo paklaida sumažėja iki sektoriaus dydžio.

Cell-ID vietos nustatymas galimas praktiškai 100 % ir turi labai aukštą prieinamumą. Kadangi pakanka ryšio su viena bazine stotimi, prieinamumas geras ir užmiesčio teritorijose.

Vietos nustatymo trukmė – keletas sekundžių (<5 s).

Apribojimai

Cell-ID metodas nesuteikia galimybės nustatyti 3D padėties. Galima gauti tik 2D (X,Y) koordinatės. Dėl prasto tikslumo ši pozicionavimo technologija nėra gerai pritaikyta siekiant nustatyti vartotojo kryptį ir greitį

Poveikis

Cell-ID technologijos poveikis tinklui ir mobiliam telefonui yra labai mažas, palyginti su kitomis technologijomis. Mobiliajam telefonui nedaromas joks poveikis, kadangi telefonas neatlieka jokių papildomų veiksmų vietos nustatymo procese. Tinklo pusėje nedaroma jokia įtaka bazinėms stotims, kadangi naudojama egzistuojanti infrastruktūra ir nereikalingi jokie papildomi signalai oro sąsajoje. Tačiau reikalingi papildomi tinklo elementai vietos informacijos panaudojimui. Tam reikia Mobiliosios lokacijos centro (MLC). Visoms lokacijos paslaugoms reikalingas autentifikavimo ir privatumo užtikrinimas, todėl tikėtina žymi įtaka namų lokacijos registrui (HLR).

1.2.4. TOA metodas (Time Of Arrival)

Principas

TOA metodas (Time of Arrival) – metodas nustatyti mobilaus telefono poziciją. Žinomas signalas siunčiamas iš mobiliojo telefono ir priimamas trijuose matavimo įrenginiuose.

TOA signalas matuojamas vietos nustatymo vienetu LMU (Location Measurement Unit), susietu su bazine stotimi (BTS). Iš Cell-ID, TOA reikšmių ir TOA matavimo kokybės informacijos grąžinus į mobiliosios vietos aptarnavimo centrą (Serving Mobile Location Centre) pozicija gali būti apskaičiuota per hiperbolinę trianguliaciją mobiliosios vietos aptarnavimo centro pagalba naudojant vietos apskaičiavimo funkciją (Position Calculation Function).

Charakteristikos

Lokacijos vietos tikslumas paprastai geresnis užmiesčiuose ir priemiesčiuose, palyginti su miesto vietovėmis.

3 lentelėje parodyta koks metodo tikslumas su 67 % neapibrėžtumu, priklausomai nuo to, kiek LMU naudojama:

3 lentelė. Galimos padėties nustatymo paklaidos naudojant TOA metodą

	Užmiestis	Priemiestis	Miestas
TOA (3 LMU)	70m	75m	100m
TOA (5 LMU)	30m	40m	95m
TOA (7 LMU)	25m	30m	85m

Jeigu atliekama keletas matavimų iš eilės, TOA gali būti naudojamas nustatyti objekto judėjimo kryptį ir greitį.

Kaip ir kiti trianguliacija paremti metodai, TOA reikalauja, kad būtų matomos mažiausiai trys bazinės stotys. Šio metodo prieinamumas geras tikrai tose vietose, kur tinklo tankumas yra pakankamas.

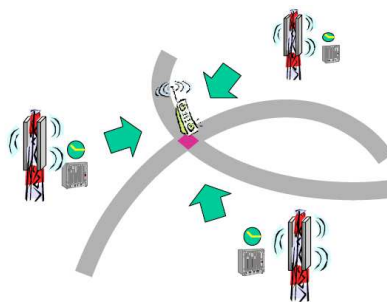
Vietos nustatymo trukmė maždaug 10 sekundžių.

Apribojimai

TOA pozicionavimo charakteristikos kinta priklausomai nuo aplinkos ir naudojamų LMU skaičiaus. Šio metodo tikslumas sumažėja tankiai apgyvendintose teritorijose. Taip pat metodas ribotai gali būti panaudotas užmiesčiuose.

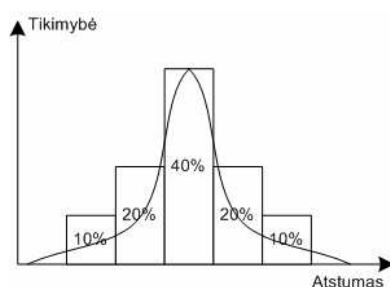
Poveikis

Telefono aparatui jokio poveikio nėra, kadangi visi matavimai ir skaičiavimai atliekami tinkle. Tinklo pusėje žymus poveikis jaučiamas BSS lygyje, kadangi LMU turi būti įdiegtas kaip tinklo elementas. Taip pat reikia MLC (Mobile Location Centre). Jaučiamas didelis poveikis HLR. Taip pat stipriai užimama oro sąsaja, kadangi kiekvienam vietos nustatymui reikia atlikti perdavimus.



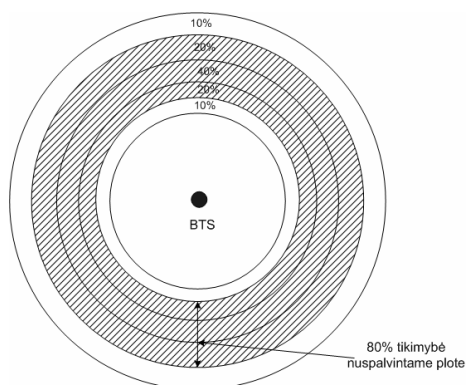
3 pav. TOA metodas

Vietos nustatymas per TOA yra gana brangus norint jį pritaikyti, nes visuose BTS reikalingas LMU ir aptarnaujančiam SMLC turi būti įdiegtas PCF. Metodas nelabai naudingas užmiesčio vietovėse su didelėmis celėmis, nes nėra garantijos, kad mobili stotelė gali kontaktuoti su trimis BTS. Miesto ribose ir ribose su mažomis ląstelėmis matavimo paklaida sumažėja. TOA metodas (Time Of Arrival) standartizuotas ETSI GSM 03.71 Priklausomai nuo matavimo metodo gaunamas skirtingas matavimo rezultatas. Galimas atstumo tikimybinis pasiskirstymas pavaizduotas 4 pav.



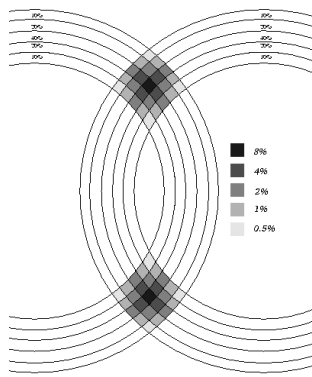
4 pav. Atstumo tikimybinis pasiskirstymas

Atstumo tikimybinis pasiskirstymas vienoje ląstelėje pateiktas 5 pav.



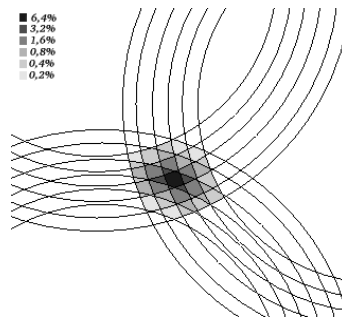
5 pav. Atstumo tikimybinis pasiskirstymas vienoje celėje.

Naudojant dviejų bazinių stočių signalus galima padidinti atstumo nustatymo tikslumą. Tai parodyta 6 pav.



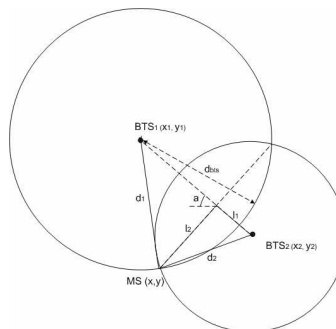
6 pav. Tikslumo padidėjimas, naudojant dviejų bazinių stočių signalus

Paveikslas rodo labiausiai tikimas padėtis, kai naudojami dviejų BTS matavimai. Kiekvienam BTS, tikimybė atitinka koncentrinis žiedus, parodytus 6 pav. Kai šie apskritimai susikerta, plotas padalijamas į keletą smulkių plotelių. Kadangi kiekvieno koncentrinio žiedo atstumo tikimybių pasiskirstymas yra žinomas, tai pasiekiamas tikslumas gali būti apskaičiuotas.



7 pav. Atstumo nustatymo tikslumo padidėjimas naudojant 3 BTS

Naudojant kelių stočių signalus vietovė yra suskirstoma į didelį smulkių plotų skaičių. Kiekvienam plotui priskiriama tikslumo nustatymo tikimybė. Iš rezultatų matricos tikimybės centras gali būti randamas kaip taškas, turintis didžiausią tikimybę



8 pav. Koordinatinių radimas naudojant trianguliaciją

Koordinatės (x_1, y_1) ir (x_2, y_2) kiekvienam BTS yra žinomos. Be to, atstumai d_1 ir d_2 žinomi. Iš 13 pav. matyti:

$$d_{bts} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1.1)$$

$$l_1 = d_1 + d_2 - d_{bts} \quad (1.2)$$

$$l_2 = \sqrt{d_2^2 - l_1^2} \quad (1.3)$$

$$\sin(a) = \frac{y_2 - y_1}{d_{bts}} \quad (1.4)$$

$$\cos(a) = \frac{x_2 - x_1}{d_{bts}} \quad (1.5)$$

Dabar mes galime įvardyti tašką, kur l_1 ir l_2 susitinka P, ir gauti:

$$x_p = x_2 - l_1 \times \cos(a) \quad (1.6)$$

$$y_p = y_2 - l_1 \times \sin(a) \quad (1.7)$$

Taigi labiausiai tikėtina MS pozicija turi du sprendimus:

$$x = x_p - l_2 \times \sin(a) = x_2 - l_1 \times \cos(a) - l_2 \times \sin(a) \quad (1.8)$$

$$y = y_p + l_2 \times \cos(a) = y_2 - l_1 \times \sin(a) + l_2 \times \cos(a) \quad (1.9)$$

ir

$$x = x_p + l_2 \times \sin(a) = x_2 - l_1 \times \cos(a) + l_2 \times \sin(a) \quad (1.10)$$

$$y = y_p - l_2 \times \cos(a) = y_2 - l_1 \times \sin(a) - l_2 \times \cos(a) \quad (1.11)$$

1.2.5. AOA metodas (Angle Of Arrival)

Principas

AOA metodas (Angle of Arrival) – metodas mobiliojo telefono vietai nustatyti, pagrįstas krypties nustatymu. Naudojant keletą antenos elementų signalo atėjimo kryptis gali būti nustatyta BTS. Kai kampas apskaičiuojamas keliuose ląstelėse, telefono buvimo vieta gali būti nustatyta linijų susikirtimo būdu. Vietos nustatymui reikia mažiausiai dviejų bazinių stočių. Tačiau norint pasiekti didesnę tikslumą, reikia naudoti daugiau nei dvi bazinės stotys. Naudojamos antenos turi būti labai kryptinės.

Charakteristikos

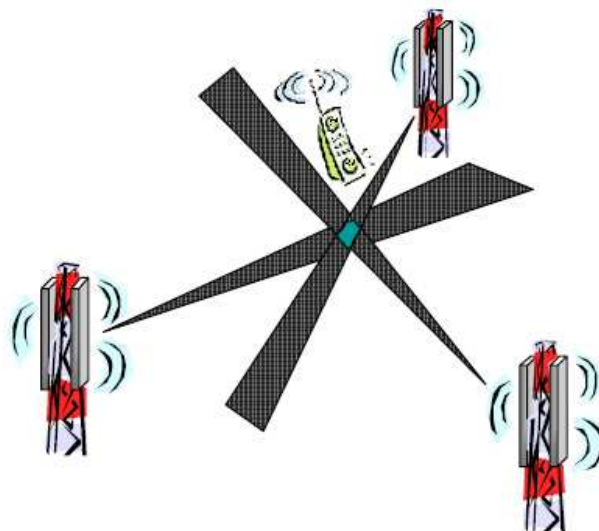
Vietos nustatymo tikslumas labai priklauso nuo kelių faktorių, tokių kaip tinklo geometrija (bazinių stočių išsidėstymas), antenų kalibravimo tikslumas, signalo atspindys nuo objektų. Paprastai paklaida yra daugiau nei 125 metrai. Prieinamumas geras tose vietovėse, kur tinklas pakankamai tankus. Šis metodas sunkiai įgyvendinamas užmiesčiuose, kadangi reikia, kad būtų pasiekiamos mažiausiai trys bazinės stotys. Vietos nustatymo trukmė maždaug 10 sekundžių.

Apribojimai

Pagrindinis AOA trūkumas yra reikalavimas didelių antenų masėms, susidedančių iš nuo 4 iki 12 antenų. Reikalaujamas labai didelis antenų kalibravimo tikslumas. Šis kalibravimas turi būti nuolat prižiūrimas.

Poveikis

Mobiliojo telefono pusėje poveikio nėra, kadangi mobilusis telefonas pozicijos nustatymo metu neatlieka jokių papildomų veiksmų. Tinklo pusėje AOA naudojimas turi ypatingai dideli poveikį, kadangi reikalauja specifinių antenų (Lin, Juang 2003; Tse, Viswanath 2005).



9 pav. AOA metodas

1.2.6. E-OTD metodas (Downlink Enhanced Observed Time Difference)

Principas

OTD metodas paremtas mobiliojo telefono atliekamais laiko signalo sklaidimo iš mažiausiai dviejų porų bazinių stočių iki telefono laiko matavimais. GSM tinkle šis metodas vadinamas E-OTD.

E-OTD reikalauja, kad būtų matomos mažiausiai trys bazinės stotys (pvz: BTS1/BTS2 pirma pora ir BTS2/BTS3 antroji pora).

Yra dvi skirtingos situacijos:

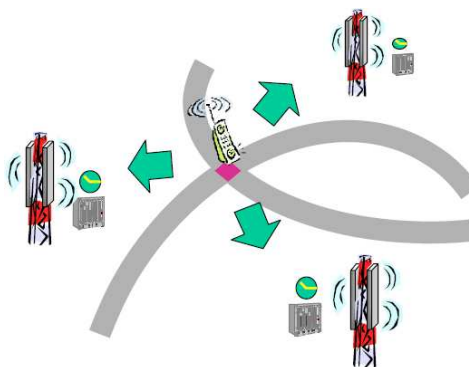
- Synchronizuoti tinklai: šiuo atveju mobilusis telefonas matuoja signalo sklaidimo laikus iš keletos bazinių stočių (mažiausiai 3).
- Nesynchronizuoti tinklai: šiuo atveju metodas matuoja laiką, per kurį signalas atkeliauja iš bazinės stoties iš dviejų vietų (pvz: pats mobilus telefonas ir žinomame taške esantis LMU).

Pozicija nustatoma palyginant laiko skirtumus tarp dviejų laiko matavimo grupių.

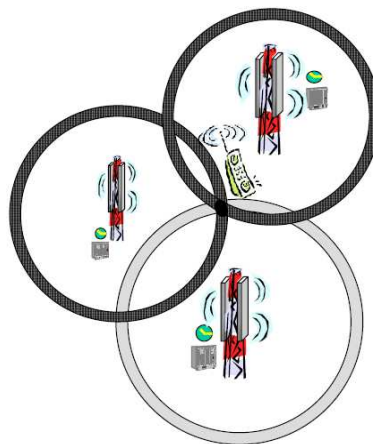
Mobiliojo telefono vieta gali būti skaičiuojama arba tinkle arba pačiame telefone. Vieta telefone gali būti paskaičiuojama tik tuo atveju, jei jame yra informacija apie tikslias bazinių stočių geografines padėtis.

Mobiliojo telefono vietos nustatymui galimi du E-OTD variantai: „apskritiminis“, „hiperboliškas“.

E-OTD standartizuota GSM vietos nustatymo sistema - GSM 09.31



10 pav. E-OTD hiperbolinis metodas



11 pav. E-OTD apskritiminis metodas

Charakteristikos

Vietos nustatymo tikslumas priklauso nuo aplinkos ir matomų bazinių stočių skaičiaus, tačiau paprastai yra 67 % neapibrėžtumas.

4 lentelė. Galimos padėties nustatymo paklaidos naudojant E-OTD apskritiminį metodą

	Užmiestis	Priemiestis	Miestas
E-OTD	50m – 150m	50m – 150m	50m – 150m

E-OTD turi gerą prieinamumą, tačiau tik tose vietose, kur pakankamas tinklo tankumas (matomos mažiausiai 3 bazinės stotys).

Vietos nustatymo trukmė priklauso nuo įgyvendinamo tipo (skaičiavimai atliekami mobiliajame telefone arba tinkle), telefono būsenos (tylos režime ar pokalbio metu). Atsižvelgiant į šias sąlygas, vietos nustatymo trukmė svyruoja tarp 4-10 sekundžių.

Apribojimai

Kaip ir visi kiti trianguliacija paremti metodai, E-OTD reikalauja kad būtų matomos mažiausiai trys bazinės stotys. Metodas gali būti naudojamas ten, kur yra pakankamas tinklo tankumas. Vietos nustatymo tikslumas gali sumažėti pastatų viduje dėl netiesioginio bazinių stočių matomumo, taip pat, jei matomos trys bazinės stotys, išdėstytos išilgai (greitkeliai). Šiuo atveju trianguliacija tampa neefektyvi.

Poveikis

E-OTD vietos nustatymas reikalauja, kad mobiliajame telefone būtų atlikti programinės įrangos pakeitimai (kai kuriais atvejais ir aparatūrinės įrangos pakeitimai). Tinklui metodas daro didelę įtaką. Turi būti įdiegti nauji elementai: LMU ir MLC (Mobile Location Center). (3 GPP TS 04.35 2001).

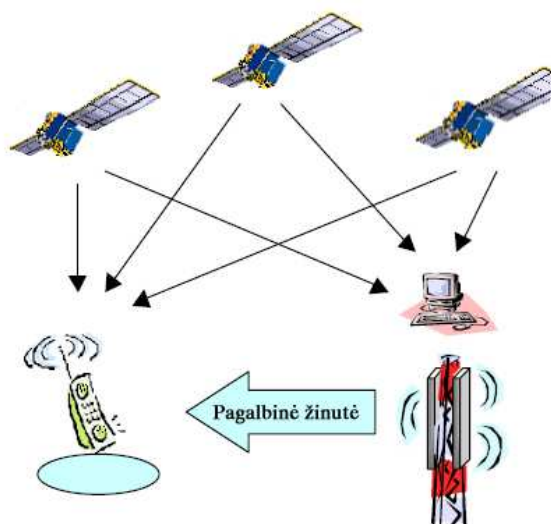
1.2.7 A-GPS (Asisted Global Positioning System) metodas

Principas

A-GPS metodas negali būti vadinamas grynai korinio ryšio metodu, kadangi jis remiasi ir GPS technologija. Šis metodas gali būti vadinamas hibridiniu tarp palydovinio pozicionavimo ir korinio pozicionavimo. A-GPS standartizuota pozicionavimo technologija GSM, taip pat ir kituose tinkluose.

A-GPS serveris naudoja GPS imtuvą pagalbinės informacijos, susijusios su mobiliuoju telefonu, kaupimui ir tada šią informaciją perduoda į mobilųjį telefoną naudojant GSM tinklą. Ši informacija naudojama padėti sekti telefono poziciją.

Pagrindinė pagalbos GPS idėja – sukurti GPS paremtą tinklą, kurio imtuvai neturi kliūčių su palydovais ir gali dirbti pastoviai. Šis tinklas taip pat sujungtas su korine infrastruktūra, nuolat tikrina realaus laiko būseną ir tiekia tokią informaciją, kaip apytikslė mobiliojo telefono pozicija (ar bazinės stoties pozicija), palydovų matomumas, laiko koregavimas. Mobiliam telefonui ar lokacijos aplikacijai pareikalavus, pagalbinė informacija gauta iš GPS paremto tinklo perduodama į mobiliojo telefono GPS imtuvą, kad būtų galima užtikrinti greitą paleidimą ir padidinti jutiklio jautrį (Hemani, Oussalah, Hall 2007).



12 pav. A-GPS metodas

Charakteristikos

Vietos nustatymo tikslumas naudojant A-GPS daugiausia priklauso nuo to, kokioje aplinkoje yra mobilusis telefonas. Metodo tikslumas – su 67 % neapibrėžtumu.

5 lentelė. Galimos padėties nustatymo paklaidos naudojant A-GPS metodą

	Užmiestis	Priemiestis	Miestas
A-GPS	10m – 20m	10m – 20m	30m – 100m

Šio metodo prieinamumas labai geras užmiesčiuose ir priemiesčiuose.

Lyginant su įprastiniu GPS, A-GPS gali:

- Sumažinti paleidimo laiką, kuris yra palyginti ilgas dėl ilgai truncančio navigacijos žinutės gavimo (nuo 30 sekundžių iki keleto minučių). Šis laikas sumažinamas dėl to, kad telefonas jungiasi tiesiai prie reikalingų palydovų apie kuriuos gauna informaciją pagalbinėje žinutėje.
- Padidinti pozicionavimo tikslumą; pagalba aptinkant silpnus signalus (padidina pradinį tikslumą 25dB).
- Sumažinti energijos suvartojimą dėl ilgo GPS signalo gavimo laiko.

Laikas iki pirmojo fiksavimo (Time-To-First-Fix)

Laikas iki pirmojo fiksavimo (TTFF) – laikas kol GPS gauna pozicijos informaciją po to kai gavo pozicijos užklausimą. Įprastinis GPS paprastai užtrunka keletą minučių pirmos pozicijos nustatymui. Šis laikas aiškiai per ilgas, ypač skubios pagalbos atveju. A-GPS atveju TTFF gali būti sumažintas iki 30 sekundžių.

6 lentelė. Laikas iki pirmojo fiksavimo GPS ir A-GPS technologijose

Įprastas GPS		Assisted GPS	Pagalbinė informacija
TTFF	> 30s	1-10 s	Ephemeris, (Timing)
Tikslumas	<10 m	1-10m (pastato viduje 30m)	DGPS
Jautrumas	-130dBmW	-150-155 dBmW	Navigacijos informacija, Timing
Padengimas	Tik atviroje erdvėje	Uždasroje erdvėje, miesto teritorijoje	Ephemeris, Navigacijos informacija, Timing

Apribojimai

A-GPS nepalaikoma standartinių mobiliųjų telefonų. Šia technologija galėtų pasinaudoti tik keletas mobiliųjų telefonų modelių. Metodas užtikrina didelį tikslumą, tačiau negali būti naudojamas pastato viduje, ar vietovėse su aukštais statiniais. Ryšiui užtikrinti turi būti matomi mažiausiai 3 palydovai.

Poveikis

Didelis poveikis mobiliam telefonui, kadangi jis turi turėti GSM ir GPS imtuvus. Tinkle reikalingi imtuvai, kurie galėtų tiekti reikalingą papildomą informaciją (Borkowski, Niemala, Lepiainen 2003).

1.2.8. Metodų palyginimas

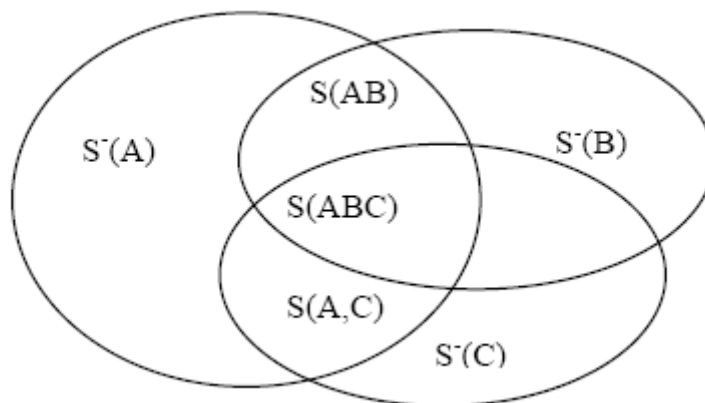
Pozicionuojant objektus pagal GSM tinklo celės (Cell-ID), kurioje yra mobilusis abonentas, identifikatorių objektų lokacija aprašoma jai priklausančiu teritorijos geografiniu paviršiumi (skrituliu, elipse, kreive arba tiese).

Globalaus pozicionavimo principus perkeltiant į GSM tinklus gaunami TA, Uplink Time of Arrival (U-TOA), Enhanced Observed Time Difference (E-OTD), Assisted-GPS (A-GPS) metodai.

Pozicionavimas, paremtas Cell-ID+TA metodu, pasižymi tuo, kad tinklo operatorius, teikiantis bet kokią GSM paslaugą, žino signalo vėlinimą kelyje bazinė stotis-mobilioji stotis-bazinė stotis. Šis vėlinimas matuojamas 3,70 μ s tikslumu, kas atitinka 550 m. Taikant šį metodą, lokacijos paklaida bazinės stoties vietos atžvilgiu neviršija ± 275 m.

Pozicionavimas, paremtas TOA metodu, pasižymi tuo, kad bazinės stotys nustato mobiliosios stoties signalo priėmimo laikus. Tam bazinės stotys turi būti patobulintos įdiegiant LMU įrangą. LMU įranga turi turėti GPS tikslaus laiko žymes. Pagal mobiliosios stoties signalo vėlinimo skirtumus nustatoma mobiliosios stoties vieta. Kuo daugiau bazinių stočių dalyvauja pozicionavimo procese, tuo tiksliau nustatoma mobiliosios stoties vieta.

E-OTD metodas yra panašus į TOA metodą tuo, kad viena mobiliąja stotimi atliekami bent trijų bazinių stočių siunčiamų signalų vėlinimo matavimai ir gautos vertės perduodamos GSM tinklu. Metodas yra labiausiai artimas GPS principui, kur pozicionavimo palydovai pakeisti bazinėmis stotimis.



13 pav. Pozicionavimo tikslumo padidinimas fiksuojant abonto priklausomybę kelioms aprėpties zonoms

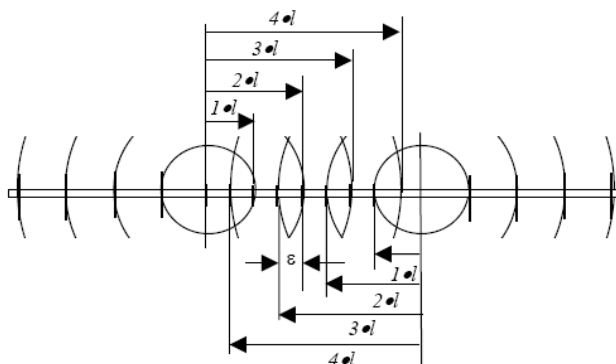
Derinant GSM ir GPS pozicionavimo metodus gaunamas A-GPS metodas, kuris pasižymi dideliu tikslumu net ir uždaroje patalpose. GSM tinklas naudojamas GPS pagalbiniais signalams paskleisti per GSM bazinės stoties. Papildomai turi būti naudojamas lokacijos serveris. A-

GPS metodas užtikrina GPS garantuojamą vietos nustatymo tikslumą ir suteikia galimybę nustatyti objektų koordinates pastatų viduje. Tuo A-GPS metodas yra pranašesnis už paprastą GPS metodą. Pozicionavimas, paremtas priklausomybės kelioms celėms nustatymui, gali užtikrinti tikslesnį pozicionavimą, negu ji sąlygoja vienos celės dengiamas plotas (13 pav.). Vienas iš tikslesnio pozicionavimo realizacijų yra paremta aprėpties paviršių persidengimu.

Jeigu tuo pačiu metu abonento mobilusis telefonas yra kelių celių aprėpties zonoje, tai lokacijos tikslumas sutampa su persidengiančiais $S(AB)$, $S(A,C)$, $S(B,C)$ ir $S(ABC)$ arba nepersidengiančiais geografiniais paviršiais $\bar{S}(A)$, $\bar{S}(B)$ arba $\bar{S}(C)$, kuris gali sudaryti tik nedidelę kiekvienos celės $S(A)$, $S(B)$ arba $S(C)$ geografinio paviršiaus dalį.

Panaudojant GSM Cell-ID+TA metodą geografinis paviršius suskirstomas žiedais, išsidėsčiusiais apie bazinės stotis. Žiedų spinduliai kinta diskretiniu žingsniu: $R=l \times n$, $n=1,2,3,..63$; $l=0,55$ km. Geografinį paviršių galima sudalinti persidengiančiais žiedais ir taip padidinti linijų tankį ir pozicionavimo tikslumą.

Tuo atveju, kai stebimas objektas yra tiesėje, jungiančioje dviejų apskritiminių celių centus, pozicionavimo tikslumą galima padidinti perslinkus žiedus dydžiu: $\varepsilon=550/2$ km. Kai pozicionavime dalyvauja n bazinių stočių TA signalai, pozicionavimo tikslumas padidėja iki $\varepsilon=550/n$ km (14 pav.) (Plėštys, Radis, Liutkauskas 2009).



14 pav. Pozicionavimo tikslumo padidinimas žiedų persidengimo būdu
7 lentelė. Vietos nustatymo technologijų palyginimas

Vietos nustatymo technologija	Kur nustatoma padėtis	Tikslumas	Vartotojo privatumo kontrolė	Privalumai	Trūkumai
GPS	telefone	3-15 m	yra	Didelis tikslumas, veikia visame pasaulyje.	Reikia modifikuoti telefonus, neveikia patalpose, ilga pirmojo fiksavimo trukmė, naudoja daug energijos.

7 lentelės tęsinys

A-GPS	telefone arba tinkle	3-15 m	yra	Didelis tikslumas, spartus pirmasis fiksavimas, veikia net esant silpniems palydovų signalams.	Reikia modifikuoti ir telefonus, ir bazinių stočių įrangą.
CELL-ID	tinkle	250 m-30km priklausomai nuo ląstelės dydžio	nėra	Nereikia modifikuoti nei telefonų, nei bazinių stočių įrangos.	Mažas tikslumas.
AOA	tinkle	100-200 m	nėra	Nereikia modifikuoti telefonų.	Reikalingos sudėtingos antenos, blogai tinka urbanizuotoms teritorijoms.
TOA	tinkle	100-200 m	nėra	Nereikia modifikuoti telefonų.	Reikia sinchronizuoti bazinių stočių laikrodžius.
E-OTD	telefone	50-125 m	yra	Didesnis tikslumas	Reikia modifikuoti telefonus.

2. RADIO SIGNALŲ STIPRUMO PROGNOZAVIMO MODELIŲ ANALIZĖ

Yra atlikta nemažai matavimais paremtų mokslinių tyrimų siekiant nustatyti tikslus radijo signalo stiprumo prognozavimo algoritmus. Populiariausi iš jų yra dokumentuoti ir standartizuoti tarptautinio telekomunikacijų instituto (International Telecommunications Union, ITU) ir Europos telekomunikacijų standartizavimo instituto (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) standartuose ir rekomendacijose.

Egzistuoja įvairūs radijo signalo stiprumo prognozavimo modeliai. Visi jie yra išanalizuoti ir realiai pritaikomi. Radijo signalo prognozavimo modeliai:

- Radijo signalo stiprumo prognozavimo atviroje erdvėje (Free-space) modelis
- Lee radijo signalo stiprumo prognozavimo modelis
- Hata radijo signalo stiprumo prognozavimo modelis
- Tiesinis radijo signalo stiprumo prognozavimo modelis
- COST-231 Walfish-Ikegami radijo bangų sklaidimo modelis

Tyrimai parodė, kad nė vienas iš tų žinomų empirinių (Empirical) radijo signalo stiprumo prognozavimo modelių: ITU-R Rec (ETSI TC-SMG 1994; GSM 03.30 version 8.3.0 1994; Stuber 2002; Hemani, Oussalah, Hall 2006; Hemani, Oussalah, Hall 2006), Lee (Lin, Juang 2003) ir Okumuros-Hatos (Hemani, Oussalah, Hall 2006; Hata, Tagatsu 1980; Nadir, Elfadhil, Touati 2008) nėra pakankamai tikslūs, kad jį būtų galima tiesiogiai taikyti Lietuvos sąlygomis.

Pasaulyje nėra nei vieningai priimto radijo signalo stiprumo prognozavimo modelio nei visuotinai priimto standarto, nusakančio prognozavimo modelių naudojimą. ETSI rekomendacijoje pabandyta nustatyti GSM tinklo projektavimui naudotinus modelius, kur skaičiuojant GSM tinklo ląstelės veikimo zoną, kai bazinės stoties antena iškelta aukštai virš aplinkinių namų stogų ir signalo slopinimą pagrinde nulemia sklaida ir užlinkimas už kliūčių, rekomenduojama naudoti Hata modelį, o miesto teritorijoje mažų GSM tinklo ląstelių, kurių veikimo zona iki 5 km, atveju rekomenduojama naudoti Cost-231 Walfish-Ikegami modelį, kuriame signalo slopinimas yra įvertinamas atsižvelgiant ir į pastatų aukščius, tarpus tarp pastatų, gatvių plotį ir orientaciją (VU Telekomunikacijų sistemų laboratorija 2007).

2.1. Radijo signalo stiprumo prognozavimo atviroje erdvėje (Free space) modelis

Atviroje erdvėje elektromagnetinės bangos slopsta pagal atvirkštinio kvadrato funkciją, arba $1/d^2$,

čia d yra atstumas nuo siųstuvo iki imtuvo. Linijinėje formoje, sklidimo nuostoliai yra:

$$L_p = \frac{4\pi\lambda^2}{d^2} \quad (2.1)$$

čia λ yra signalo bangos ilgis. Lygtis gali būti parašyta ir decibelinėje formoje:

$$L_p = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad (2.2)$$

čia d – dydis yra išreikštas kilometrais, f yra signalo dažnis megahercais ir sklidimo nuostoliai L_p yra išreikšti decibelais.

Išvedant lygtį priimama, kad šviesos greitis dažnio ir bangos ilgio santykis (tai yra, $c = \frac{f}{\lambda}$). Kai yra žinomas signalo perdavimo dažnis f , pirmoji ir antroji lygties sąlygos yra kilometrines konstantos, ir L_p skiriasi tik kaip d funkcija trečiojoje sąlygoje.

Atviros erdvės modelis yra grindžiamas sferinės bangų fronto išplėtimo koncepcija, kadangi signalas spinduliuojamas iš šaltinio į erdvę. Modelis dažniausiai naudojamas palydovinėse ir kosminėse telekomunikacijų sistemose, kur signalai iš tiesų keliauja per „atvirą“ erdvę. Mobilios telekomunikacinės sistemos, kur papildomi nuostoliai atsiranda dėl reljefo ir kitų Žemės dangos kliūčių, tiksliai perdavimo nuostolių nustatymui, radijo signalo stiprumo atviroje erdvėje modelis tiesiogiai nėra naudojamas (VU Telekomunikacijų sistemų laboratorija 2007; Nadir, Elfhadil, Touati 2008)

2.2. Lee radijo signalo stiprumo prognozavimo modelis

Sklidimo aplinka antžeminėse komunikacijose yra blogesnė nei atviroje erdvėje. Tarp bazinės stoties ir mobiliojo ryšio vartotojo dažnai yra kliūčių. Rezultate gaunamas signalas susideda iš signalų, keliaujančių tiek tiesioginėmis, tiek netiesioginėmis trajektorijomis. Zonos, kurias pasiekia tiesioginėmis trajektorijomis sklindantys signalai yra vadinamos tiesioginio matomumo zonomis

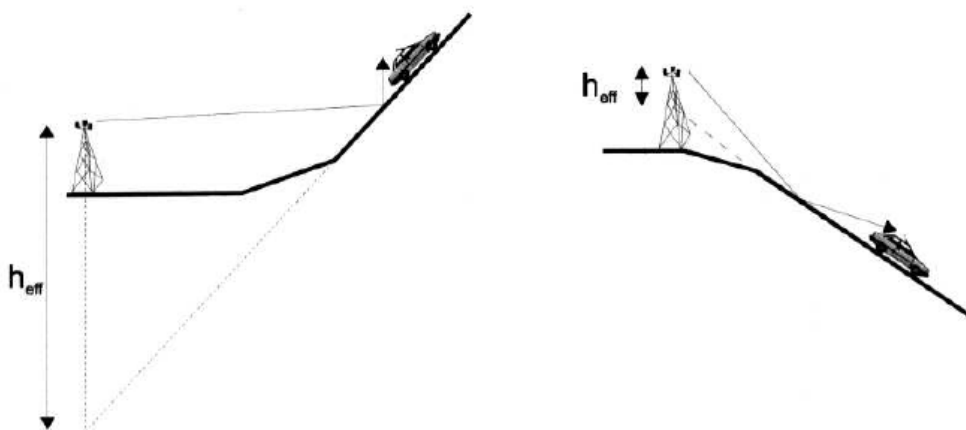
(Line Of Sight areas – LOS). Tiesioginėmis trajektorijomis sklindančių signalų nepasiekiamos zonos vadinamos netiesioginio matomumo zonomis (Not Line Of Sight areas – NLOS). Jas pasiekia tik nuo įvairių objektų, tokių kaip pastatai, medžiai ar kalnai, atsispindėję signalai. Todėl, sudėjus sklaidimo nuostoliai antžeminėje aplinkoje, ypač urbanizuotose teritorijose, yra žymiai didesni nei atviroje erdvėje. Lee radijo signalo stiprumo modelyje šis skirtumas yra įvertinamas padidinus signalo perdavimo nuostolių priklausomybę nuo atstumo tarp siųstuvo ir imtuvo atspindintį parametą. Supaprastinta Lee modelio formulė mobilių tinklų dažniams yra:

$$L_p = 1.14 \times 10^{-13} \frac{h^2}{d^{3.84}} \quad (2.3)$$

čia d yra atstumas (kilometrais) tarp bazinės stoties ir mobiliojo ryšio vartotojo ir h yra pagrindinės stoties antenos aukštis (metrais). Lee modelyje sklaidimo nuostoliams skaičiuoti naudojamas atstumo laipsninis rodiklis lygus 3.84, taigi beveik dvigubai didesnis nei sklaidimo atviroje erdvėje modelyje, kuriame jis yra lygus 2. Kitaip sakant, sklaidimo nuostoliai antžeminėse mobiliose telekomunikacinėse sistemose yra žymiai didesni nei sklaidimo nuostoliai atviroje erdvėje. Nuostoliai sumažėja kai yra didesnis bazinės stoties aukštis h , tai yra, kai bazinės stoties antena yra pakeliama aukščiau. L_p skaičiuojama decibelais pagal formulę:

$$L_p = 129.45 + 38.4 \log(d) + 20 \log(h) \quad (2.4)$$

čia d yra dydis išreikštas kilometrais ir h yra išreikštas metrais. Šioje Lee modelio formulėje sklaidimo nuostolių polinkis yra 38.4 dB/dekados. Pilna Lee modelio forma yra sudėtingesnė nei pateikta formulėse ir turi daugiau parametų, aprašančių sklaidimo ir antžeminės aplinkos sąlygas. Nelygioje teritorijoje tikrasis antenos aukštis gali šiek tiek skirtis nuo fizinio aukščio. 15 paveiksle parodyta kaip apskaičiuoti aukštį (Hemani, Oussalah, Hall 2006; Hemani, Oussalah, Hall 2007).



15 pav. Tikrojo pagrindinės stoties antenos aukščio skaičiavimas

2.3. Hata radijo signalo stiprumo modelis

Geras sklaidimo modelis turėtų būti skirtingų parametru, tiksliai nusakančių radijo signalo stiprumo priklausomybės nuo aplinkos sąlygų, funkcija. Hata modelis yra sudėtingesnis nei prieš tai aprašyti sklaidimo nuostolių skaičiavimo modeliai. Jis papildomai leidžia įvertinti įtaką, tokių parametru kaip: dažnis, siųstuvo ir imtuvo aukštis bei teritorijos atvirumas. Hata modelis yra nustatytas atlikus ir statistiniais metodais apdorojus didelį kiekį elektromagnetinio lauko matavimų miesto aplinkoje. Decibelinėje formoje, apibendrintas modelis yra išreikštas taip:

$$L_p = K_1 + K_2 \log(f) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log(d) + K_0 \quad (2.5)$$

čia f yra sklaidimo dažnis (megahercais), h_b yra pagrindinės stoties antenos aukštis (metrais) ir h_m yra mobilios antenos aukštis (metrais), d yra atstumas (kilometrais) tarp bazinės stoties ir mobiliojo ryšio vartotojo. $a(h_m)$ ir K_0 parametrai priklauso nuo teritorijos atvirumo, tai yra ar bangos sklinda urbanizuotoje ar pusiau urbanizuotoje ar atviroje aplinkoje.

Nustatyti Hata modelio parametrai yra tinkami tik esant tam tikroms sąlygoms, tai yra kai: f yra nuo 150 MHz – 1 GHz, h_b – nuo 30m iki 200m, h_m – nuo 1m iki 10m, ir d – nuo 1 km iki 20 km. Hata modelio formulėje sklaidimo nuostolių polinkis yra $[44,9 - 6,55 \log(h_b)]$ arba 35,2 dB/dekados.

Nustatomas koeficientas $a(h_m)$, kuris priklauso nuo mobiliojo imtuvo aukščio. Hata – Okumura suskirstė miesto teritorijas į didelius ir mažus/vidutinius miestus.

Miesto teritorijose spinduliuojamos galios sumažėjimas išreiškiamas:

$$L = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log(h_b)) \cdot \log(d) \quad (2.6)$$

čia $a(h_m)$ yra duota:

$$a(h_m) = 3.2(\log(11.75 h_m))^2 - 4.97 \quad \text{skirta dideliems miestams} \quad (2.7)$$

$$a(h_m) = 1.1 \log(f - 0.7) h_m - 1.56 \log(f) - 0.8 \quad \text{skirta mažiems/vidutiniams miestams} \quad (2.8)$$

Priemiesčio teritorijoms spinduliuojamos galios sumažėjimas išreiškiamas:

$$L = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log(h_b)) \cdot \log(d) - 2(\log(f/28))^2 \quad (2.9)$$

čia $a(h_m)$ skaičiuojamas kaip mažiems/vidutiniams miestams (Hemani, Oussalah, Hall 2006; Hemani, Oussalah, Hall 2007; Hemani, Oussalah 2006)

2.4. Tiesinis radijo signalo stiprumo modelis

Visi aprašyti radijo bangų sklaidimo nuostolių skaičiavimų modeliai, gali būti pateikti supaprastintoje, tiesinės lygties formoje:

$$L_p = L_0 + \gamma \log(d) \quad (2.10)$$

čia L_0 yra tiesinės lygties sklaidimo nuostolių skaičiavimo poslinkis ir γ – polinkis. Polinkis yra faktorius, parodantis kaip mažėja signalo stiprumas priklausomai nuo atstumo. Atviros erdvės, Lee

ir Hata modelių polinkis yra skirtingas, atitinkamai 20 dB/dekados, 38,4 dB/dekados, ir 35,2 dB/dekados, kai bazinės stoties aukštis yra 30 m. Realybėje polinkis svyruoja nuo 20 iki 40 dB per dekadą, tai yra perdavimo nuostolių priklausomybė nuo atstumo yra atvirkštinė atstumo, kurio laipsninis rodiklis nuo 2 iki 4 funkcija. Signalui sklindant atviroje aplinkoje atstumo laipsninis rodiklis yra arčiau 2, urbanizuotoje, miesto aplinkoje – apie 4. Nustatant signalų sklidimo nuostolius bendrai, visame mieste, tiesinėje nuostolių skaičiavimo lygtyje galima naudoti atstumo laipsninį rodiklį lygų 4, tačiau analizuojant atskirose miesto vietose jis gali būti labai skirtingas. Pavyzdžiui, gatvės properšoje, tiesioginio matomumo zonoje nuo bazinės stoties, jis gali būti lygus 2, kitose miesto vietose – 4, o kai kuriose vietose, kur daug medžių ar kito tipo kliūčių, siekti net 6 (VU Telekomunikavijų sistemų laboratorija 2007).

2.5. COST-231 Walfish-Ikegami radijo bangų sklidimo modelis

Walfish ir Bertoni bei Ikegami modelių pagrindu Europos mokslinių tyrimų komitetas COST 231 sukūrė COST-231 Walfish-Ikegami modelį, kurį ETSI rekomenduoja naudoti skaičiuojant GSM signalo perdavimo nuostolius urbanizuotoje, miesto aplinkoje. Šiame modelyje siekiant tiksliau aprašyti ir atsižvelgti į signalo sklidimo mieste sąlygas skaičiavimo formulėse įvesti tokie parametrai kaip vidutinis pastatų aukštis, atstumas tarp pastatų, gatvės plotis ir jos orientacijos kampas signalo sklidimo krypties atžvilgiu. Žemiau pateikti COST-231 Walfish-Ikegami modelio taikymo apribojimai ir skaičiavimo formulės. Taip pat 5 paveiksle pateiktas grafinis modelyje naudojamų parametų paaiškinimas.

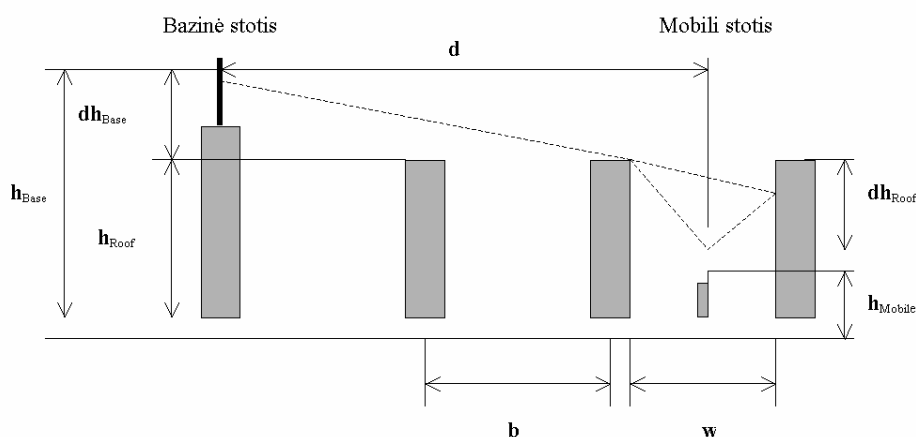
COST-231 Walfish-Ikegami modelio taikymo apribojimai:

f – dažnis (MHz), apie 800 MHz – 2 GHz ribose;

h_B – bazinės stoties antenos aukštis nuo Žemės paviršiaus, 4 – 50 m ribose;

h_M – mobilios stoties antenos aukštis, 1–3 m ribose;

d – atstumas nuo bazinės stoties iki mobilios stoties, 0,02 – 5 km ribose.



16 pav. COST-231 Walfish-Ikegami modelio parametų grafinis paaiškinimas

COST–231 Walfish–Ikegami modelio pagrindinių signalo perdavimo nuostolių skaičiavimo formulė yra:

$$L_b = \begin{cases} L_0 + L_{rts} + L_{msd} & , kai L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_0, & , kai L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

čia: L_0 – signalo perdavimo atviroje erdvėje nuostoliai (free–space loss), kurie apskaičiuojami pagal formulę:

$$L_0 = 32.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f) \quad (2.12)$$

čia: L_{rts} – signalo difrakcijos nuo pastatų stogų ir atspindžių įtaka (roof–top–to–street diffraction and scatter loss), kuri skaičiuojama pagal formulę:

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log(w) + 10 \log(f) + 20 \log(h_{Roof} + h_{Mobile}) + L_{cri} \quad (2.13)$$

$$L_{cri} = \begin{cases} -10 + 0.354 \cdot \varphi & , kai 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075 \cdot (\varphi - 35) & , kai 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 + 0.114 \cdot (\varphi - 55) & , kai 55^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases} \quad (2.14)$$

čia, φ yra gatvės orientacijos kampas signalo sklidimo krypties atžvilgiu.

L_{msd} – nuostoliai dėl difrakcijos už sąlyginių kliūčių (multi–screen diffraction loss), skaičiuojami:

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \cdot \log(d) + k_f \cdot \log(f) - 9 \cdot \log(b) \quad (2.15)$$

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \cdot \log(1 - h_{Base} - h_{Roof}) & , kai h_{Base} > h_{Roof} \\ 0 & , kai h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases} \quad (2.16)$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & , kai h_{Base} > h_{Roof} \\ 54 - 0.8 \cdot (h_{Base} - h_{Roof}) & , kai h_{Base} \leq h_{Roof}, d \geq 0.5 \\ 54 - 0.8 \cdot (h_{Base} - h_{Roof}) \cdot (d / 0.5) & , kai h_{Base} \leq h_{Roof}, d < 0.5 \end{cases} \quad (2.17)$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & , kai h_{Base} > h_{Roof} \\ 18 - 15 \cdot \frac{h_{Base} - h_{Roof}}{h_{Roof}} & , kai h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases} \quad (2.18)$$

$$k_f = \begin{cases} -4 + 0.7 \cdot (f / 925 - 1) & miestams \\ -4 + 1.5 \cdot (f / 925 - 1) & didmiesciu centrams \end{cases} \quad (2.19)$$

Kai mobili stotis yra tiesioginio matomumo zonoje iš bazinės stoties, gatvės properšoje (Street Canyon), tai yra mikro celės atveju, bazinės stoties antena yra žemiau supančių pastatų stogų lygio, rekomenduojama pagrindinių signalo perdavimo nuostolių skaičiavimo formulė yra:

$$L_b = 42.6 + 26 \cdot \log(d) + 20 \cdot \log(f) \quad (2.20)$$

Jei nėra nustatytos tikslesnės konkretaus miesto COST–231 Walfish–Ikegami modelio parametrų reikšmės, COST–231 rekomenduoja naudoti lentelėje pateiktas reikšmes.

8 lentelė. Rekomenduojamos COST-231 Walfish Ikegami modelio parametrų reikšmės

Parametras	Rekomenduojama reikšmė
b	nuo 20 iki 50 m
w	b/2
h_{Roof}	$3m \cdot (\text{vidutinis pastatu aukstu skaičius}) + \text{stogo aukštis}$ $\text{Stogo aukštis} = \begin{cases} 3m & , \text{kai slaitinis stogas} \\ 0m & , \text{kai plokščias stogas} \end{cases}$
ϕ	90°

Svarbus COST–231 Walfish–Ikegami modelio skirtumas nuo Hata modelio yra tame, kad jame yra numatytas skirtingų skaičiavimo algoritmų naudojimas priklausomai nuo mobilios stoties buvimo vietos, tai yra ar ji yra tiesioginio matomumo zonoje (LOS) ar netiesioginio matomumo zonoje (NLOS). Tačiau COST–231 Walfish–Ikegami modelyje sklidimo aplinkos sąlygoms aprašyti naudojami neišmatuojami, sąlyginiai parametrai, tokie kaip: gatvės – gatvės properšos plotis, atstumas tarp pastatų. Šiais parametrais neįmanoma tiksliai aprašyti miesto aplinkos sąlygų. Pavyzdžiui, prognozuojant elektromagnetinio lauko stiprumą aikštėje, iš visų pusių apsuptoje gatvių, – neįmanoma parinkti nei gatvės pločio, nei jos orientacijos kampo signalo sklidimo kryptimi. COST–231 Walfish–Ikegami modelis, kaip ir Hata modelis yra įdiegtas daugelyje programinės įrangos produktų, tačiau jis nėra plačiai naudojamas visų pirma dėl sunkiai nustatomų aplinką aprašančių parametrų, kurie praktiškai tampa papildomais kintamaisiais nustatant nuostolių skaičiavimo lygčių parametrus. Antras modelio trūkumas praktiniam naudojimui – žymiai lėtesnis skaičiavimo greitis nei Hata modelio (Hemani, Oussalah, Hall 2006; Vilniaus Universitetas Telekomunikacijų sistemų laboratorija 2007)

2.6. Kalmano filtro modelis

Vieno atstumo išmatavimai yra gaunami mažiausiai iš trijų pagrindinių stočių ir nekintamas Kalmano filtro algoritmo modelis yra taikomas skaičiuoti mobilaus imtuvo padėties platumos ir ilgumos koordinatas. Rezultatų tikslumas priklauso nuo to, koku atstumu mobilus imtuvas yra nuo vietos, kur stipriausio signalo matavimai buvo atlikti. Tai yra nustatyta naudojant GPS prietaisą kokrečioje eksperimento vietoje.

$X_k \begin{bmatrix} L_k \\ l_k \end{bmatrix}$ vektorius vaizduojantis mobilaus imtuvo vietą laiku k , L yra platuma, l – ilguma.

Mobilaus imtuvo padėtis yra konstanta. Kitais žodžiais, adresato modelio padėtis yra duota:

$$X_{k+1} = X_k$$

$B_i \begin{bmatrix} L_i \\ l_i \end{bmatrix}$ vektorius vaizduojantis ilgumą ir platumą i -tosios bazinės stoties (BTS).

$D_i(k)$ atstumo tarp i -tosios bazinės stoties ir mobiliojo imtuvo padėtis laiku k ; R yra Žemės spindulys (6378.135 km).

$D_i(k)$ skaičiavimui naudojama kosinusų taisyklė:

$$D_i(k) = a \cos[\sin(L_k)\sin(L_i) + \cos(L_k)\cos(L_i)\cos(l_i - l_k)] + \varepsilon(k) \quad (2.21)$$

čia $\varepsilon(k)$ yra Gauso triukšmas ir lygus nuliui.

- Išlyginus Kalmano filtro lygtį, kitas žingsnis yra pasikartojantis algoritmas, kuris skaičiuojamas kiekvienai pagrindinei stočiai. Duotas pirminis variantas – kovariacijų matrica P_k ir duotas matavimų variantas R (buvo pasirinkta alternatyva, kad $R=0.25$).
- Filtras gaunamas: $K_k = P_k H_i^T (H_i P_k H_i^T + R)^{-1}$
- Vietos apskaičiavimo atnaujinimas: $\hat{X}_{k+1} = \hat{X}_k + K_k (d_i - \hat{D}_i)$. Čia d_i tai atstumas tarp mobilau imtuvo ir i -tosios bazinės stoties, nustatytas naudojant spinduliuotės galios sumažėjimo skaičiavimą.
- Kovariacijos atnaujinimas: $P_{k+1} = (I - K_k H_i) P_k$

Vietoj $H_i(k)$ įrašoma Jakobiano matrica $\hat{D}_i(k)$ (t.y., $D_i(k)$ be Gauso triukšmo $\varepsilon(k)$).

$$\text{Pavyzdžiui, } H_i(k) = \begin{bmatrix} \frac{\partial \hat{D}_i(k)}{\partial L_k} & \frac{\partial \hat{D}_i(k)}{\partial l_k} \end{bmatrix},$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \hat{D}_i}{\partial L_k} &= R \left[\frac{\sin(L_k)\cos(L_i)\cos(l_i - l_k) - \cos(L_k)\sin(L_i)}{\sqrt{1 - [\sin(L_k)\sin(L_i) + \cos(L_k)\cos(L_i)\cos(l_i - l_k)]^2}} \right] \\ \frac{\partial \hat{D}_i}{\partial l_k} &= R \left[\frac{\cos(L_k)\cos(L_i)\sin(l_i - l_k)}{\sqrt{1 - [\sin(L_k)\sin(L_i) + \cos(L_k)\cos(L_i)\cos(l_i - l_k)]^2}} \right] \end{aligned} \quad (2.22)$$

Kiekvienai bazinei stočiai atliekama:

- Apskaičiuojama $\hat{D}_i(k)$ reikšmė, naudojant kiekvienos bazinės stoties platumą ir ilgumą, ir mobilaus imtuvo padėtis X_k .

- Sudaryti Jakobiano matricą H_i .
- Apskaičiuoti Kalmano filtrą K , naudojant P ir H matricas.
- Atnaujinti mobilaus imtuvo vietą X , naudojant K, D ir atstumą tarp mobilaus imtuvo ir bazinės stoties.
- Atnaujinti paklaidų kovariacijos matricą P , naudojant K_k ir H_i matricas (Hemani, Oussalah, Hall 2007).

3. GSM RYŠIO SISTEMŲ TAIKYMO KOORDINATĖMS NUSTATYTI TEORINIS PRINCIPAS

Taško erdvinėms koordinatėms apskaičiuoti, taikant trilateracijos metodą, reikia nustatyti linijų ilgį tarp bazinių GSM stočių ir mobiliojo GSM imtuvo. GSM stočių erdvinės koordinatės yra nustatytos GPS metodu. Atstumas tarp GSM stoties ir mobiliojo GSM imtuvo pagal GSM stoties spinduliuojamo ir mobiliojo imtuvo priimtojo signalų galių lygmenis, išreikštus decibelais. Skaičiavimams naudojami spinduliuojamų arba priimtųjų galių santykiai su atitinkamais galių vienetais, pvz., 1mW. Galių santykių išraiška užrašoma dešimtainių logaritmų pavidalu decibelais:

$$F = 10 \lg \frac{p_1}{p_0}, \text{ dB}, \quad (3.1)$$

čia p_1 - spinduliuojamos arba priimtos galios reikšmė, p_0 - atitinkamos galios vienetas, pvz., $p_0 = 1$ mW. Kai $p_0 = 1$ mW, dydžio F mato vienetas yra dBm.

Skaičiuojamas atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo. Atstumui apskaičiuoti naudojamas empirinis Okumura – Hata algoritmas.

$$S = 10^c \text{ km}, \quad (3.2)$$

$$c = \frac{L_s - k + 13,82 \lg h_b + a}{44,9 - 6,55 \lg h_b}, \quad (3.3)$$

čia L_s - spinduliuojamos galios sumažėjimas dB spindulių sklaidimo trajektorijoje, k - koeficientas, kurio reikšmė priklauso nuo aplinkos, h_b - bazinės GSM stoties aukštis virš Žemės paviršiaus, m, a - koeficientas, kurio reikšmė priklauso mobiliojo imtuvo aukščio.

Koeficientu reikšmės:

$k = 146,8$ – miesto teritorijos,

$k = 136,9$ – pusiau atviros teritorijos,

$k = 127,5$ - kaimo teritorijos,

$k = 118,3$ – atviros erdvės,

$a = 0$ – kai mobiliojo imtuvo aukštis $h_m = 1,5$ m, kitos koeficiento a reikšmės skaičiuojamos pagal formulę:

$$a = 3,2\{[g(11,75 \cdot h_m)]^2 - 4,97\} \quad (3.4)$$

L_s dydžio reikšmė nustatoma pagal formulę:

$$L_s = E + R_x \quad (3.5)$$

čia E – spinduliuojamos galios santykis, dB, R_x – mobiliojo imtuvo priimtose galios santykis, dB.

Nagrinėjama nustatomo atstumo S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo tikslumo priklausomybė nuo spinduliuotės galios sumažėjimo L_s , dB, sklidimo trajektorijoje matavimo tikslumo. Panaudojus pagal formules (3.2) ir (3.3) vidutines parametrų reikšmes $k = 146,8$; $h_b = 30$ m ir $a = 0$, galima parašyti

$$\lg S = c = \frac{1}{35} L_s - 3,6. \quad (3.6)$$

Gaunama atstumo S standartinio nuokrypio σ_s išraiška priklausomai nuo standartinio nuokrypio σ_{L_s} :

$$\frac{0,43}{S} \sigma_s = \frac{1}{35} \sigma_{L_s} \quad (3.7)$$

$$\sigma_{L_s} = \frac{14}{S} \sigma_s \quad (3.8)$$

Norint gauti matuojamą atstumą su santykinė klaida $\sigma_s / S \approx 1/200$ (pvz., 2000 m atstumą nustatyti 10 m tikslumu) reikia spinduliuotės galios sumažėjimą L_s išmatuoti su standartiniu nuokrypiu $\sigma_{L_s} \approx 0,1$ dB. Nustatant dydžio L_s reikšmę su standartiniu nuokrypiu $\sigma_{L_s} \approx 0,1$ dB ir tarp bazinių stočių esant 2-5 km atstumams, maždaug su 10 m klaidomis įmanoma nustatyti GSM mobiliojo imtuvo koordinatas. Dabartinių technologijų ir metodų lygmeniu L_s dydį įmanoma išmatuoti maždaug $\sigma_{L_s} \approx 1$ dB tikslumu. Tai atitinka apriorinę koordinatų 100 m tikslumą (Dargis 2006; Skeivalas, Radis, Liutkauskas 2009).

3.1. Koordinatų nustatymo metodas

Taikant triliteracijos metodą taško erdvinėms koordinatėms nustatyti, reikia išmatuoti linijų ilgį tarp bazinių GSM stočių ir mobiliojo GSM imtuvo. Atstumą tarp GSM stočių bei tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo galima nustatyti pagal GSM signalo sklidimo laiko intervalą arba signalo amplitudę. GSM signalo sklidimo laiko intervalas τ_{11} kalibruojamas taikant išmatuotą signalo tarp GSM stočių, kurių koordinatės žinomos, intervalą τ_{12} . Atstumas tarp GSM stoties ir mobiliojo GSM imtuvo randamas taip:

$$S_{1i} = \frac{\tau_{1i}}{\tau_{12}} S_{12} \quad (3.9)$$

čia S_{1i} – atstumas tarp GSM stoties 1 ir mobiliojo imtuvo i , S_{12} – atstumas tarp dviejų GSM stočių, τ_{1i} – signalo sklaidimo laiko intervalas tarp stoties 1 ir imtuvo i , τ_{12} – signalo sklaidimo laiko intervalas tarp dviejų GSM stočių.

Analogiškai galima kalibruoti GSM signalo stiprumą, t.y. amplitudę, tada matuojamas atstumas išreiškiamas taip:

$$S_{1i} = \frac{A_{1i}}{A_{12}} S_{12} \quad (3.10)$$

čia A_{1i} , A_{12} – atitinkamų signalų amplitudės.

Atstumai tarp GSM stočių apskaičiuojami pagal jų erdvines koordinates, išmatuotas GPS metodu.

Laikant, kad GSM stočių ir GSM mobiliųjų imtuvų kvarcinių generatorių signalų dažnių santykinis tikslumas apibrėžiamas reikšme 10^{-4} , t.y. $\sigma_f / f = 10^{-4}$, pagal formulę (3.9) galima parašyti:

$$\sigma_{S_{1i}}^2 = \left(\frac{S_{12}}{\tau_{12}} \right) \sigma_{\tau_{1i}}^2 + \left(\frac{\tau_{1i}}{\tau_{12}^2} \right) S_{12}^2 \sigma_{\tau_{12}}^2, \quad (3.11)$$

čia $\sigma_{\tau_{12}}$, $\sigma_{\tau_{1i}}$ – atitinkamų dydžių standartiniai nuokrypiai.

Priklausomai nuo GSM generatorių signalų dažnių santykinio tikslumo maždaug tokiu pat santykinio tikslumu įmanoma nustatyti laiko intervalą τ , nes jis pakankamai mažas:

$$\frac{\sigma_f}{f} = \frac{\sigma\left(\frac{1}{T}\right)}{\frac{1}{T}} = \frac{\frac{1}{T^2} \sigma_T}{\frac{1}{T}} = \frac{\sigma_T}{T} \approx \frac{\sigma_T}{\tau}, \quad (3.12)$$

čia f, T – signalų dažnis ir periodas.

Formulėje (3.11) taikant konkrečias reikšmes, kai $S_{1i} \approx S_{12} = 10 \text{ km}$, $\tau_{1i} \approx \tau_{12}$, $\sigma_\tau / \tau = 10^{-4}$, gaunama (Dargis 2006)

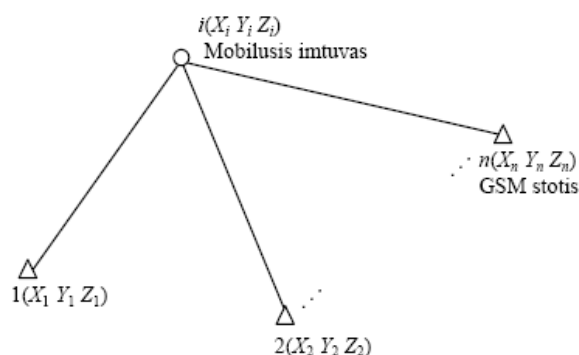
$$\sigma_{S_{1i}} = \sqrt{2} S_{12} \cdot 10^{-4} = 1.4 \text{ m} \quad (3.13)$$

Rezultatai rodo, kad GSM mobiliojo imtuvo erdvines koordinates įmanoma nustatyti standartiniu nuokrypiu $\sigma_x \approx \sigma_y \approx \sigma_z \approx 1.4 \text{ m}$. Taikoma parametrinių lygčių sistema GSM mobiliojo imtuvo erdvinėms koordinatėms nustatyti pagal daugkartinę linijinę sankirtą:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{S}_{1i} &= (\Delta \tilde{X}_{1i}^2 + \Delta \tilde{Y}_{1i}^2 + \Delta \tilde{Z}_{1i}^2)^{1/2} \\ &\dots \\ \tilde{S}_{ni} &= (\Delta \tilde{X}_{ni}^2 + \Delta \tilde{Y}_{ni}^2 + \Delta \tilde{Z}_{ni}^2)^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (3.14)$$

čia $\tilde{S}_{ni}$ -išlygintinoji ni -tosios linijos ilgio reikšmė; $\Delta\tilde{X}_{ni} = \tilde{X}_i - X_n$, $\Delta\tilde{Y}_{ni} = \tilde{Y}_i - Y_n$, $\Delta\tilde{Z}_{ni} = \tilde{Z}_i - Z_n$ - atitinkami išlyginti koordinačių prieaugiai; $\tilde{X}_i, \tilde{Y}_i, \tilde{Z}_i$ - GSM mobiliojo imtuvo išlyginamosios koordinatės; X_n, Y_n, Z_n -GSM bazinės stoties koordinatės.

Parametrinių lygčių sistema linearizuojama i -tojo mobiliojo imtuvo apytikrių koordinačių srityje. Apytikrėmis koordinatėmis galima laikyti GSM stočių atitinkamų koordinačių vidurkius. Linearizuotų pataisų lygčių sistema:



17 pav. Daugartinės linijinės sankirtos schema

$$\left. \begin{aligned} v_{1i} &= a_{11}\alpha_i + a_{12}\beta_i + a_{13}\gamma_i + l_{1i} \\ &\dots \\ v_{ni} &= a_{n1}\alpha_i + a_{n2}\beta_i + a_{n3}\gamma_i + l_{ni} \end{aligned} \right\} \quad (3.15)$$

čia v_{ni} - ni -tosios išmatuotos linijos ilgio pataisa; $a_{ni} = (\Delta x_{ni} / S_{ni})_0$, $a_{n2} = (\Delta y_{ni} / S_{ni})_0$, $a_{n3} = (\Delta z_{ni} / S_{ni})_0$ - ni -tosios pataisų lygties koeficientai, apskaičiuoti žinant apytikres koordinatas ; $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ - i -tojo GSM mobiliojo imtuvo apytikrių koordinačių (x_{i0}, y_{i0}, z_{i0}) pataisos; $l_{ni} = (S_{ni,0} - S_{ni})$ - ni -tosios pataisų lygties laisvasis narys; $S_{ni,0}$ - apytikris ni -tosios linijos ilgis, apskaičiuotas pagal apytikres i -tojo imtuvo koordinatas; S_{ni} - išmatuotas ni -tosios linijos ilgis.

Taikant erdvinės trilateracijos metodą, išmatuotų linijų skaičius turi atitikti nelygybę $n \geq 3$. Kuo didesnis išmatuotų linijų skaičius, tuo tiksliau galima nustatyti i -tojo imtuvo koordinatas, taikant mažiausiųjų kvadratų metodą.

Parametrinių pataisų lygčių sistema (3.15) matricų pavidalu užrašoma taip:

$$V = A\tau + L, \quad (3.16)$$

čia V – išmatuotų linijų ilgių pataisų vektorius, A – pataisų lygčių koeficientų matrica $n \times 3$, τ – i -tojo imtuvo apytikrių koordinačių pataisų vektorius, $L=S_0 - S$ – laisvųjų narių vektorius, S_0 – apytikrių linijų ilgių vektorius, S – išmatuotų linijų ilgių vektorius.

Vektoriaus τ reikšmė gaunama kaip normalinių lygčių sistemos sprendinys:

$$\tau = -N^{-1}\omega = -N^{-1}A^T PL, \quad (3.17)$$

čia $N = A^T PA$ – normalinių lygčių koeficientų matrica, P – išmatuotų linijų ilgių svorių matrica, $\omega = A^T PL$ – normalinių lygčių laisvųjų narių vektorius.

Normalinių lygčių sistema sprendžiama iteravimo metodu, kadangi i -tojo imtuvo pradinės apytikrės koordinatės nustatomos su didelėmis klaidomis. Vektoriaus τ reikšmė tikslinama tol, kol dviejų gretimų iteracijų rezultatų skirtumas bus mažesnis už iš anksto pasirinktą teigiamąjį skaičių ε , apibūdinantį matavimų ir skaičiavimų tikslumą.

Išlygintųjų i -tojo imtuvo koordinačių vektoriaus reikšmė yra lygi

$$\tilde{T} = T_0 + \tau \quad (3.18)$$

$$\tilde{T} = (\tilde{X}_i, \tilde{Y}_i, \tilde{Z}_i)^T, \quad T_0 = (X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0})^T. \quad (3.19)$$

Išlygintųjų i -tojo imtuvo koordinačių vektoriaus $\tilde{T}$ kovariacijų matrica $K_{\tilde{T}}$ skaičiuojama taip $K_{\tilde{T}} = K_{T_0} + K_{\tau} = K_{\tau}$, nes $K_{T_0} = 0$, kai išlyginimo procedūrose fiksuotas nekintantis i -tojo taško apytikrių koordinačių vektorius.

Pataisų vektoriaus τ kovariacijų matrica K_{τ} taikant lygybę (3.17), gaunama taip:

$$K_{\tau} = K_{\tilde{T}} = (N^{-1}A^T P)K_L(N^{-1}A^T P)^T = \sigma_0^2 N^{-1} \quad (3.20)$$

čia $K_L = K_{S_0} + K_S = K_S = \sigma_0^2 P^{-1}$, nes $K_{S_0} = 0$.

Išlygintųjų linijų ilgių vektoriaus $\tilde{S}$ kovariacijų matrica $K_{\tilde{S}}$, taikant lygybę (3.16), yra lygi

$$K_{\tilde{S}} = AK_{\tau}A^T = \sigma_0^2 AN^{-1}A^T \quad (\text{Skeivalas, Radis, Liutkauskas 2009; Dargis 2006})$$

3.2. Koordinatės nustatyti taikoma programinė įranga

Matavimams atlikti naudojamas mobilusis telefonas Nokia 3310, kuriame įrašyta programa Net Monitor. Naudojant programą konkrečioje vietoje, išmatuojamas siunčiamo signalo stiprumas (Rx) iš pagrindinės bazinės GSM stoties ir iš kaimyninių bazinių stočių. NetMonitor nustato kiekvienos bazinės stoties, susisiekančios su mobiliuoju imtuvu, ląstelės indentifikavimo kodą (CI) (Hemani, Oussalah, Hall 2006).

Matavimų metu buvo naudojami programos 3,4 ir 11 langai.

Programos 3 langas:

03	03	21:53
115	35	0000
00	00	0000
	2	0000
	7	0000
	2	0000

18 pav. Programos NetMonitor 3 langas

- 1 eilutė: pagrindinės bazinės stoties informacija
- 2 eilutė: 1. kaimyninės GSM bazinės stoties informacija
- 3 eilutė: 2. kaimyninės GSM bazinės stoties informacija
- 4 eilutė, ef: 1. kaimyninės GSM bazinės stoties informacija
- 4 eilutė, gh: 2. kaimyninės GSM bazinės stoties informacija
- aaa stulpelis: kanalo numeris
- bbb stulpelis: C1 reikšmės, kurių diapazonas - 99 – 999
- ccc stulpelis: Rx – siglano stiprumas, dB. Minuso ženklas nerodomas, jeigu ≤ 100
- ddd stulpelis: C2 vertės, kurių diapozonas - 99 – 999
- e, g F: ląstelė yra uždraustoje vietoje
- f, h B: ląstelė yra uždrausta
- N: ląstelė yra normalaus prieinamumo
- L: ląstelė žemo prieinamumo

Programos 4 langas:

04 21:56
77 21-8 21
119 100 100
11 100 100
N N N

19 pav. Programos NetMonitor 4 langas

- 1 eilutė: 3. kaimyninės GSM bazinės stoties informacija
2 eilutė: 4. kaimyninės GSM bazinės stoties informacija
3 eilutė: 5. kaimyninės GSM bazinės stoties informacija
4 eilutė, ef: 3. kaimyninės GSM bazinės stoties informacija
4 eilutė, gh: 4. kaimyninės GSM bazinės stoties informacija
4 eilutė, ij: 5. kaimyninės GSM bazinės stoties informacija
aaa stulpelis: kanalo numeris (CH)
bbb stulpelis: C1 reikšmės, kurių diapazonas - 99 – 999

ccc stulpelis: Rx – siglano stiprumas, dB. Minuso ženklas nerodomas, jeigu ≤ 100

ddd stulpelis: C2 vertės, kurių diapozonas - 99 – 999

e, g, i F: ląstelė yra uždraustoje vietoje

f, h, j B: ląstelė yra uždrausta

N: ląstelė yra normalaus prieinamumo

L: ląstelė yra žemo prieinamumo

Programos 11 langas:

```
+++++  
+CC:aaa NCbbb+  
+ LAC:cccc +  
+ CH : dddd +  
+ CID:eeee +  
+++++
```

```
#####  
# MCC MNC #  
#LocAreaCode #  
#ServChannel #  
# CellId #  
#####
```



20 pav. Programos NetMonitor 11 langas

aaa MCC reikšmė (MCC – Mobilaus ryšio šalies kodas)

bbb MNC reikšmė (MNC – Mobilaus tinklo kodas)

cccc Aptarnaujančios ląstelės buvimo kodas (Location Area Code)

dddd Pagrindinio ląstelės kanalo numeris

eeee Ląstelės identifikatorius (Nokia Netmonitor manual 2002).

3.3. Pradiniai duomenys

Išmatuotų taškų koordinatės nustatytos Klaipėdos mieste ir Vilniaus mieste, naudojant GSM ryšio sistemų duomenimis. Šiuo metodu taškų koordinatės nustatytos remiantis trilateracijos tinklu, sudarytu iš GSM tinklo referencinių stočių ir GSM mobiliųjų imtuvų. Atstumas tarp GSM stočių ir mobiliojo GSM imtuvo apskaičiuotas pagal GSM stočių spinduliuojamų ir mobiliojo imtuvo priimtų signalų galių lygmenis, išreikštus decibelais.

Mobiliojo imtuvo priimtų galios santykis Rx išmatuotas mobiliuoju telefonu Nokia 3310, kuriame įrašyta Net Monitor programa. Signalai mobiliuoju telefonu buvo priimami iš šešių bazinių GSM stočių. Taškų koordinatės išmatuotos naudojant MobileMapper GPS imtuvą. Likusieji duomenys, reikalingi skaičiavimams atlikti gaunami iš Klaipėdos miesto ir Vilniaus miesto GSM stočių žiniaraščio, kuriame pateiktos stočių koordinatės, altitudžių, direkcinų kampų, spinduliuojamos galios santykio ir antenų aukščių reikšmės.

Mobiliuoju telefonu Nokia su Net Monitor programa atliktų matavimų duomenys. Skaičiavimams atlikti reikalingas kanalo dažnis CH, bazinei stotiai identifikuoti, ir mobiliojo imtuvo priimtų galios santykis Rx, dB

10 lentelė. Mobiliuoju telefonu gauti duomenys Klaipėdos mieste

Programos langas	1 TAŠKAS		2 TAŠKAS		3 TAŠKAS		4 TAŠKAS		5 TAŠKAS	
	CH	Rx	CH	Rx	CH	Rx	CH	Rx	CH	Rx
3	48	-59	112	-61	108	-35	106	-57	52	-45
	107	-61	205	-64	534	-52	569	-63	585	-47
	598	-67	50	-69	54	-59	571	-61	569	-49
4	51	-72	48	-74	628	-60	49	-65	106	-64
	48	-69	55	-75	116	-63	54	-67	118	-66
	118	-71	105	-70	991	-69	997	-67	585	-52
11	LAC	3	LAC	3	LAC	3	LAC	3	LAC	3
	CH	105	CH	112	CH	108	CH	106	CH	52
	CID	1879	CID	1878	CID	274	CID	1882	CID	1880

Programos langas	6 TAŠKAS		7 TAŠKAS		8 TAŠKAS		9 TAŠKAS		10 TAŠKAS	
	CH	Rx	CH	Rx	CH	Rx	CH	Rx	CH	Rx
# 3	116	-59	107	-48	117	-67	113	-45	49	-65
	531	-60	586	-58	113	-68	50	-55	116	-67
	54	-68	50	-59	52	-64	52	-65	53	-70
4	52	-75	54	-67	50	-72	48	-60	53	-72
	107	-78	571	-63	48	-73	118	-67	51	-79
	114	-77	586	-61	107	-76	54	-68	105	-77
11	LAC	3	LAC	3	LAC	3	LAC	3	LAC	3
	CH	116	CH	107	CH	117	CH	113	CH	116
	CID	276	CID	312	CID	795	CID	267	CID	1230

11 lentelė. Mobiliuoju telefonu gauti duomenys Vilniaus mieste

Programos langas	1 TAŠKAS		2 TAŠKAS		3 TAŠKAS		4 TAŠKAS		5 TAŠKAS	
	CH	Rx	CH	Rx	CH	Rx	CH	Rx	CH	Rx
3	111	-32	68	-51	119	-74	119	-47	115	-38
	105	-59	114	-59	105	-77	116	-57	113	-46
	115	-67	612	-57	68	-72	113	-55	117	-71
4	109	-71	70	-63	115	-79	107	-64	108	-73
	113	-70	618	-63	113	-86	70	-57	111	-73
	117	-76	104	-59	109	-85	110	-61	104	-75
11	LAC	1	LAC	1	LAC	1	LAC	1	LAC	1
	CH	111	CH	68	CH	119	CH	119	CH	115
	CID	859	CID	1516	CID	126	CID	779	CID	909

Programos langas	6 TAŠKAS		7 TAŠKAS		8 TAŠKAS		9 TAŠKAS		10 TAŠKAS	
	CH	Rx	CH	Rx	CH	Rx	CH	Rx	CH	Rx
3	115	-42	107	-44	69	-43	113	-64	107	-40
	117	-48	109	-54	110	-75	111	-59	102	-41
	119	-62	105	-55	119	-57	105	-67	114	-59
4	105	-68	114	-63	112	-74	119	-76	109	-59
	110	-71	118	-64	106	-75	107	-83	112	-62
	119	-70	113	-65	114	-73	109	-70	105	-59
11	LAC	1	LAC	1	LAC	1	LAC	1	LAC	1
	CH	115	CH	107	CH	69	CH	113	CH	107
	CID	566	CID	1732	CID	904	CID	1300	CID	1098

MobileMapper GPS imtuvu išmatuotos taškų koordinatės Klaipėdoje ir Vilniuje.

12 lentelė. GPS imtuvu išmatuotos taškų koordinatės Klaipėdoje

Taško Nr.	X	Y	H
1	6178528	321752	7
2	6177829	321135	13
3	6174275	318143	5
4	6176340	321445	2
5	6175640	321263	3
6	6176225	322634	31
7	6177987	320519	1
8	6179142	319130	7
9	6179081	320311	2
10	6182185	322818	7

13 lentelė. GPS imtuvu išmatuotos taškų koordinatės Vilniuje

Taško Nr.	X	Y	H
1	6065601	582914	79
2	6061959	582545	110
3	6066357	583816	98
4	6064843	579025	128
5	6063069	583666	105
6	6063828	582785	111
7	6064579	582365	65
8	6064326	578841	172
9	6064310	579087	168
10	6066391	579608	161

Nustačius pagrindinės bazinės GSM stoties koordinatės iš Klaipėdos miesto ir Vilniaus miesto GSM stočių žiniaraščių, likusių kaimyninių bazinių stočių koordinatės parenkamos, kad būtų artimos pagrindinės bazinės stoties koordinatėms. Apdorojant matavimų rezultatus panaudotas šešių GSM bazinių stočių sankitų variantas (14 lentelė).

14 lentelė. GSM stočių duomenys Klaipėdos mieste

Taško Nr.	Matavimų duomenys							
	Nr	X	Y	H	a	eirp	Rx	h
1	1	6177975	321640	25	350	57.5	59	25
	2	6177975	321640	25	110	57.5	61	25
	3	6177217	322076	80	340	58.6	67	35
	4	6180334	321525	45	350	57.8	72	45
	5	6179077	320526	150	350	57.0	69	45
	6	6179077	320516	150	110	57.0	71	45
2	1	6177975	321640	25	230	57.5	61	25
	2	6177975	321640	25	350	57.5	64	25
	3	6178052	320589	30	110	56.5	69	32
	4	6174966	321935	30	230	57.9	74	26
	5	6177729	324496	40	100	56.4	75	52
	6	6177975	321640	25	350	57.5	70	25
3	1	6176989	320842	40	110	57.2	35	42
	2	6173742	320761	60	220	54.2	52	42
	3	6176989	320842	42	230	57.2	59	42
	4	6176989	320842	40	230	54.6	60	42
	5	6171125	324204	50	355	50.1	63	25
	6	6179372	319683	40	110	60.4	69	23
4	1	6175979	321297	24	350	56.5	57	30
	2	6174413	323273	40	110	54.6	63	42
	3	6178052	320589	30	350	53.4	61	32
	4	6175979	321297	24	230	56.5	65	30
	5	6176989	320842	40	230	57.2	67	42
	6	6179372	319683	40	110	60.4	67	23
5	1	6175979	321297	24	110	56.5	45	30
	2	6178052	320589	32	230	53.4	47	32
	3	6173742	320761	60	240	54.2	49	42
	4	6175979	321297	24	350	56.5	64	30
	5	6175119	321150	30	350	58.3	66	30
	6	6178052	320589	30	350	53.4	52	32
6	1	6176989	320842	40	350	57.2	59	42
	2	6178052	320589	30	110	53.4	60	30
	3	6176989	320842	40	230	57.2	68	42
	4	6176718	320964	50	110	45.0	75	30
	5	6178052	320589	30	230	56.5	78	32
	6	6177729	324496	40	340	58.4	77	52

14 lentelės tęsinys. GSM stočių duomenys Klaipėdos mieste

7	1	6178052	320589	30	230	56.5	48	32
	2	6178052	320589	30	230	53.9	58	32
	3	6178052	320589	30	110	56.5	59	32
	4	6178052	320589	40	350	56.5	67	32
	5	6178052	320589	30	110	53.4	63	32
	6	6178052	320589	30	230	53.4	61	32
8	1	6178704	319812	25	210	57.0	67	25
	2	6179077	320526	150	230	57.0	68	45
	3	6178704	319812	25	100	57.0	64	25
	4	6178052	320589	30	110	56.5	72	32
	5	6181050	316991	25	190	55.8	73	23
	6	6178704	319812	25	330	57.0	76	25
9	1	6179077	320526	150	230	57.0	45	45
	2	6179502	319216	36	100	55.6	55	38
	3	6179699	320447	35	110	57.6	65	36
	4	6179077	320526	150	350	57.0	60	45
	5	6179077	320526	150	110	57.0	67	45
	6	6176989	320842	40	230	57.2	68	42
10	1	6181368	319765	40	350	55.2	65	40
	2	6180334	321525	45	110	57.8	67	45
	3	6181368	319765	40	100	55.2	70	40
	4	6174269	322253	30	350	59.7	72	36
	5	6180334	321525	45	350	57.8	79	45
	6	6183541	323938	30	210	59.7	77	23

15 lentelė. GSM stočių duomenys Vilniaus mieste

Taško Nr.	Matavimų duomenys							
	Nr	X	Y	H	a	eirp	Rx	h
1	1	6065797	582909	120	210	57.0	32	25
	2	6065165	582417	130	105	55.3	59	35
	3	6065797	582909	120	90	58.7	67	25
	4	6065184	582439	120	0	38.6	71	18
	5	6064582	582957	122	225	54.6	70	46
	6	6065189	582265	124	0	45.0	76	3
2	1	6061913	582521	100	345	53.8	51	37
	2	6061992	582230	102	105	55.4	59	38
	3	6061290	582834	108	105	53.9	57	35
	4	6061290	582834	108	225	53.9	63	35
	5	6062712	582272	104	345	53.3	64	10
	6	6061180	582100	129	225	55.1	59	30

15 lentelės tęsinys. GSM stočių duomenys Vilniaus mieste

3	1	6066254	583579	130	255	55.6	74	30
	2	6066254	583579	130	115	55.2	77	30
	3	6065541	583875	119	340	54.9	72	50
	4	6065797	582909	120	90	58.7	79	25
	5	6066254	583579	130	235	55.2	86	30
	6	6064269	583916	122	105	54.3	85	32
4	1	6064956	579303	169	225	56.7	47	30
	2	6064956	579303	169	95	56.7	57	30
	3	6064305	578594	172	105	55.2	55	45
	4	6064270	579697	170	225	55.4	64	25
	5	6064223	579124	168	300	43.9	64	17
	6	6064956	579303	169	345	56.7	57	30
5	1	6063029	583844	101	235	57.0	38	25
	2	6063029	583844	101	355	57.0	46	25
	3	6063528	583049	110	350	55.5	71	38
	4	6062766	583206	108	345	57.4	73	30
	5	6063029	583844	101	115	57.0	73	25
	6	6063528	583049	110	215	55.5	75	38
6	1	6063768	582475	107	110	57.4	42	35
	2	6063658	582475	107	350	58.3	62	35
	3	6063528	583049	110	215	55.5	65	38
	4	6064139	582144	117	225	55.7	68	30
	5	6063768	582475	107	230	58.4	71	35
	6	6063768	582475	107	350	58.4	70	35
7	1	6064139	582144	117	105	55.7	44	30
	2	6064139	582144	117	345	55.7	54	30
	3	6064139	582144	117	225	55.7	55	30
	4	6064582	582957	122	345	54.6	64	46
	5	6064582	582957	122	225	54.6	64	46
	6	6065165	582417	130	345	55.3	65	35
8	1	6064305	578594	172	105	55.2	36	45
	2	6064305	578594	172	225	55.2	59	45
	3	6064270	579697	170	225	55.4	61	25
	4	6064956	579303	169	225	56.7	63	30
	5	6063455	578765	161	345	55.0	67	79
	6	6064223	579124	168	300	43.9	72	17
9	1	6064223	579124	168	300	43.9	59	17
	2	6064956	579303	169	345	56.7	54	30
	3	6064270	579697	170	85	55.4	67	25
	4	6064956	579303	169	225	56.7	76	30
	5	6064270	579697	170	225	55.4	83	25
	6	6064956	579303	169	95	56.7	70	30

15 lentelės tęsinys. GSM stočių duomenys Vilniaus mieste

10	1	6066497	579663	172	330	57.2	59	30
	2	6066497	579663	172	90	55.2	37	30
	3	6066010	579554	166	345	55.8	61	40
	4	6066010	579554	166	225	55.8	58	40
	5	6066010	579554	166	105	55.8	62	40
	6	6066497	579663	172	172	57.2	62	30

4. APSKAIČIUOTŲ ERDVINIŲ KOORDINAČIŲ REZULTATAI IR KOORDINAČIŲ NUOKRYPIŲ NUO TIKRŲJŲ REIKŠMIŲ ANALIZĖ

Atstumui tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuoti panaudoti empiriniai Okumura-Hata ir COST 231 modeliai. Kiekvienas modelis išreiškia perduodamo signalo spinduliuojamos galios sumažėjimą tarp siuntėjo (GSM stoties) ir gavėjo (mobiliesios stoties). Parametrai, kurie naudojami kiekviename modelyje, spinduliuojamos galios sumažėjimui apskaičiuoti :

L: spinduliuojamos galios sumažėjimas (dB) (Tx-Rx)

d: atstumas tarp GSM stoties ir mobilaus imtuvo (km)

f: sklaidimo dažnis

h_B : bazinės GSM stoties aukštis nuo Žemės paviršiaus

h_M : mobilaus imtuvo aukštis nuo Žemės paviršiaus

Mobilaus imtuvo priimta galia (Rx) ir signalo dažnis išmatuojami naudojant programą „NetMonitor“. Transliuojamo signalo galia (Tx) ir GSM stoties aukštis gaunami iš pagrindinės stoties duomenų bazės „Sitefinder“. Apskaičiavus spinduliuojamos galios sumažėjimą (Tx-Rx), gali būti nustatomas atstumas tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo. Skaičiuojant spinduliuojamos galios sumažėjimą, reikalingi papildomi parametrai susiję su aplinka. Papildomų parametru reikšmės gali būti nustatomos atsižvelgiant į bandomą vietovę arba naudojamos modeliuose apskaičiuotos reikšmės [13].

Hata – Okumura modelis

Nustatomas koeficientas $a(h_M)$, kuris priklauso nuo mobiliojo imtuvo aukščio. Hata – Okumura suskirstė miesto teritorijas į didelius ir mažus/vidutinius miestus.

Miesto teritorijose spinduliuojamos galios sumažėjimas išreiškiamas:

$$L = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_B) - a(h_M) + (44.9 - 6.55 \log(h_B)) \cdot \log(d) \quad (4.1)$$

čia $a(h_M)$ yra duota:

$$a(h_M) = 3.2(\log(11.75 h_M))^2 - 4.97 \quad \text{skirta dideliems miestams} \quad (4.2)$$

$$a(h_M) = 1.1 \log(f - 0.7) h_M - 1.56 \log(f) - 0.8 \quad \text{skirta mažiems/vidutiniams miestams} \quad (4.3)$$

Priemiesčio teritorijoms spinduliuojamos galios sumažėjimas išreiškiamas:

$$L = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_B) - a(h_M) + (44.9 - 6.55 \log(h_B)) \cdot \log(d) - 2(\log(f/28))^2 \quad (4.4)$$

čia $a(h_M)$ skaičiuojamas kaip mažiems/vidutiniams miestams [8].

COST 231 modelis

Spinduliuojamos galios sumažėjimas dB skaičiuojamas:

$$L = 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_B) - a(h_M) + (44.9 - 6.55 \log(h_B)) \log(d) + C \quad (4.5)$$

Čia: $a(h_M)$ yra skaičiuojamas kaip Hata-Okumura modelyje, C – kitas pataisos koeficientas

Miesto aplinkai:

$$a(h_M) = 3.2 [\log(11.75 h_M)^2] - 4.97 \quad \text{ir } C = 3 \text{ dB} \quad (4.6)$$

Priemiesčio aplinkai:

$$a(h_M) = 1.1 \log(f - 0.7) h_M - [1.56 \log(f) - 0.8] \quad \text{ir } C = 0 \text{ dB} \quad (4.7)$$

Hata-Okumara ir COST231 modeliai yra riboti pagrindinės bazinės GSM stoties antenos aukščio (antenos aukštis turi būti didesnis negu 30 metrų), tačiau abu modeliai gali būti naudojami ir esant mažesniai bazinės stoties antenos aukščiui, jeigu aplinkui anteną esantys pastatai yra žemesni [12].

4.4.1. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste ir Vilniaus mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris p=200

Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai stipriausiajam GSM signalui priskirtas svoris p=200, o atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritimą (16 lentelė). Apskaičiuoti erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tvirtų koordinatų, išmatuotų GPS imtuvu (17 lentelė).

16 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas Okumura-Hata algoritmas, p=200

Taško Nr.	xyhms.rez, m					
	xm	ym	hm	sx	sy	sh
1	6178593.608	321686.481	2335.650	291.695	484.521	2159.715
2	6177770.649	321075.497	45.907	147.608	187.963	100.099
3	6174158.997	318249.816	284.047	563.451	731.157	4505.488
4	6176447.061	321567.215	994.373	80.243	142.565	157.900
5	6175757.497	321337.039	641.432	157.710	105.938	1241.201
6	6176275.497	322483.727	723.693	76.420	38.779	20.865
7	6178035.935	320569.854	5.635	0.000	0.000	0.000
8	6179047.135	319027.267	677.343	41.011	33.859	17.163
9	6179060.515	320494.418	151.104	0.084	0.038	0.511
10	6182008.479	322770.039	1038.987	283.463	247.729	117.081

17 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas Okumura Hata algoritmas, $p=200$

Taško Nr.	Skirtumai, m		
	δx	δy	δh
1	65	66	2328
2	59	60	32
3	117	106	279
4	107	122	992
5	193	74	638
6	50	151	692
7	48	50	4
8	95	103	670
9	21	183	149
10	177	48	1031

Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=200$, o atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį COST 231 algoritmą (18 lentelė). Apskaičiuoti erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tvirtų koordinatų, išmatuotų GPS imtuvu (19 lentelė).

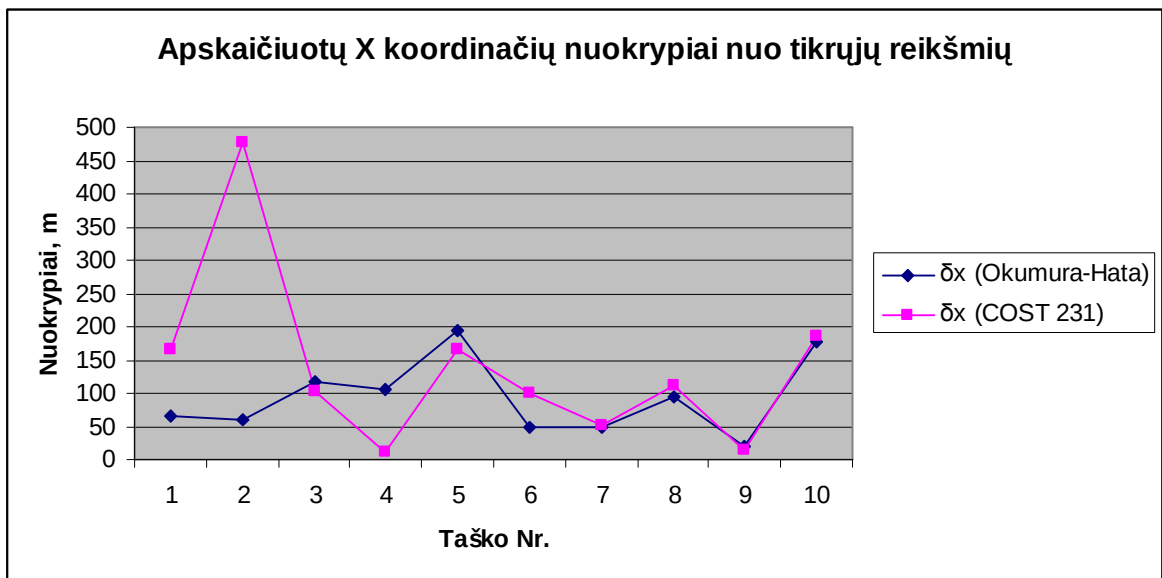
18 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=200$

Taško Nr.	xyhms.rez, m					
	xm	ym	hm	sx	sy	sh
1	6178361.661	321286.255	2454.272	194.466	107.812	1183.035
2	6177353.125	321318.055	1029.968	105.631	144.577	196.957
3	6174172.777	318178.362	547.882	600.908	1112.937	3808.897
4	6176352.338	321308.665	87.845	37.500	45.604	301.075
5	6175729.169	321322.785	580.105	193.115	90.022	1508.714
6	6176325.755	322546.393	781.904	78.592	39.976	22.551
7	6178038.364	320572.749	13.218	0.000	0.000	0.000
8	6179031.855	319024.562	674.018	48.906	40.346	19.816
9	6179066.085	320492.349	167.151	2.802	4.320	13.889
10	6181999.112	322880.061	1015.917	280.436	246.053	111.085

19 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=200$

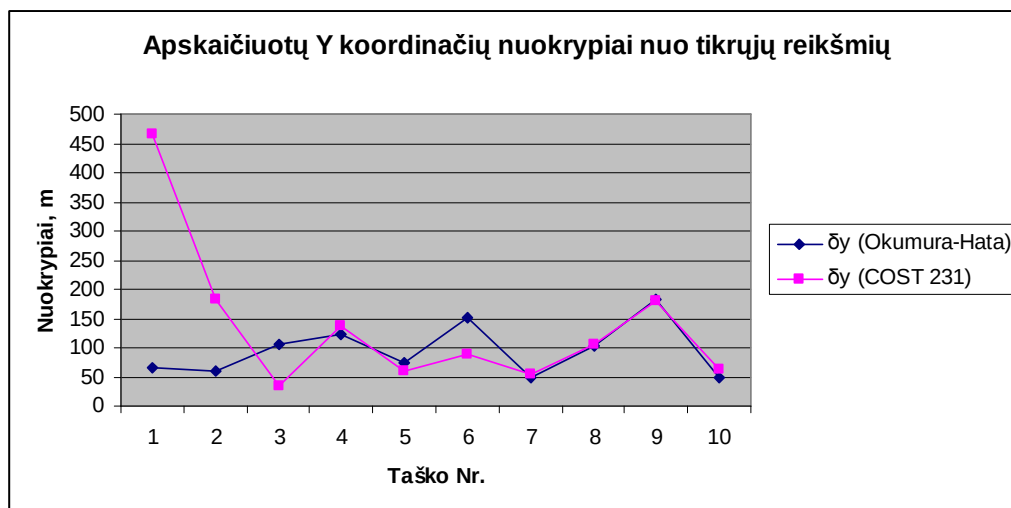
Taško Nr.	Skirtumai, m		
	δx	δy	δh
1	167	466	2447
2	476	183	1016
3	103	35	542
4	12	137	85
5	165	59	577
6	100	88	750
7	51	53	12
8	111	106	667
9	15	181	165
10	186	62	1008

Apskaičiuotų X koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (21 pav.). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritmą Klaipėdos mieste X koordinatų nuokrypiai svyruoja nuo 21 iki 177 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas X koordinatų nuokrypiai svyruoja nuo 12 iki 476 m. Tiksliausias X koordinatė apskaičiuota 9 taške t.y. koordinatės nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 21 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 15 metrų, kai taikytas COST 231 algoritmas. Didžiausias X koordinatų nuokrypių skirtumas gautas 2 taške t.y. 59 m, taikant Okumura-Hata algoritmą, ir 476 m, taikant COST 231 algoritimą.



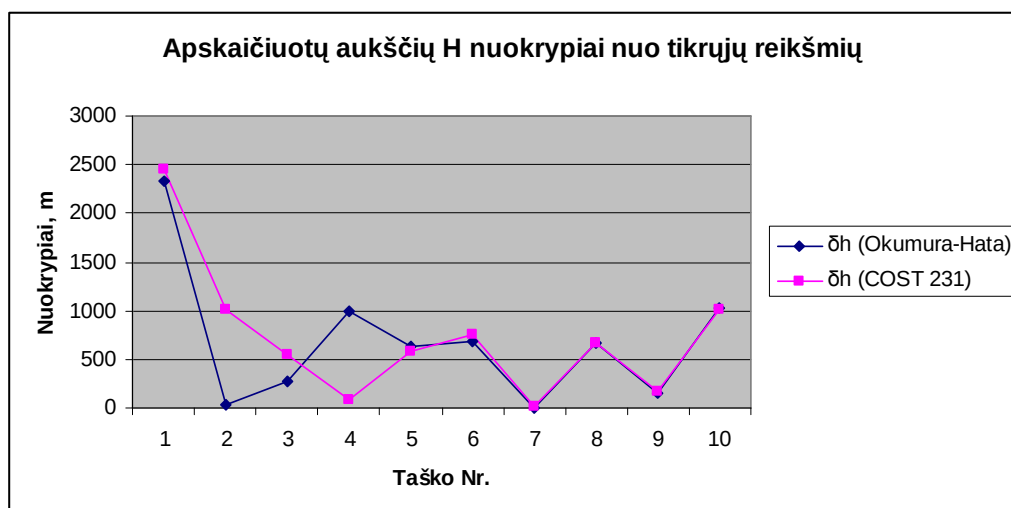
21 pav. Apskaičiuotų X koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=200$

Apskaičiuotų Y koordinatinių nuokrypių nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (22 pav). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritimą Klaipėdos mieste Y koordinatinių nuokrypių svyruoja nuo 48 iki 151 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas Y koordinatinių nuokrypių svyruoja nuo 35 iki 466 m. Didžiausias Y koordinatinių nuokrypių skirtumas gautas 1 taške t.y. 66 m, taikant Okumura-Hata algoritimą, ir 466 m, taikant COST 231 algoritimą. Mažiausias Y koordinatinių nuokrypių skirtumas gautas 7 taške t.y. 50 m, taikant Okumura-Hata algoritimą, ir 53 m, taikant COST 231 algoritimą. Tiksliausiai Y koordinatė apskaičiuota 5, 7 ir 10 taškuose. Taške Nr.5 Y koordinatės nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 106 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 35 m, kai taikytas COST 231 algoritmas. Taške Nr.7 Y koordinatės nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 50 m (empirinis Okumura-Hata algoritmas) ir 53 m (empirinis COST 231 algoritmas). Taške Nr. 10 Y koordinatės nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 48 m (empirinis Okumura-Hata algoritmas) ir 62 m (COST 231 algoritmas).



22 pav. Apskaičiuotų Y koordinatinių nuokrypių nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=200$

Apskaičiuotų aukščių H nuokrypių nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (23 pav.). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritimą Klaipėdos mieste aukščio H nuokrypių svyruoja nuo 4 iki 2328 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas aukščio H nuokrypių svyruoja nuo 12 iki 2447 m. Didžiausias aukščio H nuokrypių skirtumas gautas 2 taške t.y. 32 m, taikant Okumura-Hata algoritimą, ir 1016 m, taikant COST 231 algoritimą. Tiksliausiai H apskaičiuotas 7 taške. Taške Nr.7 aukščio nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 4 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 12 m, kai taikytas COST 231 algoritmas.



23 pav. Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=200$

Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai stipriausiam signalui priskirtas svoris $p=200$, o atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritmą (20 lentelė). Apskaičiuoti erdvinės koordinatės nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių, gautų GPS prietaisu (21 lentelė).

20 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai taikytas Okumura-Hata algoritmas, $p=200$

Taško Nr.	xyhms.rez, m					
	xm	ym	hm	sx	sy	sh
1	6065780.417	582808.152	47.313	2.604	3.666	3.667
2	6061925.052	582415.319	415.731	24.020	16.013	68.992
3	6065719.925	582999.975	561.681	48.024	102.705	85.660
4	6064906.716	579474.656	137.972	15.588	23.426	5.999
5	6062734.898	583745.677	185.628	21.062	12.307	9.159
6	6063722.183	582481.379	190.154	2.453	4.379	10.562
7	6064386.849	582506.814	529.711	4.398	4.459	3.244
8	6064381.738	578806.429	191.855	11.440	6.871	12.939
9	6064578.680	579305.306	761.965	11.725	22.161	67.214
10	6066110.485	579381.022	166.853	11.193	6.698	111.188

21 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai taikytas Okumura Hata algoritmas, $p=200$

Taško Nr.	Skirtumai, m		
	δx	δy	δh
1	179	106	32
2	43	130	305
3	362	817	463
4	63	449	9
5	335	79	80
6	106	303	79
7	193	141	464
8	55	35	19
9	268	219	593
10	281	227	5

Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=200$, o atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį COST 231 algoritmą (22 lentelė). Apskaičiuoti erdvinių koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių, gautų GPS prietaisu (23 lentelė).

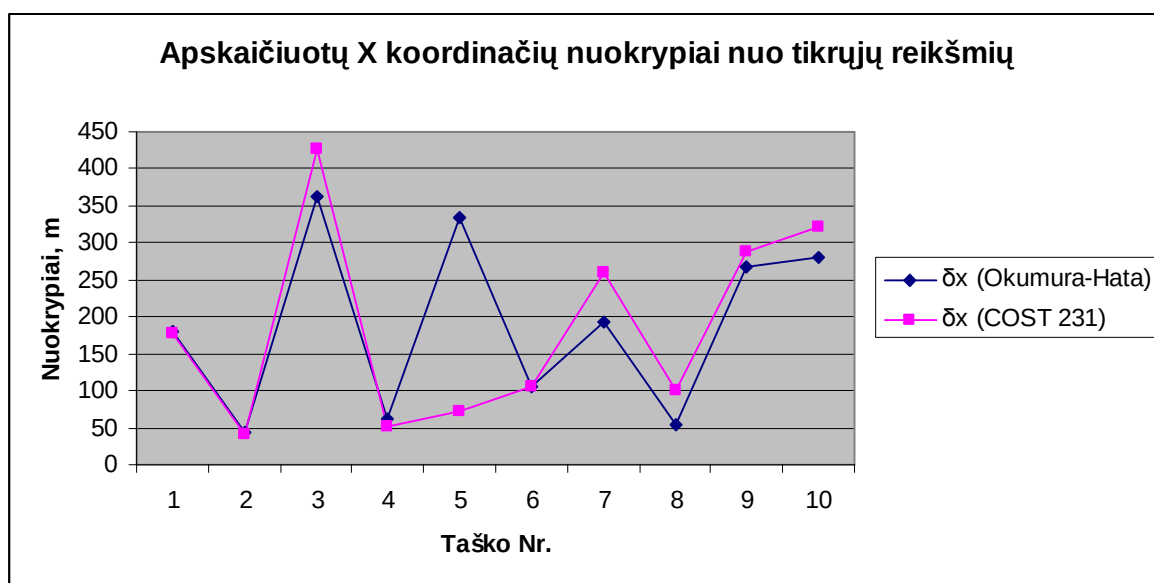
22 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=200$

Taško Nr.	xyhms.rez, m					
	xm	ym	hm	sx	sy	sh
1	6065779.494	582812.697	41.374	2.694	3.793	4.090
2	6061917.715	582412.582	336.668	27.685	21.265	61.909
3	6065930.629	583103.005	2503.191	94.005	278.830	1421.578
4	6064894.507	579524.456	155.713	14.806	22.316	5.527
5	6063142.300	583633.444	202.653	4.378	2.487	2.248
6	6063723.958	582473.628	104.916	15.110	15.315	8.131
7	6064319.225	582545.986	334.164	4.543	4.884	2.650
8	6064426.266	578679.894	133.350	41.745	27.846	15.234
9	6064597.583	579020.628	272.127	3.161	4.713	1.176
10	6066070.351	579235.467	160.286	8.990	7.926	83.366

23 lentelė. Apskaičiuotų erdviųjų koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=200$

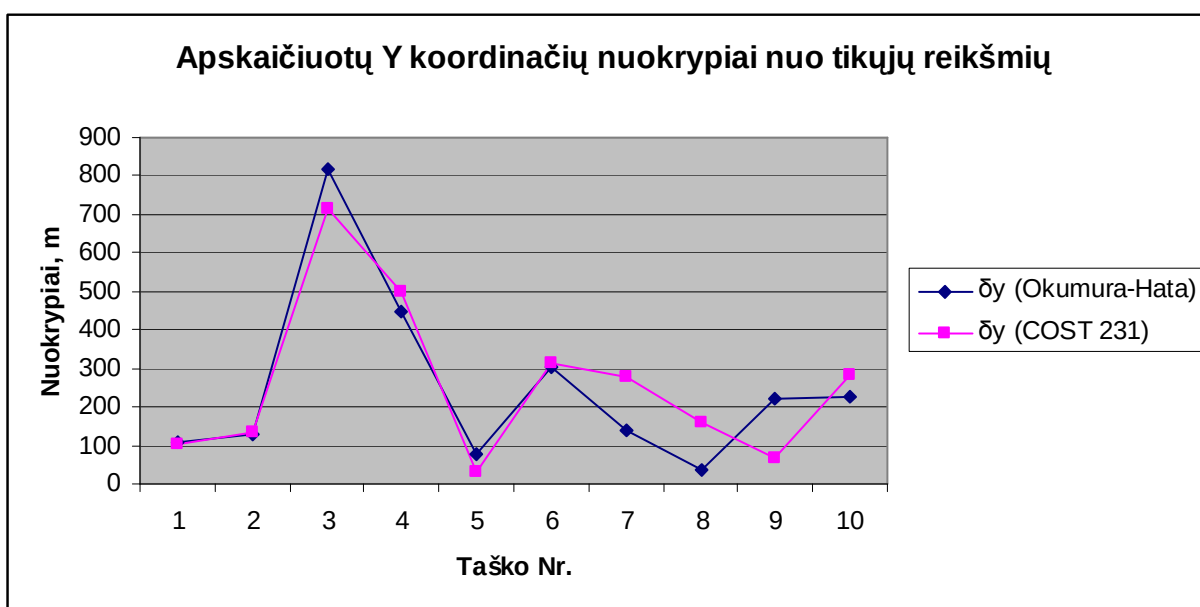
Taško Nr.	Skirtumai, m		
	δx	δy	δh
1	178	102	38
2	42	133	226
3	427	713	2405
4	51	499	27
5	73	33	97
6	105	312	7
7	260	280	269
8	100	162	39
9	287	67	104
10	321	283	1

Apskaičiuotų X koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (24 pav.). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritmą Vilniaus mieste X koordinačių nuokrypiai svyruoja nuo 43 iki 362 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas X koordinačių nuokrypiai svyruoja nuo 42 iki 427 m. Didžiausias X koordinačių nuokrypių skirtumas gautas 5 taške t.y. 355 m, taikant Okumura-Hata algoritmą, ir 73 m, taikant COST 231 algoritmą. Tiksliausiai X koordinatės apskaičiuotos 2 ir 4 taškuose. Taške Nr.2 X koordinatės nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 43 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 42 m, kai taikytas COST 231 algoritmas. Taške Nr.4 X koordinatės nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 63 m (Okumura-Hata algoritmas) ir 51 m (COST 231 algoritmas).



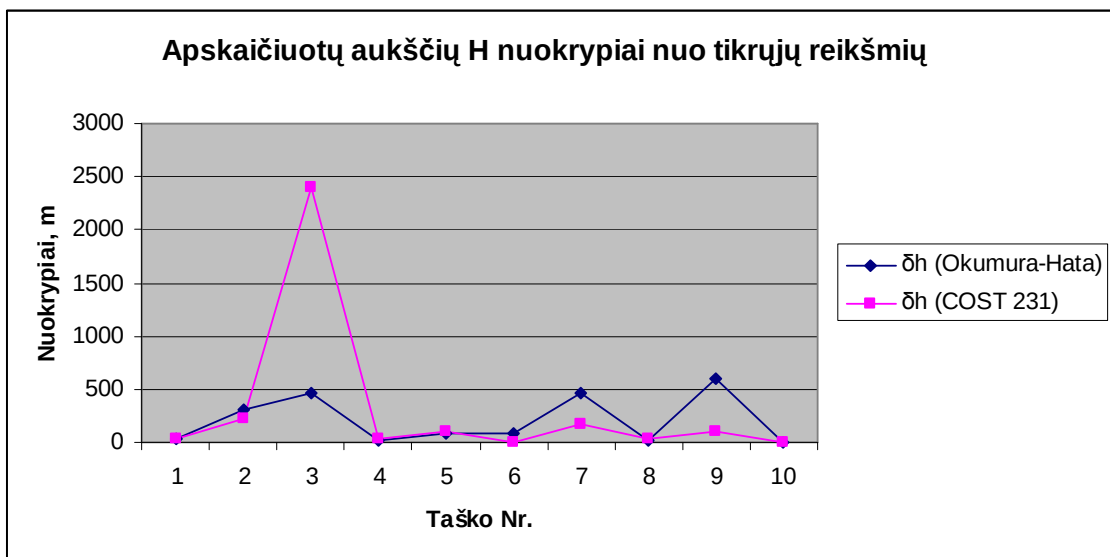
24 pav. Apskaičiuotų X koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=200$

Apskaičiuotų Y koordinatinių nuokrypių nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (25 pav.). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritimą Vilniaus mieste Y koordinatinių nuokrypių svyruoja nuo 35 iki 499 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas Y koordinatinių nuokrypių svyruoja nuo 33 iki 449 m. Didžiausias Y koordinatinių nuokrypių skirtumas gautas 9 taške t.y. 219 m, taikant Okumura-Hata algoritimą, ir 67 m, taikant COST 231 algoritimą. Tiksliausiai Y koordinatė apskaičiuota 5 taške. Taške Nr.5 Y koordinatės nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 79 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 33 m, kai taikytas COST 231 algoritmas.



25 pav. Apskaičiuotų Y koordinatinių nuokrypių nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=200$

Apskaičiuotų aukščio H nuokrypių nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (26 pav.). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritimą Klaipėdos mieste aukščio H nuokrypių svyruoja nuo 5 iki 593 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas aukščio H nuokrypių svyruoja nuo 1 iki 2405 m. Didžiausias aukščio H nuokrypių skirtumas gautas 3 taške t.y. 363 m, taikant Okumura-Hata algoritimą, ir 2405 m, taikant COST 231 algoritimą. Tiksliausiai aukštis H apskaičiuotas 1, 4 ir 10 taškuose. Taške Nr.1 aukščio nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 32 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 38 m, kai taikytas COST 231 algoritmas. Taške Nr.4 aukščio nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 9 m (Okumura-Hata algoritmas) ir 27 m (COST 231 algoritmas). Taške Nr.10 aukščio nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 5 m (Okumura-Hata algoritmas) ir 1 m (COST 231 algoritmas).



26 pav. Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=200$

4.4.2. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste ir Vilniaus mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=150$

Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=150$, o atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritimą (24 lentelė). Apskaičiuoti erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių, gautų GPS prietaisu (25 lentelė).

24 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas Okumura-Hata algoritmas, $p=150$

Taško Nr.	xyhms.rez, m					
	xm	ym	hm	sx	sy	sh
1	6178603.840	321693.283	2213.887	310.114	514.009	2147.559
2	6177802.932	321074.689	8.076	159.429	201.417	103.536
3	6174158.949	318208.525	365.343	563.445	751.649	4474.613
4	6176423.518	321530.140	1285.990	80.110	150.459	271.405
5	6175752.091	321331.269	627.982	165.889	103.278	1303.800
6	6176265.419	322482.230	704.198	77.072	39.091	20.714
7	6178035.683	320569.554	5.547	0.000	0.000	0.000
8	6179048.483	319027.936	679.869	40.674	33.577	33.577
9	6179058.919	320493.166	152.013	0.256	0.134	1.409
10	6182014.130	322774.095	1016.461	297.587	261.511	120.862

25 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas Okumura Hata algoritmas, $p=150$

Taško Nr.	Skirtumai, m		
	δx	δy	δh
1	75	68	6608
2	26	61	5
3	117	65	360
4	83	85	1283
5	112	68	624
6	40	152	673
7	48	50	4
8	94	104	672
9	23	182	150
10	171	44	1009

Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=150$, o atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį COST 231 algoritmą (26 lentelė). Apskaičiuoti erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių, gautų GPS prietaisu (27 lentelė).

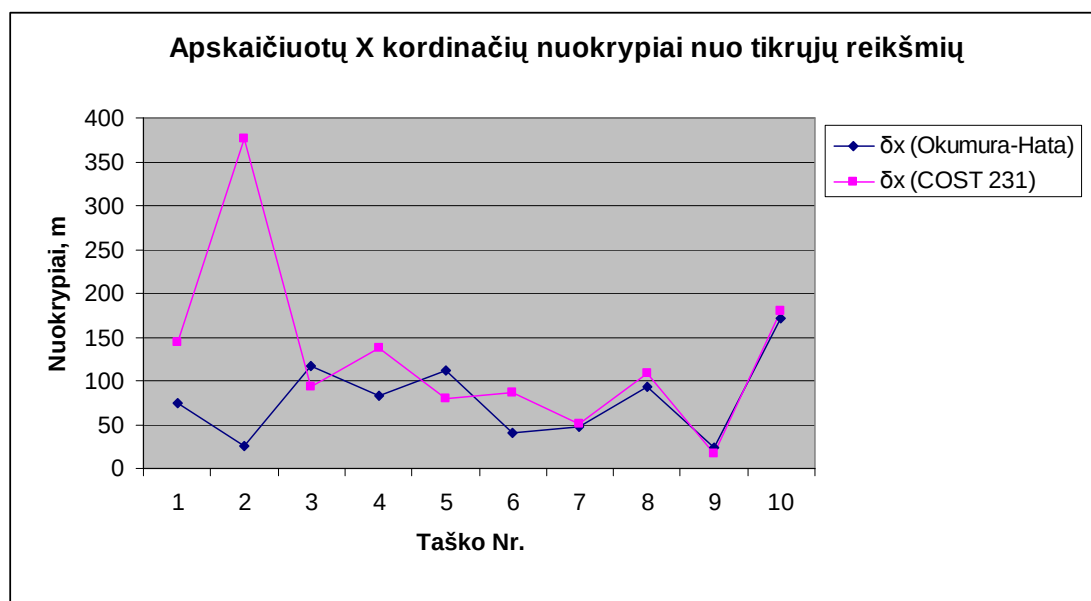
26 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=150$

Taško Nr.	xyhms.rez, m					
	xm	ym	hm	sx	sy	sh
1	6178384.651	321325.001	2508.069	189.021	88.872	1236.327
2	6177453.015	321413.899	2822.861	99.413	152.815	639.419
3	6174182.069	318179.440	723.115	607.332	1246.569	3314.482
4	6176202.248	321097.246	131.203	8.788	15.950	2.556
5	6175724.416	321317.145	554.123	200.603	84.665	1563.712
6	6176312.854	322545.154	761.981	79.276	40.304	22.266
7	6178038.159	320572.505	13.189	0.000	0.000	0.000
8	6179033.228	319025.255	676.596	48.496	40.002	19.684
9	6179064.010	320490.157	165.999	2.653	4.225	11.970
10	6182005.652	322885.839	990.243	295.935	261.191	115.025

27 lentelė. Apskaičiuotų erdviųjų koordinatėjų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=150$

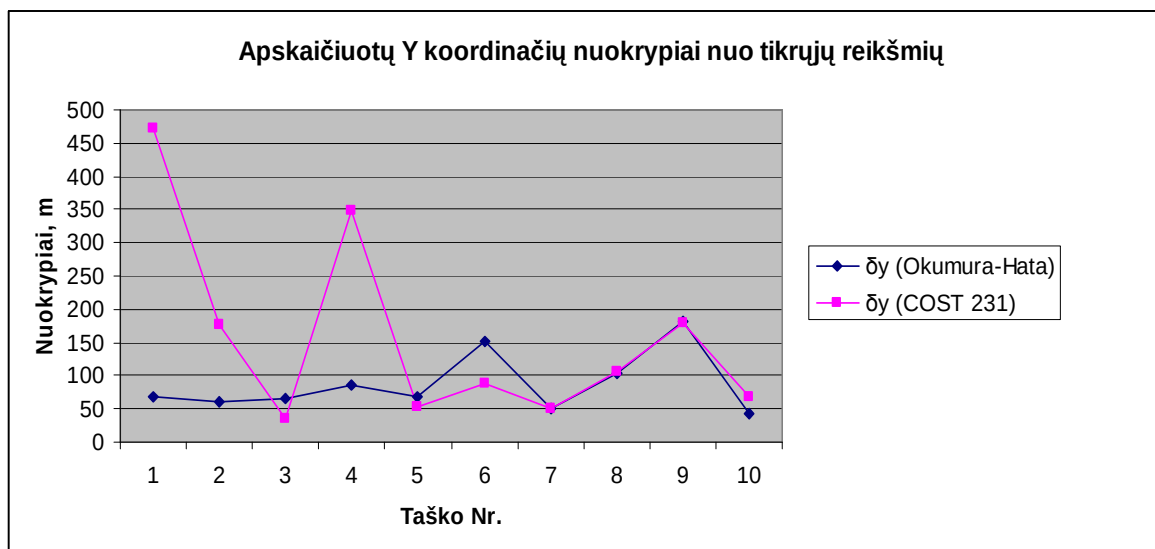
Taško Nr.	Skirtumai, m		
	δx	δy	δh
1	144	472	2501
2	376	278	2809
3	93	36	718
4	138	348	129
5	80	54	551
6	87	89	730
7	51	51	12
8	109	105	669
9	17	179	163
10	180	67	983

Apskaičiuotų X koordinatėjų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (27 pav.). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritmą Klaipėdos mieste X koordinatėjų nuokrypiai svyruoja nuo 23 iki 171 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas X koordinatėjų nuokrypiai svyruoja nuo 17 iki 376 m. Tiksliausiai X koordinatė apskaičiuota 9 taške t.y. koordinatės nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 23 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 17 metrų, kai taikytas COST 231 algoritmas. Didžiausias X koordinatėjų nuokrypių nuo tikrosios reikšmės skirtumas gautas 2 taške t.y. 26 m, taikant Okumura-Hata algoritmą, ir 376 m, taikant COST 231 algoritmą.



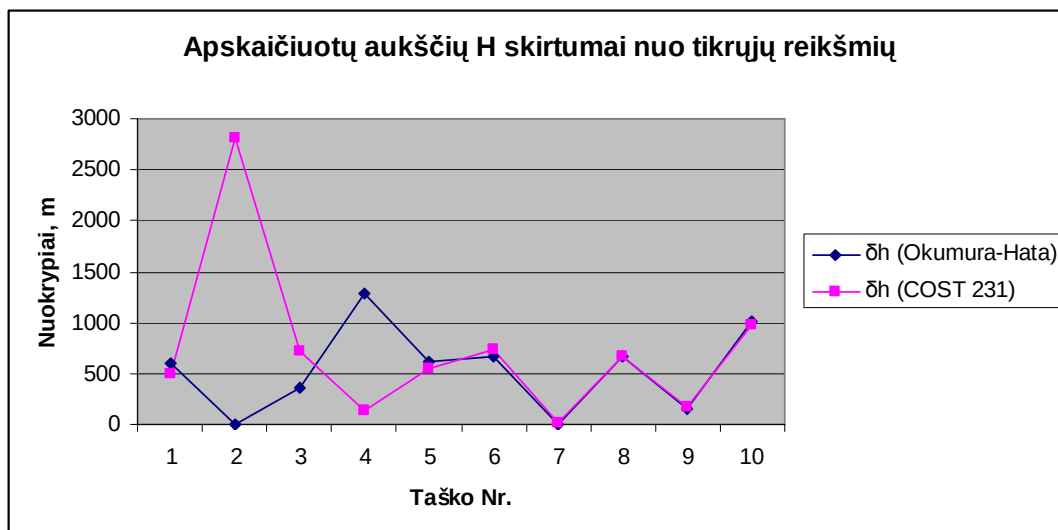
27 pav. Apskaičiuotų X koordinatėjų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=150$

Apskaičiuotų Y koordinatės nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (28 pav.). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritimą Klaipėdos mieste Y koordinatės nuokrypiai svyruoja nuo 44 iki 182 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas Y koordinatės nuokrypiai svyruoja nuo 36 iki 472 m. Didžiausias Y koordinatės nuokrypių skirtumas gautas 1 taške t.y. 68 m, taikant Okumura-Hata algoritimą, ir 472 m, taikant COST 231 algortimą. Mažiausias Y koordinatės nuokrypių skirtumas gautas 7 taške. Taške Nr.7 Y koordinatės nuokrypis apskaičiuotas 50 m, taikant Okumura-Hata algoritimą, ir 51 m, taikant COST 231 algortimą.



28 pav. Apskaičiuotų Y koordinatės nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=150$

Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (29 pav.). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritimą Klaipėdos mieste aukščio H nuokrypiai svyruoja nuo 4 iki 1283 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas aukščio H nuokrypiai svyruoja nuo 12 iki 2809 m. Didžiausias aukščių H nuokrypių skirtumas gautas 2 taške t.y. 5 m, taikant Okumura-Hata algoritimą, ir 2809 m, taikant COST 231 algortimą. Mažiausias aukščių H nuokrypių skirtumas gautas 7 taške t.y. 4 m, taikant Okumura-Hata algoritimą, ir 12 m, taikant COST 231 algortimą.



29 pav. Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=150$

Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=150$, o atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritimą (28 lentelė). Apskaičiuoti erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių, gautų GPS prietaisu (29 lentelė).

28 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai taikytas Okumura-Hata algoritmas, $p=150$

Taško Nr.	xyhms.rez, m					
	xm	ym	hm	sx	sy	sh
1	6065776.534	582807.011	44.567	2.675	3.760	3.983
2	6061923.062	582414.280	406.021	24.138	16.461	67.105
3	6065720.159	583001.140	565.115	48.263	102.974	86.451
4	6064906.812	579471.710	135.190	16.341	24.481	6.241
5	6062702.144	583751.145	195.854	23.976	14.044	10.880
6	6063721.877	582481.174	188.789	2.286	4.102	9.973
7	6064386.904	582507.092	528.650	4.403	4.465	3.249
8	6064379.955	578805.575	175.581	11.015	6.594	12.021
9	6064578.394	579313.905	734.838	12.477	23.365	77.448
10	6066110.379	579380.223	166.813	11.171	6.762	110.933

29 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai taikytas Okumura Hata algoritmas, $p=150$

Taško Nr.	Skirtumai, m		
	δx	δy	δh
1	175	107	35
2	36	131	296
3	363	815	467
4	63	446	7
5	367	85	90
6	107	305	77
7	193	142	463
8	53	36	3
9	268	226	566
10	281	228	5

Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=150$, o atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį COST 231 algoritimą (30 lentelė). Apskaičiuoti erdvinių koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių, gautų GPS prietaisu (31 lentelė).

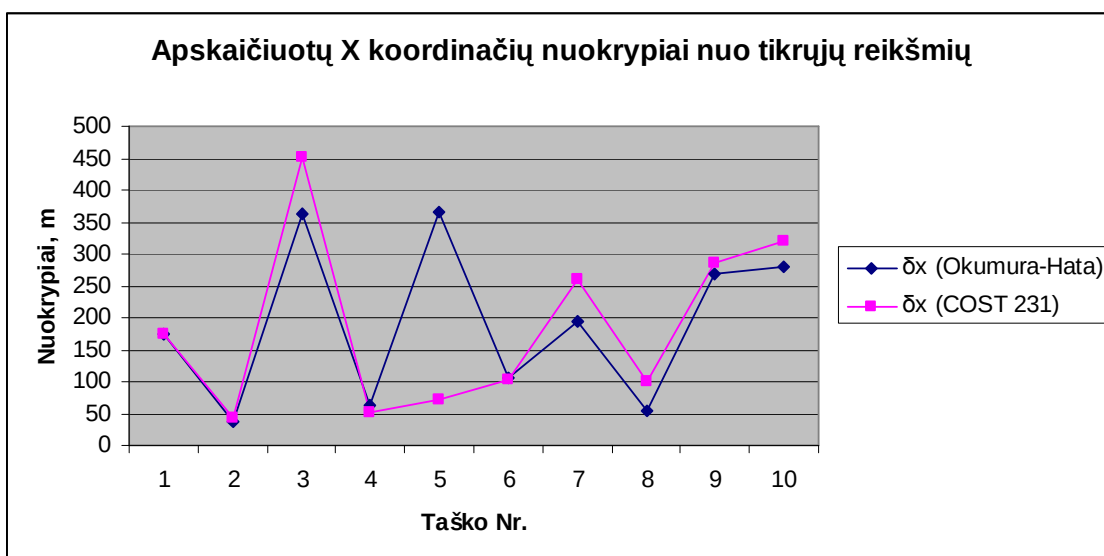
30 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=150$

Taško Nr.	xyhms.rez, m					
	xm	ym	hm	sx	sy	sh
1	6065775.397	582811.897	37.164	2.817	3.959	4.590
2	6061916.141	582411.144	335.957	27.511	21.536	60.675
3	6065905.340	583072.559	2517.702	87.298	249.572	1153.384
4	6064895.518	579524.043	152.577	15.655	23.519	5.778
5	6063141.664	583632.282	202.368	4.436	2.526	2.272
6	6063724.156	582482.488	53.285	2.001	4.162	5.712
7	6064319.314	582546.319	333.450	4.561	4.904	2.660
8	6064426.290	578669.721	144.356	44.543	29.980	15.703
9	6064597.143	579023.590	274.658	3.115	4.652	1.175
10	6066070.282	579234.789	160.251	8.979	7.972	83.238

31 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=150$

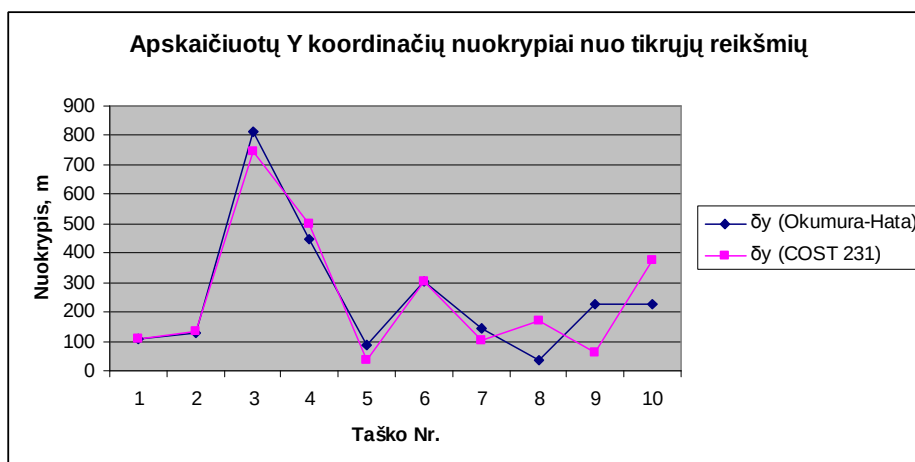
Taško Nr.	Skirtumai, m		
	δx	δy	δh
1	175	107	35
2	43	134	225
3	452	744	2419
4	52	499	24
5	72	34	97
6	104	303	58
7	260	101	268
8	100	172	28
9	287	64	106
10	321	374	1

Apskaičiuotų X koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (30 pav.). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritimą Vilniaus mieste X koordinačių nuokrypiai svyruoja nuo 36 iki 367 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas X koordinačių nuokrypiai svyruoja nuo 45 iki 452 m. Didžiausias X koordinatės nuokrypių skirtumas gautas 5 taške t.y. 367 m, taikant Okumura-Hata algoritimą, ir 72 m, taikant COST 231 algortimą. Mažiausias X koordinatės nuokrypių skirtumas gautas 2 taške t.y. 36 m, taikant Okumura-Hata algoritimą, ir 43 m, taikant COST 231 algortimą.



30 pav. Apskaičiuotų X koordinatžių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=150$

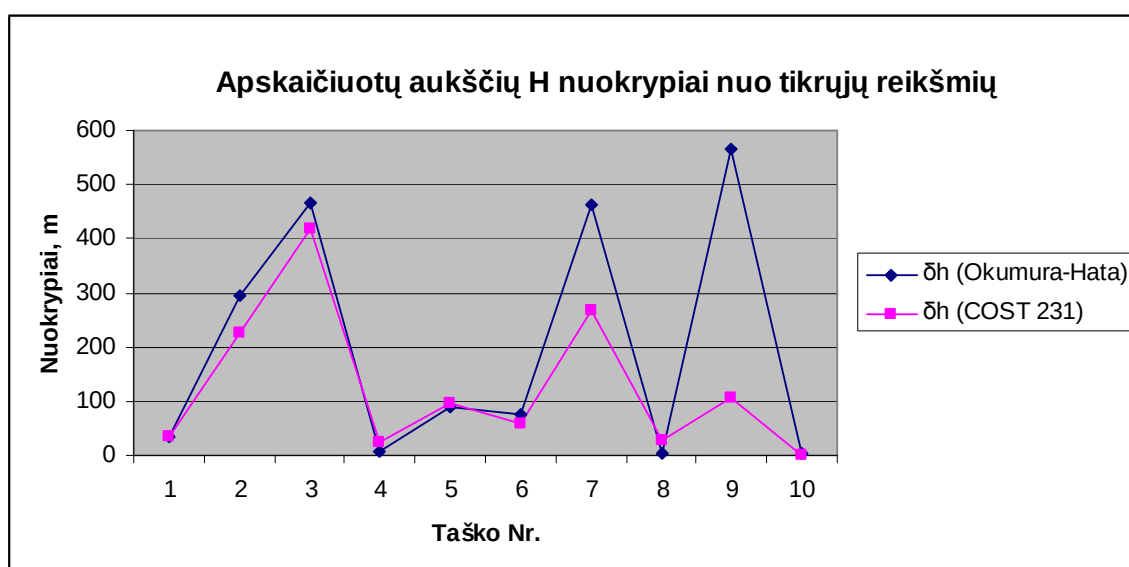
Apskaičiuotų Y koordinatžių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (31 pav.). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritmą Vilniaus mieste Y koordinatžių nuokrypiai svyruoja nuo 36 iki 815 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas Y koordinatžių nuokrypiai svyruoja nuo 34 iki 774 m. Didžiausias Y koordinatės nuokrypių skirtumas gautas 8 taške t.y. 36 m, taikant Okumura-Hata algoritmą, ir 172 m, taikant COST 231 algoritimą. Mažiausias Y koordinatės nuokrypių skirtumas gautas 1 taške t.y. 107 m, taikant Okumura-Hata algoritmą, ir 107 m, taikant COST 231 algoritimą. Tiksliausiai apskaičiuotas 5 taškas. Taške Nr.5 Y koordinatės nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 85 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 34 m, kai taikytas COST 231 algoritmas.



31 pav. Apskaičiuotų Y koordinatžių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=150$

Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (32 pav.). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį

Okumura-Hata algoritmą Vilniaus mieste aukščių H nuokrypiai svyruoja nuo 3 iki 566 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas aukščių H nuokrypiai svyruoja nuo 1 iki 268 m. Didžiausias aukščio H nuokrypių skirtumas gautas 9 taške t.y. 566 m, taikant Okumura-Hata algoritmą, ir 106 m, taikant COST 231 algoritmą. Mažiausias aukščio H nuokrypių skirtumas gautas 10 taške t.y. 5 m, taikant Okumura-Hata algoritmą, ir 1 m, taikant COST 231 algoritmą. Tiksliausiai aukščiai H apskaičiuoti 4, 8 ir 10 taškuose. Taške Nr.4 aukščio nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 7 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 24 m, kai taikytas COST 231 algoritmas. Taške Nr.8 aukščio nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 3 m (Okumura-Hata algoritmas) ir 28 m (COST 231 algoritmas). Taške Nr.10 aukščio nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 5 m (Okumura-Hata algoritmas) ir 1 m (COST 231 algoritmas).



32 pav. Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=150$

4.4.3. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste ir Vilniaus mieste , kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=50$

Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=50$, o atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritimą (32 lentelė). Apskaičiuoti erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių, gautų GPS prietaisu (33 lentelė).

32 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas Okumura-Hata algoritmas, $p=50$

Taško Nr.	xyhms.rez, m					
	xm	ym	hm	sx	sy	sh
1	6178623.305	321654.225	1339.113	410.269	660.911	1869.957
2	6177787.569	321221.877	63.731	212.772	268.046	137.437
3	6174249.521	318389.117	1370.670	577.982	1422.953	1479.017
4	6176255.053	321212.649	838.086	51.696	107.333	352.418
5	6175717.662	321288.271	428.065	220.873	65.365	1707.653
6	6176206.593	322468.702	560.697	81.558	41.225	20.097
7	6178033.784	320567.291	4.985	0.000	0.000	0.000
8	6179058.023	319032.609	696.917	38.865	32.050	16.533
9	6179047.157	320488.702	131.595	0.083	0.142	0.322
10	6182076.023	322776.543	870.531	404.611	370.932	147.199

33 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas Okumura Hata algoritmas, $p=50$

Taško Nr.	Skirtumai, m		
	δx	δy	δh
1	95	98	1332
2	42	86	50
3	26	246	1365
4	85	233	836
5	77	25	425
6	19	166	529
7	46	48	2
8	84	98	689
9	34	177	129
10	109	42	863

Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=50$, o atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį COST 231 algoritimą (34 lentelė). Apskaičiuoti erdvinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių, gautų GPS prietaisu (35 lentelė).

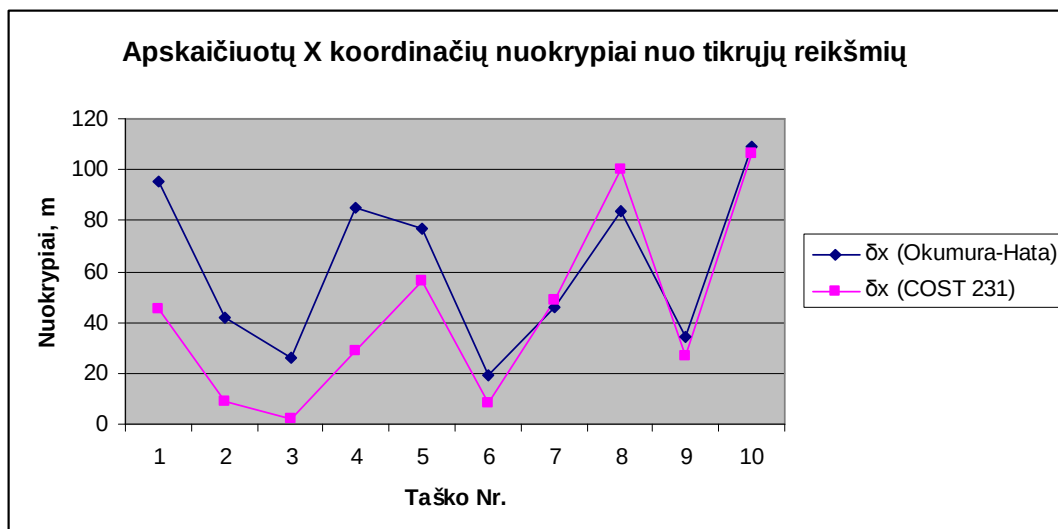
34 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=50$

Taško Nr.	xyhms.rez, m					
	xm	ym	hm	sx	sy	sh
1	6178573.705	321603.635	2403.932	178.209	115.320	1711.463
2	6177820.377	321081.340	51.626	149.749	186.008	92.715
3	6174273.361	318349.683	1188.251	612.744	1540.500	898.823
4	6176311.572	321351.328	1277.324	105.023	203.518	440.004
5	6175696.806	321282.056	287.544	247.920	45.373	1894.451
6	6176233.990	322532.538	612.741	84.164	42.659	20.704
7	6178036.625	320570.677	13.046	0.000	0.000	0.000
8	6179042.941	319030.117	694.166	46.165	38.040	18.974
9	6179054.089	320488.105	141.603	0.322	0.519	1.805
10	6182079.711	322894.308	824.939	414.121	382.619	142.410

35 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=50$

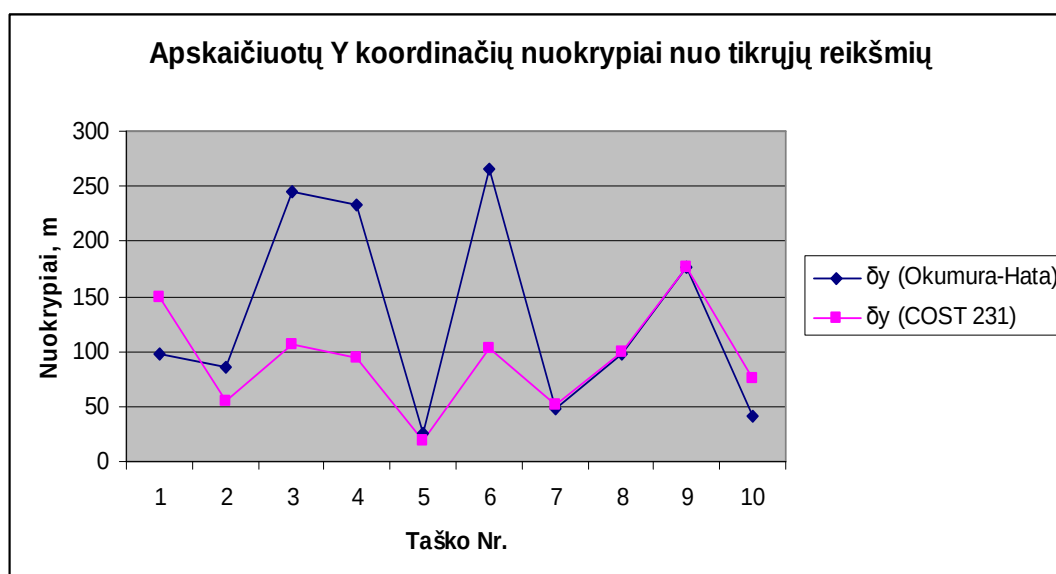
Taško Nr.	Skirtumai, m		
	δx	δy	δh
1	45	149	2396
2	9	54	38
3	2	206	1183
4	29	94	1275
5	56	19	284
6	8	102	581
7	49	51	12
8	100	100	687
9	27	177	139
10	106	76	818

Apskaičiuotų X koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (33 pav.). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritmą, Klaipėdos mieste X koordinačių nuokrypiai svyruoja nuo 34 iki 109 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas X koordinačių nuokrypiai svyruoja nuo 2 iki 106 m. Didžiausias X koordinačių nuokrypių skirtumas gautas 4 taške t.y. 85 m, taikant Okumura-Hata algoritmą, ir 29 m, taikant COST 231 algortimą. Mažiausias X koordinačių nuokrypių skirtumas gautas 7 taške t.y. 46 m, taikant Okumura-Hata algoritmą, ir 49 m, taikant COST 231 algortimą. Tiksliausiai taškų X koordinatės apskaičiuotos 3 ir 6 taškuose. Taške Nr.3 X koordinatės nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 26 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 2 m, kai taikytas COST 231 algoritmas. Taške Nr.6 X koordinatės nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 19 m (Okumura-Hata algoritmas) ir 8 m (COST 231 algoritmas).



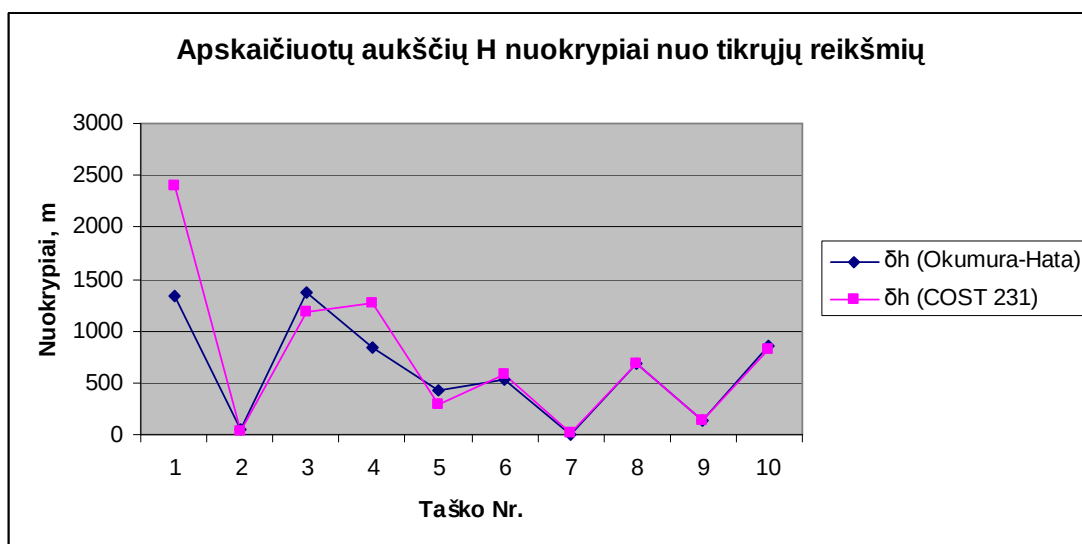
33 pav. Apskaičiuotų X koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=50$

Apskaičiuotų Y koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (34 pav.). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritmą Klaipėdos mieste Y koordinačių nuokrypiai svyruoja nuo 25 iki 266 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas Y koordinačių nuokrypiai svyruoja nuo 19 iki 149 m. Didžiausias Y koordinačių nuokrypių skirtumas gautas 6 taške t.y. 266 m, taikant Okumura-Hata algoritmą, ir 102 m, taikant COST 231 algoritimą. Tiksliausiai Y koordinatės apskaičiuotos 5 ir 7 taškuose. Taške Nr.5 Y koordinatės nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 25 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 19 m, kai taikytas COST 231 algoritmas. Taške Nr.7 Y koordinatės nuokrypis gautas 48 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 51 m, kai taikytas COST 231 algoritmas.



34 pav. Apskaičiuotų Y koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=50$

Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (35 pav). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritmą Klaipėdos mieste aukščio H nuokrypiai svyruoja nuo 2 iki 1365 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas aukščių H nuokrypiai svyruoja nuo 12 iki 2396 m. Didžiausias aukščio H nuokrypių skirtumas gautas 1 taške t.y. 1332 m, taikant Okumura-Hata algoritmą, ir 2396 m, taikant COST 231 algoritmą. Tiksliausiai aukštis H apskaičiuotas 2 ir 7 taškuose. Taške Nr.2 aukščio nuokrypis gautas 50 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 38 m, kai taikytas COST 231 algoritmas. Taške Nr.7 aukščio H nuokrypis gautas 2 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 12 m, kai taikytas COST 231 algoritmas.



35 pav. Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai $p=50$

Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=50$, o atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritimą (36 lentelė). Apskaičiuoti erdvinių koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių, gautų GPS prietaisu (37 lentelė).

36 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai taikytas Okumura-Hata algoritmas, $p=50$

Taško Nr.	xyhms.rez, m					
	xm	ym	hm	sx	sy	sh
1	6065737.355	582821.237	54.893	8.750	11.339	36.975
2	6061909.860	582405.589	365.518	24.151	19.201	56.146
3	6065721.558	583009.649	587.502	50.012	104.708	91.922
4	6064903.525	579441.958	116.259	22.148	32.443	8.118
5	6063194.645	583792.521	1118.354	59.693	34.796	326.920
6	6063722.054	582482.458	195.379	2.063	4.000	13.590
7	6064387.335	582509.251	520.406	4.441	4.515	3.281
8	6064361.094	578804.062	99.440	10.070	5.966	9.538
9	6064598.497	579346.116	274.010	6.652	9.105	66.620
10	6066109.573	579374.081	166.502	11.004	7.235	108.976

37 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai taikytas Okumura Hata algoritmas, $p=50$

Taško Nr.	Skirtumai, m		
	δx	δy	δh
1	136	93	25
2	50	140	255
3	636	807	489
4	60	416	12
5	125	126	1013
6	106	303	84
7	192	144	455
8	35	37	73
9	288	259	106
10	282	234	5

Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=50$, o atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį COST 231 algoritimą (38 lentelė). Apskaičiuoti erdvinių koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių, gautų GPS prietaisu (39 lentelė).

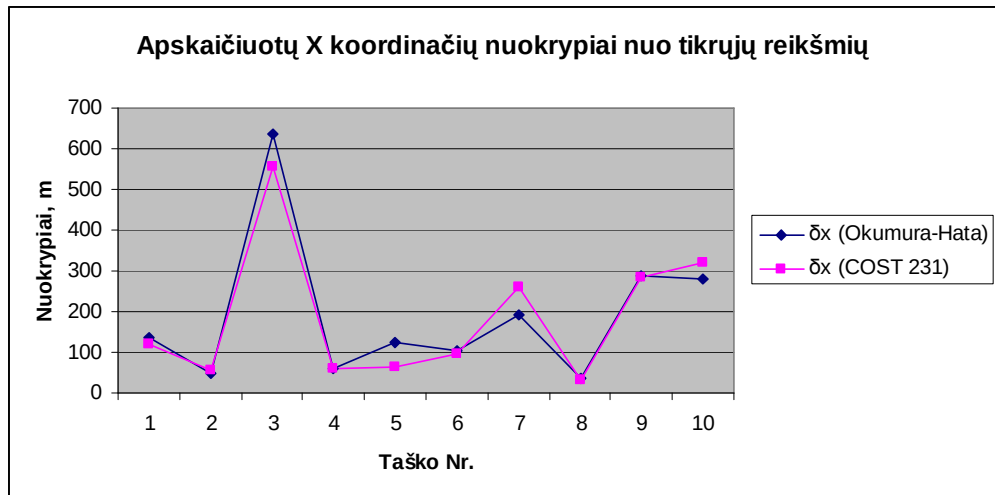
38 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Vilniaus mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=50$

Taško Nr.	xyhms.rez, m					
	xm	ym	hm	sx	sy	sh
1	6065720.307	582863.803	32.075	18.104	16.656	135.002
2	6061904.978	582399.205	334.983	25.567	22.790	51.414
3	6065802.291	582968.170	1675.479	66.295	162.331	409.767
4	6064903.827	579518.841	128.852	23.132	33.910	7.840
5	6063135.825	583623.497	199.844	4.883	2.833	2.447
6	6063730.015	582489.371	52.346	4.134	12.174	64.184
7	6064319.997	582548.911	327.848	4.704	5.058	2.736
8	6064358.388	578659.919	183.677	47.098	33.077	18.163
9	6064593.718	579047.492	296.271	2.775	4.206	1.176
10	6066069.766	579229.592	159.979	8.895	8.315	82.281

39 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=50$

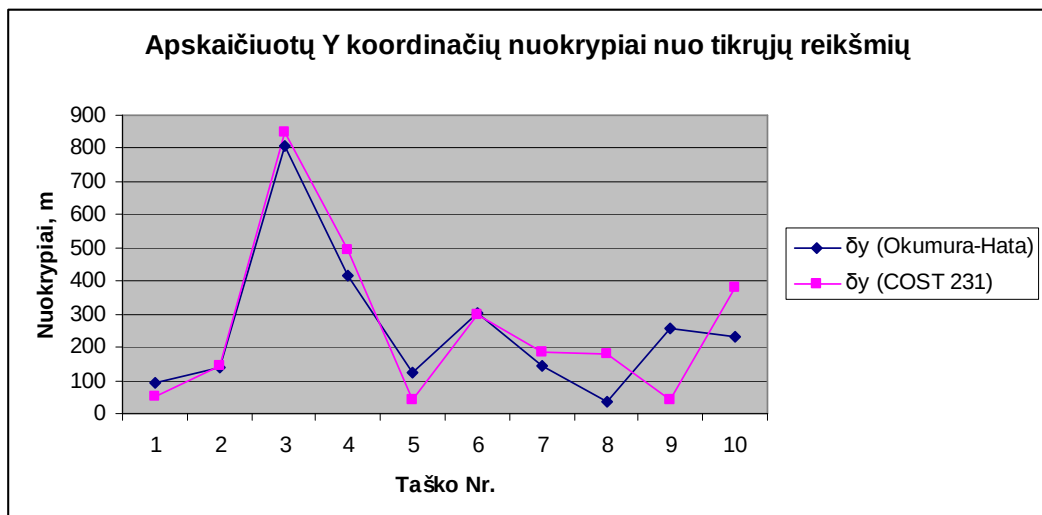
Taško Nr.	Skirtumai, m		
	δx	δy	δh
1	119	51	47
2	55	146	221
3	555	848	1577
4	60	493	1
5	66	43	94
6	98	296	59
7	260	183	262
8	32	182	11
9	283	40	128
10	322	379	2

Apskaičiuotų X koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (36 pav.). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritmą Vilniaus mieste X koordinačių nuokrypiai svyruoja nuo 35 iki 636 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas X koordinačių nuokrypiai svyruoja nuo 32 iki 555 m. Didžiausias X koordinačių nuokrypių skirtumas gautas 7 taške t.y. 192 m, taikant Okumura-Hata algoritmą, ir 260 m, taikant COST 231 algortimą. Tiksliausiai X koordinatės apskaičiuotos 2 ir 8 taškuose. Taške Nr.2 X koordinatės nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 50 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 55 m, kai taikytas COST 231 algoritmas. Taške Nr.8 X koordinatės nuokrypis gautas 35 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 32 m, kai taikytas COST 231 algoritmas.



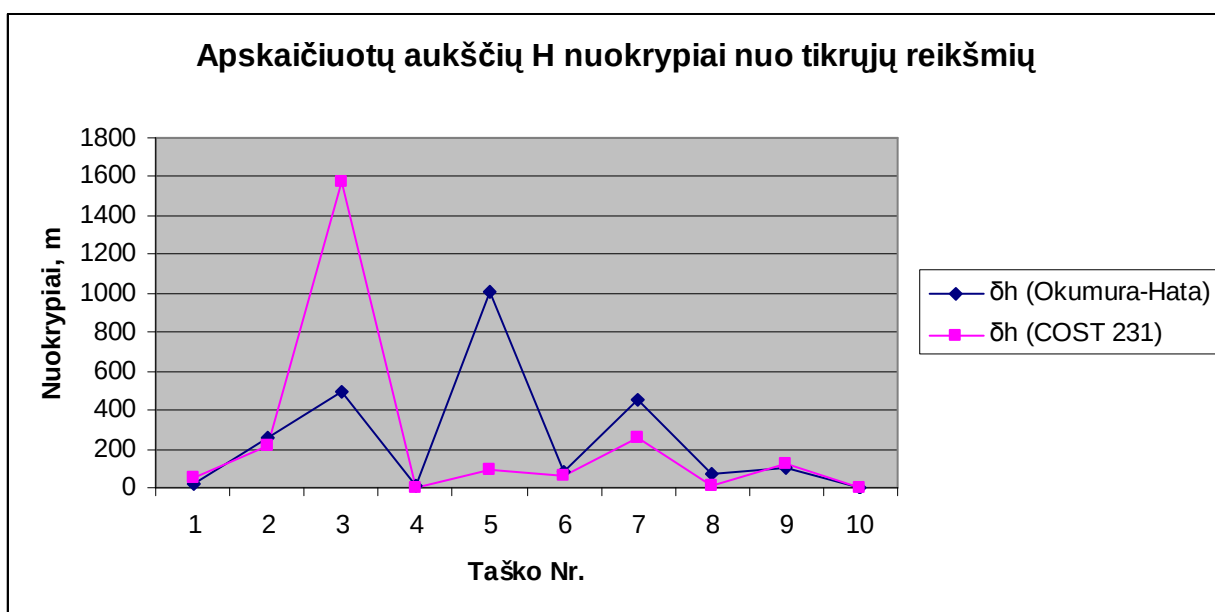
36 pav. Apskaičiuotų X koordinatinių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=50$

Apskaičiuotų Y koordinatinių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (37 pav.). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritimą Vilniaus mieste Y koordinatinių nuokrypiai svyruoja nuo 18 iki 1079 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas Y koordinatinių nuokrypiai svyruoja nuo 5 iki 1750 m. Didžiausias Y koordinatinių nuokrypių skirtumas gautas 9 taške t.y. 259 m, taikant Okumura-Hata algoritimą, ir 40 m, taikant COST 231 algortimą. Mažiausias Y koordinatinių nuokrypių skirtumas gautas 2 taške t.y. 140 m, taikant Okumura-Hata algoritimą, ir 146 m, taikant COST 231 algortimą. Tiksliausiai Y koordinatės apskaičiuotos 1 ir 5 taškuose. Taške Nr.1 Y koordinatės nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 93 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 51 m, kai taikytas COST 231 algoritmas. Taške Nr.5 Y koordinatės nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 126 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 43 m, kai taikytas COST 231 algoritmas.



37 pav. Apskaičiuotų Y koordinatinių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=50$

Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių pavaizduoti grafiškai (38 pav.). Kai atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritmą Vilniaus mieste aukščių H nuokrypiai svyruoja nuo 6 iki 6039 m, kai atstumui apskaičiuoti taikytas COST 231 empirinis algoritmas aukščių nuokrypiai svyruoja nuo 14 iki 4089 m. Didžiausias aukščio H nuokrypių skirtumas gautas 3 taške t.y. 489 m, taikant Okumura-Hata algoritmą, ir 1577 m, taikant COST 231 algortimą. Tiksliausiai aukščiai H apskaičiuoti 4 ir 10 taškuose. Taške Nr.4 aukščio nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 12 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 1 m, kai taikytas COST 231 algoritmas. Taške Nr.10 aukščio nuokrypis nuo tikrosios reikšmės gautas 5 m, kai taikytas empirinis Okumura-Hata algoritmas, ir 2 m, kai taikytas COST 231 algoritmas.



38 pav. Apskaičiuotų aukščių H nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Vilniaus mieste, kai $p=50$

4.4.4. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=1$

Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=1$, o atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį Okumura-Hata algoritimą (40 lentelė). Apskaičiuoti erdvinių koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių, gautų GPS prietaisu (41 lentelė).

40 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas Okumura-Hata algoritmas, $p=1$

Taško Nr.	xyhms.rez, m					
	xm	ym	hm	sx	sy	sh
1	6178591.689	321197.907	106.884	5.258	6.525	12.006
2	6177183.735	322214.068	39.032	90.794	91.632	83.870
3	6174817.620	319052.541	1192.470	153.857	338.990	289.666
4	6176987.116	321713.303	84.511	0.105	0.132	1.104
5	6175929.406	322854.267	2169.751	387.966	1179.334	1410.122
6	6176775.704	322451.231	303.938	152.446	69.281	24.876
7	6178009.183	320537.973	7.146	0.000	0.000	0.000
8	6179080.182	319102.638	681.105	88.596	71.524	42.281
9	6178980.245	320540.752	54.253	16.468	24.516	15.793
10	6180932.558	323707.233	6046.381	168.480	143.916	385.945

41 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas Okumura Hata algoritmas, $p=1$

Taško Nr.	Skirtumai, m		
	δx	δy	δh
1	63	555	99
2	646	1079	26
3	542	909	1187
4	647	268	82
5	289	1592	2166
6	550	183	272
7	22	18	6
8	62	28	674
9	101	229	52
10	1253	889	6039

Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai stipriausiajam signalui priskirtas svoris $p=1$, o atstumas S tarp GSM stoties ir mobiliojo imtuvo apskaičiuojamas pagal empirinį COST 231 algoritimą (42 lentelė). Apskaičiuoti erdvinių koordinačių nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių, gautų GPS prietaisu (43 lentelė).

42 lentelė. Apskaičiuotos erdvinės koordinatės Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=1$

43 lentelė. Apskaičiuotų erdvinių koordinatėjų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių Klaipėdos mieste, kai taikytas COST 231 algoritmas, $p=1$

Apskai

ERROR: syntaxerror
OFFENDING COMMAND: --nostringval--

STACK:

-mark-
/sfnts