



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

ROBERTAS ALELIŪNAS

MOBILIŲJŲ ĮRENGINIŲ NAVIGACINIŲ SISTEMŲ TYRIMAS
THE RESEARCH OF NAVIGATION SYSTEMS OF MOBILE DEVICES

Baigiamasis magistro darbas

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 621H14003

Geodezinių tinklų specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2013

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

V. Česlovas Aksamitauskas
(Vardas, pavardė)

(Data)

Robertas Aleliūnas

MOBILIŲJŲ ĮRENGINIŲ NAVIGACINIŲ SISTEMŲ TYRIMAS
THE RESEARCH OF NAVIGATION SYSTEMS OF MOBILE DEVICES

Baigiamasis magistro darbas

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 621H14003

Geodezinių tinklų specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

prof. Eimuntas Kazimieras Paršeliūnas

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

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas lekt. Regina Žukienė

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

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2013

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 621H14003

Geodezinių tinklų specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Česlovas Aksamitauskas
(Vardas, pavardė)

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

.....Nr.

Vilnius

Studentui (ei)Robertui Aleliūnui
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Mobilųjų įrenginių navigacinių sistemų tyrimas

.....
.....

patvirtinta 2011m. lapkričio 30d. dekanų potvarkiu Nr. 413ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2013m. birželio 3 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Magistrinio darbo teorinė dalis turi būti skirta šiuo metu veikiančių globaliųjų palydovinių sistemų (NAVSTAR, GLONASS, GALILEO, SBAS) apžvalgai bei A-GPS technologijai. Metodinėje dalyje turėtų būti apžvelgta mobiliųjų įrenginių navigacinių sistemų struktūra, veikimo principai, kartografinė dalis, naudojami algoritmai bei kita aktuali medžiaga. Taip pat turi būti pateikta koordinatų perskaičiavimo bei tikslumo įvertinimo metodika. Eksperimentinėje dalyje atliekamas tikslumo įvertinimas naudojant tikslųjį GPS imtuvą bei įvairius navigacinius prietaisus, matavimus atliekant įvairiais metodais. Pateikti išvadas apie gautus rezultatus.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

.....
.....
.....

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

Vadovas

(Parašas)

prof. Eimuntas Kazimieras Paršeliūnas

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

Užduotį gavau

.....
(Parašas)

Robertas Aleliūnas

(Vardas, pavardė)

.....
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Geodezijos ir kadastro katedra

ISBN _____ ISSN _____
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Geodezijos ir kartografijos** programos baigiamasis darbas 4
(geodeziniai tinklai)

Pavadinimas **Mobiliųjų įrenginių navigacinių sistemų tyrimas**
Autorius **Robertas Aleliūnas**
Vadovas **prof. dr. Eimuntas Kazimieras Paršeliūnas**

Kalba:
lietuvių

Anotacija

Navigacinės sistemos mobiliuosiuose įrenginiuose tapo neatsiejama gyvenimo dalis. Spartėjant gyvenimo tempui, vartotojai diktuoja sąlygas šios programinės bei techninės įrangos kūrėjams – įrenginiai padeda greičiau nustatyti buvimo vietą, pasiekti reikiamą tikslą, mažiau laiko užima maršrutų planavimas ir keliavimo trajektorijos pasirinkimas. Itin urbanizuotose vietovėse ir daugiamilijoniniuose miestuose yra ypač vystoma susisiekimo infrastruktūra, todėl sudėtingėjantys kelių tinklai, vis aukščiau kylantys pastatai, kurie apsunkina signalų priėmimą iš dirbtinių žemės palydovų, lemia tai, jog navigacinės sistemos yra nuolat tobulinamos, atnaujinamos bei modernizuojamos. Baigiamojo magistro darbo „Mobiliųjų įrenginių navigacinių sistemų tyrimas“ tikslas yra teoriškai ir praktiškai išanalizuoti navigacinių sistemų veikimo principus, palyginti keleto gamintojų programinės ir techninės įrangos galimybes, išsiaiškinti mobiliuosius įrenginius apskaičiuojamos pozicijos tikslumą bei skirtumų priežastis, atlikti gautų rezultatų analizę. Tyrimui naudojami mobilusis telefonas Nokia 5230, delniniai kompiuteriai HP IPAQ rx5720 ir Garmin Nuvi su atitinkamomis navigacinėmis sistemomis – Nokia Navigation, TomTom 7.450 bei Garmin. Atsitiktinai pasirinkti 20 taškų, kurie buvo koordinuojami tikslu, geodeziniais matavimams pritaikytu, tridaziu GNSS imtuvu GeoMax Zenith20 ir tuo pačiu metu matuojami minėtais pretaisais. Gauti rezultatai apdorojami Visual FoxPro duomenų bazių valdymo sistema sukurta programa „Koordanalize“. Pateikiama gautų skaičiavimų rezultatų analizė bei išvados. Mokslinio darbo struktūrą sudaro įvadas, 3 skyriai, išvados, literatūros sąrašas, kuriame pateikta 30 bibliografinių šaltinių, priedai. Darbo apimtis – 65 p. teksto be priedų, 51 paveikslas, 15 lentelių. Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai

Mobilieji įrenginiai, GPS navigacinės sistemos, tikslumo įvertinimas, Navstar, Glonass, Galileo, SBAS, A-GPS.

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 4 (Geodetic Networks)

Title **The Research of Navigation Systems of Mobile Devices**
Author **Robertas Aleliūnas**
Academic supervisor **Prof Dr Eimuntas Kazimieras Paršeliūnas**

**Thesis
language:**
Lithuanian

Annotation

Navigation systems of mobile devices became concurrent of our lives, so there are many users, who needs it very often in different spheres. For that reason, manufacturers of software and hardware have to develop them consistently – navigation system is very helpful and useful, when you need to appoint your position, calculate routes or find new trajectory of movement and etc. The main point of the thesis „The research of navigation systems of mobile devices“ is to analyse navigation systems theoretically and practically: compare a few types of software and hardware, describe and test their functions, working differences, measurement accuracy and accomplish analysis of the results. It was used mobile phone Nokia 5230 (Nokia Navigation), handhelds HP IPAQ rx5720 (TomTom 7.450) and Garmin Nuvi (Garmin) for this research. 20 points were measured with GNSS receiver GeoMax Zenith20 and with mobile devices at the same time. The results of measurements were processed with program „Koordanalize“ (created by the author of this thesis with database management system Visual FoxPro). The structure of scholarly paper consists of an introduction, 3 chapters, and list of references, which contains 30 bibliographical sources. Size of the paper – 65 p. of text without annexes, 51 pictures, 15 tables. Appendixes of the paper are attached separately.

Keywords

Mobile devices, GPS navigation systems, measurement accuracy, Navstar, Glonass, Galileo, SBAS, A-GPS.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto
egzaminų, sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo
bei gynimo organizavimo tvarkos aprašo
2011-2012 m. m.

1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Robertas Aleliūnas, 20074134

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Geodezija ir kartografija, GDmf-11

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2013 m. gegužės 28 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Mobiliųjų įrenginių navigacinių sistemų tyrimas“ patvirtintas 2011 m. lapkričio 30 d. dekanų potvarkiu Nr. 413ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: prof. dr. Eimuntas Kazimieras Paršeliūnas. Mano darbo vadovas prof. dr. Eimuntas Kazimieras Paršeliūnas.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas)

Robertas Aleliūnas

(Vardas ir pavardė)

(the document of Declaration of Authorship in the Final Degree Paper)

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Robertas Aleliūnas, 20074134

(Student's given name, family name, certificate number)

Faculty of Environmental Engineering

(Faculty)

Geodesy and Cartography, GDmf-11

(Study programme, academic group no.)

**DECLARATION OF AUTHORSHIP
IN THE FINAL DEGREE PAPER**

May 28, 2013

I declare that my Final Degree Paper entitled „The Research of Navigation Systems of Mobile Devices“ is entirely my own work. The title was confirmed on November 30, 2011 by Faculty Dean's order No. 413ap. I have clearly signalled the presence of quoted or paraphrased material and referenced all sources.

I have acknowledged appropriately any assistance I have received by the following professionals/advisers: Prof Dr Eimuntas Kazimieras Paršeliūnas.

The academic supervisor of my Final Degree Paper is Prof Dr Eimuntas Kazimieras Paršeliūnas.

No contribution of any other person was obtained, nor did I buy my Final Degree Paper.

(Signature)

Robertas Aleliūnas

(Given name, family name)

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS	10
IVADAS.....	11
1. GLOBALIŲJŲ PALYDOVINIŲ SISTEMŲ APŽVALGA	13
1.1. NAVSTAR palydovinė sistema	14
1.2. GLONASS palydovinė sistema.....	16
1.3 GALILEO palydovinė sistema	18
1.4. SBAS.....	20
1.5. A-GPS technologija.....	22
1.6. GPS dažniai ir signalai.....	23
1.7. GPS modernizacija	25
2. MOBILIŲJŲ ĮRENGINIŲ NAVIGACINIŲ SISTEMŲ TYRIMAS	28
2.1. Padėties nustatymas	28
2.2. Navigacinių sistemų kartografinė medžiaga	30
2.3. Navigacinių sistemų naudojami algoritmai.....	33
2.4. Automatiškai besikeičiančio žemėlapio mastelio reikšmė.....	38
2.5. Koordinačių transformavimas iš WGS-84 į LKS-94 koordinatų sistemą	39
2.6. Išmatuotų dydžių tikslumo įvertinimo metodika	41
3. EKSPERIMENTAI SU MOBILIŲJŲ ĮRENGINIŲ NAVIGACINIŲ SISTEMŲ PRIETAISAIŠ	41
3.1. Mobiliųjų įrenginių navigacinių sistemų funkcijų palyginimas	42
3.2. Programa <i>Koordanalize</i>	46
3.3. Nustatomų koordinatų tikslumo įvertinimas naudojant GPS ir A-GPS technologijas	51
3.4. Nustatomų koordinatų tikslumo įvertinimas naudojant du identiškus mobilius įrenginius su ta pačia navigacine sistema	55
3.5. Nustatomų koordinatų tikslumo įvertinimas atliekant daugkartinius matavimus.	60
IŠVADOS	62
LITERATŪRA.....	64
PRIEDAI	66

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

- 1.1 pav. NAVSTAR kosminis segmentas
- 1.2 pav. NAVSTAR palydovinės sistemos veikimo principas (kosminis, valdymo ir kontrolės bei vartotojų segmentai)
- 1.3 pav. GLONASS kosminis segmentas
- 1.4 pav. GLONASS valdymo ir kontrolės segmentas
- 1.5 pav. Numatomas GALILEO palydovų išsidėstymas
- 1.6 pav. SBAS struktūra
- 1.7 pav. WAAS navigacinė sistema
- 1.8 pav. EGNOS navigacinė sistema
- 1.9 pav. A-GPS struktūra
- 1.10 pav. GPS palydovo signalai
- 1.11 pav. Modernizuoto GPS signalo struktūra
- 1.12 pav. Modernizuoti GPS, GLONASS ir GALILEO sistemų signalai
- 1.13 pav. Signalų palyginimas tarp dabartinių ir būsimų.
- 2.1 pav. Apskritimų susikirtimo taške nustatomas objektas
- 2.2 pav. TomTom navigacijos žemėlapis
- 2.3 pav. Duomenų bazėje kaupiami atributiniai duomenys
- 2.4 pav. Orgrafas su briaunų reikšmėmis
- 2.5 pav. Dijkstra algoritmo veikimo principas: trumpiausio kelio paieška
- 2.6 pav. Dijkstra algoritmo veikimo principas: trumpiausio kelio paieška su įgaubta kliūtimi.
- 2.7 pav. BFS veikimo principas: kelio paieška
- 2.8 pav. BFS veikimo principas: kelio paieška su įgaubta kliūtimi
- 2.9 pav. A-star veikimo principas: kelio paieška
- 2.10 pav. A-star veikimo principas: įgaubtos kliūties apėjimas
- 2.11 pav. Smulkaus mastelio žemėlapis (judėjimo greitis 32 km/h)
- 2.12 pav. Stambaus mastelio žemėlapis (judėjimo greitis 130 km/h)
- 3.1 pav. Nokia Navigation pagrindinis meniu
- 3.2 pav. Objektų paieška pagal kategorijas
- 3.3 pav. Nokia Navigation važiavimo režime
- 3.4 pav. TomTom maršruto planavimas
- 3.5 pav. TomTom maršruto planavimo parametrai
- 3.6 pav. TomTom įvairių parametrų nustatymas
- 3.7 pav. TomTom navigacijos langas

- 3.8 pav. *TomTom* informacija apie palydovus ir pozicija
- 3.9 pav. *Garmin Nuvi1490* vaizdas
- 3.10 pav. Programos *Koordanalize* medis
- 3.11 pav. Programos *Koordanalize* pradinis langas
- 3.12 pav. Programos *Koordanalize* langas „Elipsoidinių koordinačių įvedimas ranka“ langas
- 3.13 pav. Programos *Koordanalize* duomenų įvedimas: 1 žingsnis
- 3.14 pav. Programos *Koordanalize* duomenų įvedimas: 2 žingsnis
- 3.15 pav. Tikslumo skaičiavimas programa *Koordanalize*
- 3.16 pav. Programos langas „Koordinačių analizė“
- 3.17 pav. Programos *Koordanalize* gautų rezultatų palyginimas
- 3.18 pav. Langas „Duomenų tvarkyklė“
- 3.19 pav. *Nokia Navigation* koordinačių nuokrypiai naudojant GPS
- 3.20 pav. *Nokia Navigation* koordinačių nuokrypiai naudojant A-GPS
- 3.21 pav. *Nokia Navigation* aukščio nuokrypiai
- 3.22 pav. *Garmin Nuvi 1490* koordinačių nuokrypiai (prietaisas A)
- 3.23 pav. *Garmin Nuvi 1490* koordinačių nuokrypiai (prietaisas B)
- 3.24 pav. Aukščio matavimo rezultatai *Garmin Nuvi1490* navigacinėmis sistemomis
- 3.25 pav. *Garmin Nuvi* navigacinėmis sistemomis išmatuoto aukščio nuokrypiai
- 3.26 pav. *TomTom* koordinačių nuokrypiai

LENTELIŲ SĄRAŠAS

- 1.1 lentelė. NAVSTAR sistemos pagrindiniai rodikliai
- 1.2 lentelė. GLONASS sistemos pagrindiniai rodikliai
- 1.3 lentelė. GPS ir A-GPS technologijų palyginimas
- 2.1 lentelė Popierinių ir skaitmeninių žemėlapių palyginimas
- 2.2 lentelė. Trumpiausio kelio suradimo tarp dviejų pasirinktų viršūnių algoritmo darbo procesas
- 3.1 lentelė. *Nokia Navigation* maršruto skaičiavimo laikas
- 3.2 lentelė. Maršrutų skaičiavimas (*TomTom* rezultatai)
- 3.3 lentelė. Maršrutų skaičiavimas (*Garmin Nuvi* rezultatai)
- 3.4 lentelė. Skaičiavimų rezultatai *Nokia Navigation* - GPS
- 3.5 lentelė. Skaičiavimų rezultatai *Nokia Navigation* – A-GPS
- 3.6 lentelė. Skaičiavimų rezultatai: aukščio nuokrypiai
- 3.7 lentelė. Skaičiavimo rezultatai. *Garmin Nuvi 1490* (prietaisas A)
- 3.8 lentelė. Skaičiavimo rezultatai. *Garmin Nuvi 1490* (prietaisas B)
- 3.9 lentelė. Aukščio matavimo rezultatai *Garmin Nuvi1490* navigacinėmis sistemomis
- 3.10 lentelė. Skaičiavimo rezultatai. *TomTom 7.450* navigacinė sistema

IVADAS

Darbo aktualumas. Šiuo metu nepaliaujamai diegiamos naujosios technologijos, paremtos kompiuterizavimu, programavimu ir skaitmetizavimu į visas mokslo, veiklos bei gyvenimo sritis. Ne išimtis yra ir kuriamos įvairios navigacinės sistemos, kurios keičia pasenusius kelionių planavimo ir pozicionavimo metodus ir priemones. Pagal panaudojimą gali būti pritaikytos kariniais tikslais, aviacijai, laivavedybai, judantiems robotams, žemės ūkyje ir kitose srityse. Kiekvienas vartotojas reikalauja atskirų tikslumo parametrų, duomenų bazių išsamumo, funkcijų, kurios priklauso nuo poreikių ir uždavinių.

Spartėjant gyvenimo tempui, rinka diktuoja sąlygas programinės bei techninės įrangos kūrėjams, kurie navigacines sistemas pritaikė civiliam vartotojui – šie įrenginiai padeda greičiau nustatyti buvimo vietą, pasiekti reikiamą tikslą, mažiau laiko užima maršrutų planavimas ir keliavimo trajektorijos pasirinkimas. Itin urbanizuotose vietovėse ir daugiamilijoniniuose miestuose yra ypač vystoma susisiekimo infrastruktūra. Sudėtingėjantys kelių tinklai, vis aukščiau kylantys pastatai, kurie apsunkina signalų priėmimą iš dirbtinių žemės palydovų, lemia tai, jog navigacinės sistemos yra nuolat tobulinamos, atnaujinamos bei modernizuojamos, kadangi ir civiliniams poreikiams pritaikytos sistemos turi būti vis tikslesnės, detalesnės, patogesnės vartoti. Tiriamasis darbas, siekiant išsiaiškinti naujausių navigacinių sistemų privalumus bei trūkumus, įvertinti gaunamą tikslumą ir palyginti įvairių gamintojų platinamą įrangą yra aktualus šiai dienai.

Darbo tikslas. Šio darbo tikslas yra teoriškai ir praktiškai išanalizuoti navigacinių sistemų veikimo principus, palyginti trijų gamintojų (*TomTom*, *Garmin*, *Nokia Navigation*) programinės ir techninės įrangos galimybes, išsiaiškinti mobiliais įrenginiais apskaičiuojamos pozicijos tikslumą bei skirtumų priežastis, atlikti gautų rezultatų analizę.

Tyrimo metodai. Tyrimui atlikti bus naudojami mobilusis telefonas *Nokia 5230*, delniniai kompiuteriai *HP IPAQ rx5720* ir *Garmin Nuvi* su atitinkamomis navigacinėmis sistemomis – *Nokia Navigation*, *TomTom 7.450* bei *Garmin*. Atsitiktinai pasirinkti 20 taškų, kurie koordinuojami tiksliau, geodeziniais matavimams pritaikytu, tridažniu GNSS imtuvu *GeoMax Zenith20*. Gauti rezultatai apdorojami *Visual FoxPro* duomenų bazių valdymo sistema sukurta programa *Koordanalize*. Darbe atliekamas elipsoidinių koordinačių perskaičiavimas į plokštumines pagal nustatytą metodiką bei įvertinamos vienaarūšių dydžių skirtingu tikslumu gautų rezultatų vidutinės kvadratinės klaidos.

Darbo struktūra. Pirmajame skyriuje apžvelgiamos globaliosios palydovinės sistemos. Supažindinama su GPS technologijomis, *NAVSTAR*, *GLONASS*, *GALILEO*, *SBAS* sistemomis. Skiriamas dėmesys dirbtinių žemės palydovų signalams bei dažniams, veikimo principams. Antroje

baigiamojo magistro darbo dalyje aiškinamasi mobiliųjų įrenginių navigacinių sistemų pagrindinis veikimo principas – padėties nustatymas stovint vietoje ir judant. Atkreipiamas dėmesys į kartografinę dalį – žemėlapius, duomenų bazines, jų naujumą ir charakteristikas. Taip pat nagrinėjami maršrutų skaičiavimų ir judėjimo algoritmai bei realiu laiku internetu teikiama informacija. Pateikiami algoritmai, skirti apskaičiuoti elipsoidines koordinates į LKS-94 sistemą ir įvertinti gaunamų duomenų vidutinės kvadratinės klaidas. Paskutiniame skyriuje pateikiami praktiniai darbo rezultatai – atliekami eksperimentai su įvairiais mobiliais įrenginiais, kuriuose yra *TomTom*, *Nokia Navigation*, *Garmin* navigacinės sistemos. Nagrinėjami tarpusavio skirtumai, lyginamas maršrutų sudarymas, skaičiavimo laikas ir kiti parametrai. Atliekami navigaciniais įrenginiais gautų rezultatų įvairių duomenų apdorojimas, analizė ir palyginimas, pateikiamos išvados apie kiekvieną sistemą.

1. GLOBALIŲJŲ PALYDOVINIŲ SISTEMŲ APŽVALGA

Nuo pat pirmojo dirbtinio Žemės palydovo (DŽP) paleidimo į kosminę erdvę geodezijos mokslo šaka tapo glaudžiai susijusi su šia sistema. Uždavinių sprendimas, paremtas navigaciniais metodais, pradėtas taikyti 1957m., kai į orbitą buvo iškeltas pirmasis DŽP *Sputnik I*. Palaipsniui didėjant palydovų skaičiui orbitoje, keitėsi ir padėties nustatymo tikslumas – 1962 metais buvo 900m, 1969m. – 185m, 1971m. siekė 39m, o šiuo metu nustatomos vietos vidutinė kvadratinė paklaida gali būti mažesnė nei centimetras, priklausomai nuo imtuvo tipo, jo sudėtingumo ir naudojimo tikslų. Tolygiai vystantis ir tobulėjant palydovų sistemoms buvo taikoma vis daugiau metodų ir sprendžiami įvairesni uždaviniai dėl jų teikiamos naudos siekiant kur tik įmanoma panaudoti gaunamą informaciją. Palaipsniui plėtėsi vartotojų grupės: nuo kariškių, geodezininkų, aviatorių iki paprasto žmogaus, kuris naudojami navigacinei sistema įmontuota mobiliajame įrenginyje – mobiliajame telefone, delniniame kompiuteryje ar automobilyje. Palydovinės sistemos veikimo principas paremtas tuo, kad vartotojas priima signalus iš tam tikra orbita skriejančių keleto dirbtinių Žemės palydovų, kurių padėtis žinoma kiekvienam momentui, ir, pagal gautus duomenis, apskaičiuojama matuotojo padėtis. Šiuo metu pagrindinės veikiančios palydovinės sistemos yra *GLONASS* (Rusija) ir *NAVSTAR* (Jungtinės Amerikos Valstijos), kuriais naudojantis galima spręsti reikalingus uždavinius geodezijoje ir navigacijoje bet kuriuo metų ar paros laiku. Europoje kuriama *GALILEO* navigacinė sistema atsilieka nuo planuoto grafiko dešimtmečiu ir tik 2011m. pabaigoje paleido į orbitą pirmuosius du palydovus. Kinijoje vystoma sistema „Beidou“ - iki 2020m. planuoja išleisti į orbitą 35 palydovus, o pirmasis pradėjo skrieti 2011m. gruodį. Pastarosios dvi sistemos paprastam vartotojui šiai dienai yra neaktualios, kadangi jos dar tik kuriamos ir tobulinamos.

Pagrindinės anksčiau minėtos *NAVSTAR* ir *GLONASS* palydovinės sistemos sudarytos iš trijų segmentų – kosminio, antžeminio kontrolės bei vartotojų segmentų. Kiekviena iš jų turi ne mažiau nei 24 nuolat veikiančius palydovus, o jų signalai pasiekiami visame Žemės paviršiuje bet kuriame taške ir bet kuriuo paros metu.

Pirmąją palydovinę radijo navigacijos sistemą „Transit“ septintajame dešimtmetyje sukūrė JAV kariškiai. Kuriant ir prižiūrint šią sistemą sukaupta patirtis buvo panaudota *NAVSTAR* GPS vystymui. 1990 m. karas Golfo įlankoje įrodė, kad *NAVSTAR* GPS tinka armijai atliekant strateginius žingsnius ir naviguojant tam tikroje teritorijoje. Nepaisant karinės kilmės, GPS greitai tapo populiaria civilinės kartografijos ir navigacijos priemone. Naudojantis GPS nustatoma esama vieta ir gaunamos platumos (B), ilgumos (L) bei altitudės (Z) koordinatės.

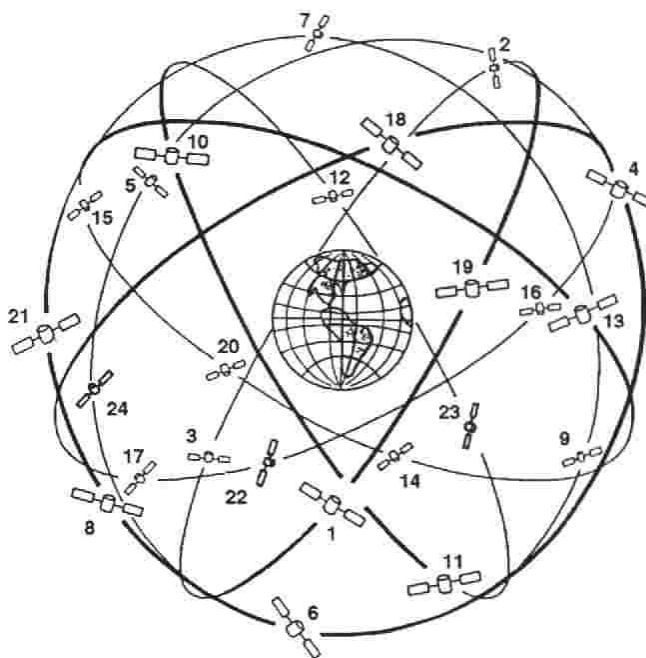
1.1. NAVSTAR palydovinė sistema

Jungtinių Amerikos Valstijų Gynybos ministerijos užsakymu NASA sukūrė NAVSTAR palydovinę sistemą, kuri iš pradžių buvo skirta tik kariniams tikslams ir prieinama tik šios šalies pareigūnams, o nuo 1983m. efektyviai taikoma ir civiliniams poreikiams. Šią sistemą sudaro trys segmentai: kosminis, antžeminis valdymo ir kontrolės bei vartotojų [20].

Kosminį segmentą sudaro orbitoje skriejantys dirbtiniai Žemės palydovai. Normalus sistemos funkcionavimas užtikrinamas skriejant 24 palydovams, kurie išsidėstę šešiose skirtingose orbitose po keturis (1.1 pav.). Tokiu būdu pasiekama, kad bet kurioje Žemės vietoje įmanoma gauti signalus iš ne mažiau kaip keturių palydovų, kurie yra aukščiau kaip 15 laipsnių virš horizonto ir iki 10 palydovų, aukščio ribą sumažinus iki dešimties. Kiekvienas palydovas orbitą apskrieja per 11h 57min 58,3s, virš horizonto būna apie 5 valandas, jų vidutinis aukštis yra apie 20200 kilometrų virš Žemės paviršiaus, judėjimo greitis – 4 kilometrai per sekundę (pagrindiniai rodikliai pateikti 1.1 lentelėje). Dirbtinis Žemės palydovas priima, apdoroja, saugo bei skleidžia įvairią informaciją tam tikro tipo signalais. Įrenginį sudaro siųstuvas, imtuvas, antena, penki virpesių generatoriai, mikrokompiuteris, Saulės baterijos. Virpesių generatoriai naudoja rubidžio ir cezio etalonus, kurių santykinis stabilumas yra maždaug 10^{-14} sekundės per parą. Pagrindinį dažnį, lygų $f_0=10,22999995543$ MHz, sukuria kvarcinis generatorius, kurį kontroliuoja ir valdo rubidžio bei cezio generatoriai. Remiantis pagrindiniu dažniu, formuojami L1 ir L2 diapazonuose du nešlio dažniai: $L1 - f_1 = 1575,42$ MHz ir $L2 - f_2 = 1227,60$ MHz [20, 21]. NAVSTAR sistemoje visų palydovų nešlio dažniai f_1 ir f_2 yra vienodi, o kiekvienas palydovas turi savo moduliavimo kodus.

1.1 lentelė. NAVSTAR sistemos pagrindiniai rodikliai

Rodikliai	NAVSTAR
DŽP skaičius	24
Orbitų skaičius, jų aukščiai	6; 20200 km
Orbitų polinkis į ekvatoriaus plokštumą	55°
Apskriejimo laiko intervalas	12 h
Signalų moduliavimas	L1→P,C/A,Y; L2→P,Y kodai
DŽP generatoriai	5- rubidžio ir cezio
Laiko skalė	GPS
Koordinačių sistema	WGS 84



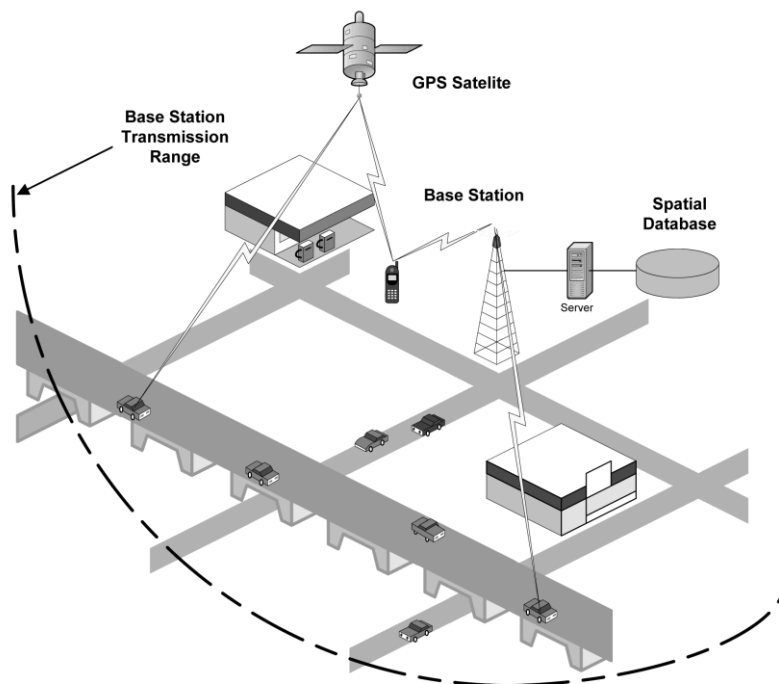
1.1 pav. NAVSTAR kosminis segmentas

Antžeminio valdymo ir kontrolės segmento pagrindinė užduotis yra nustatyti NAVSTAR palydovų orbitas, sistemos laiką, perduoti informaciją apie tai į palydovus, valdyti ir kontroliuoti sistemos darbą. Segmentą sudaro viena pagrindinė, penkios autonominės kontrolės bei trys ryšio palaikymo su palydovais stotys.

GPS valdymo ir kontrolės stotys matuoja palydovų orbitų parametrus ir prognozuoja palydovų judėjimą, taip pat matuoja palydovų generatorių dažnius ir ekstrapoluoja laikrodžių eigą bei transliuoja į palydovus orbitų parametrų reikšmes ir laikrodžių pataisas, kurios vėliau iš palydovų transliuojamos vartotojams. Kontrolinės stotys turi dviejų dažnių imtuvus, kurie aprūpinti cezio dažnio etalonais ir meteorologinių parametrų davikliais. Jos surenka duomenis iš visų „matomų“ palydovų, t.y. matuoja pseudo atstumus, koreguoja juos troposferos ir jonosferos pataisomis bei apdorojant matavimų rezultatus eliminuoja matavimų klaidas. Išlygintos pseudoatstumų reikšmės perduodamos į pagrindinę valdymo ir kontrolės stotį, kurioje pagal gautus duomenis apskaičiuoja efemerides ir prognozuoja laikrodžių pataisas. Šie duomenys įrašomi į palydovų kompiuterių atmintį, o iš palydovų navigacinių pranešimų pavidalu perduodami vartotojams. Ryšio stotis perduoda navigacinius pranešimus į palydovus. Įprastu atveju palydovai yra aprūpinami naujais duomenimis kas 8 val., o tais atvejais, kai esama trikdžių, kiekvieno palydovo kompiuterių atmintyje įrašomi ilgalaikių efemeridžių (iki 14 parų) duomenys, kas lemia vartotojo gaunamų duomenų mažesnę tikslumą [20].

Paskutinįjį vartotojų segmentą sudaro civiliai, kurie naudojami GPS imtuvais ir programine įranga. Jų skaičius gali būti neribotas. GPS imtuvai veikia automatizuotai, pradedant matavimų

planavimų ir baigiant navigacinių bei geodezinių parametrų skaičiavimais [20]. GPS imtuve priimamas signalas dekoduojamas, t.y. iš jo išskiriamos C/A ir P kodų sekos bei tarnybinė informacija. Gautas kodas lyginamas su analogišku kodu, kurį generuoja pats GPS imtuvas. Tai leidžia nustatyti signalo sklaidimo iš palydovo trukmę ir taip apskaičiuoti pseudo atstumą.



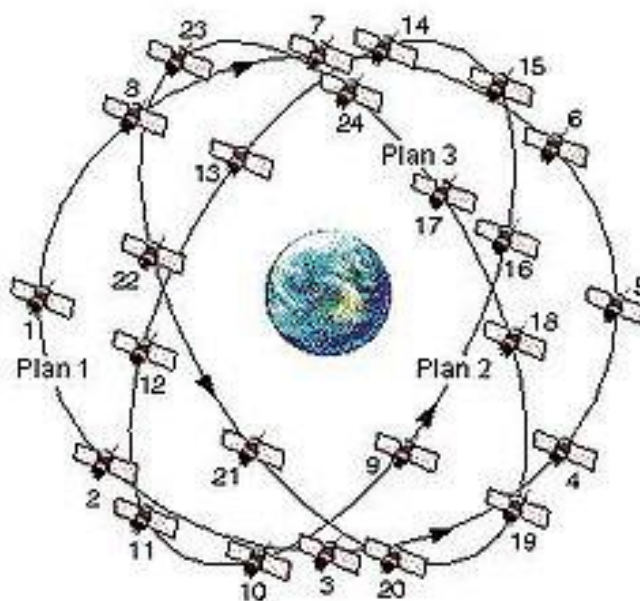
1.2 pav. NAVSTAR palydovinės sistemos veikimo principas (kosminis, valdymo ir kontrolės bei vartotojų segmentai)

1.2. GLONASS palydovinė sistema

Rusija 1996 metais į kosminę erdvę paleido savo palydovinę navigacinę sistemą *GLONASS*. Ši palydovinė sistema sukurta navigaciniais tikslais. Pagrindinė jos užduotis – užtikrinti vietos nustatymo galimybę neribotam vartotojų, esančių ant Žemės arba netoli jos, skaičiui. *GLONASS* sudaro trys segmentai – kosminis, kontrolės bei vartotojų. Naudojant šią sistemą galima nustatyti objektų judėjimo vektorius, taškų geocentrines koordinates, Žemės gravitacijos lauko parametrus, geodezijos konstantas ir kt. Taip pat ji padeda spręsti geodezijos mokslo problemas: geoido nustatymo, Žemės polių judėjimo, potvynių ir atoslūgių, geodinaminių parametrų skaičiavimui [20].

Kosminio segmento darbą užtikrina nuolat veikiantys 24 palydovai, kurie skrieja trijomis orbitomis ir išdėstyti tolygiai po 8 kiekvienoje iš jų (1.3 pav.). Palydovai skrieja vidutiniame 19100 kilometrų aukštyje. Orbitų posvyris į ekvatoriaus plokštumą yra 64,8 laipsnių, o palydovo apskriejimo laikas apie ją yra 11h 15min [28]. Naudojama koordinačių sistema yra paremta PZ-90

elipsoidu (pagrindiniai sistemos rodikliai pateikti 1.2 lentelėje) [20, 21]. Kiekvienas dirbtinis Žemės palydovas naudoja tris cezio virpesių generatorius.



1.3 pav. GLONASS kosminis segmentas

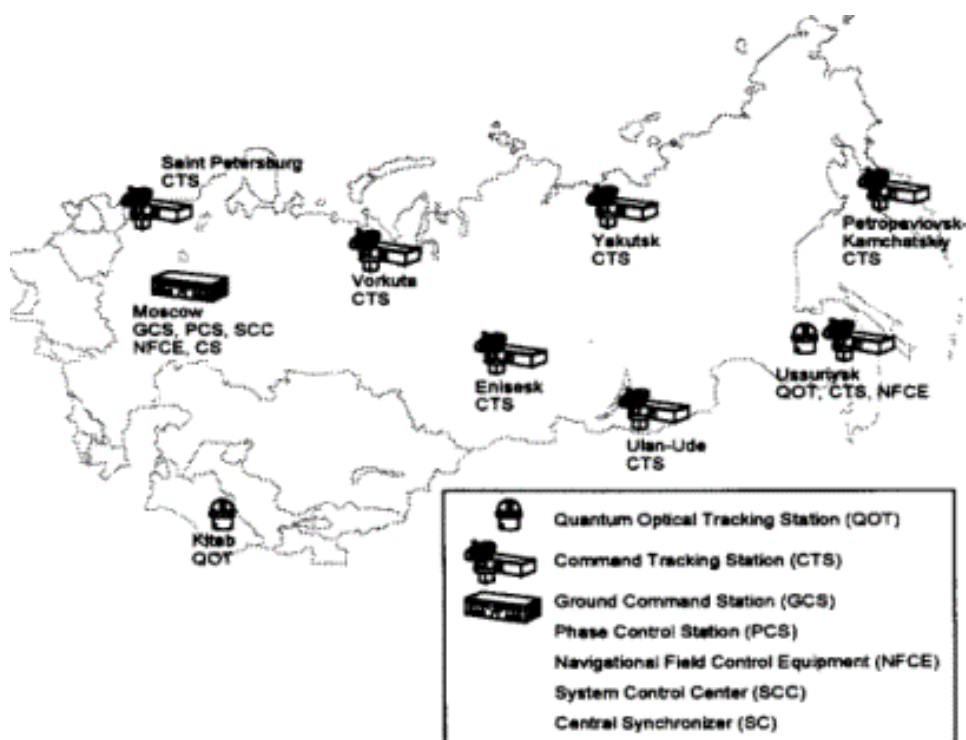
1.2 lentelė. GLONASS sistemos pagrindiniai rodikliai

Rodikliai	GLONASS
DŽP skaičius	24
Orbitų skaičius, jų aukščiai	3; 19100 km
Orbitų polinkis į ekvatoriaus plokštumą	64.8°
Apskriejimo laiko intervalas	11 h 15 min
Signalų moduliavimas	L1→P, C/A; L2→P kodai
DŽP generatoriai	3 - cezio
Laiko skalė	UTC (Maskvos)
Koordinatų sistema	PZ 90

GLONASS sistemoje veikiantys dirbtiniai Žemės palydovai skrieja trijose orbitose, kurios tolygiai išdėstytos kas 120 laipsnių. Toje pačioje orbitoje skriejantys palydovai yra nutolę vienas nuo kito kas 45 laipsnius [28].

Žemės segmentą sudaro kosmodromas, komandų-matavimo kompleksas ir kontrolės centras. Pagrindinė valdymo ir kontrolės stotis yra Maskvoje, o kontrolės ir ryšio stotys: Sankt Peterburge, Ternopolyje, Jeniseiske, Komsomolske ant Amuro (1.4 pav.). Kosmodromas atsakingas už palydovų paleidimą į tinkamą orbitą, jų techninę priežiūrą, o valdymo ir kontrolės stotys

koordinuoja visų palydovų sistemas, skaičiuoja pataisas, efemerides, almanachus bei kitus parametrus, kurie reikalingi tiksliems geodeziniais matavimams. Kontrolės stotys turi dviejų dažnių imtuvus, aprūpintus cezio dažnių etalonais ir metrologinių parametrų davikliais. Jos surenka duomenis iš visų „matomų“ palydovų (matuoja pseudoatstumus), juos koreguoja troposferos ir jonosferos pataisomis ir apdorodamos matavimų rezultatus eliminuoja matavimų klaidas. Išlygintos pseudoatstumų reikšmės ryšio kanalais perduodamos į pagrindinę valdymo ir kontrolės stotį, kuri pagal gautus duomenis apskaičiuoja efemerides ir prognozuoja palydovų laikrodžių pataisas. Šie duomenys įrašomi į palydovų kompiuterių atmintį ir iš palydovų navigacinių pranešimų pavidalu perduodami vartotojams [20].



1.4 pav. GLONASS valdymo ir kontrolės segmentas

1.3 GALILEO palydovinė sistema

GALILEO sistema yra Pasaulinės erdvės dalis, kurią sudarys erdvės (kosmoso) ir Žemėje esančių valdymo centrų sektoriai. Erdvės sektorius apims 30 palydovų, skriejančių vidutinio aukščio orbitose, t.y. 23 000 km aukštyje virš Žemės [29]. Visi palydovai bus išdėstomi trijose orbitinėse plokštumose, o jų dydžiai ir masės parenkamos taip, kad viena raketa nešėja galėtų iškelti į orbitą nuo 2 iki 8 palydovų. Valdymo centrų sektoriaus branduoliu bus du Europoje įrengti dubliuoti *GALILEO* valdymo centrai, kurie turės atlikti šias funkcijas:

- valdyti palydovų "žvaigždyną";
- sinchronizuoti palydovų atominius laikrodžius;

- užtikrinti signalų integralumą;
- tvarkyti visos sistemos duomenis.

GALILEO sistemos architektūrą ir struktūrą nulemia užduotys (funkcijos), kurias ji privalo atlikti. Projektuojant *GALILEO* sistemos architektūrą buvo vadovaujamasi šiais pagrindiniais principais:

- tenkinti vartotojų poreikius ir derinti juos su rinkos tendencijomis;
- kiek įmanoma mažinti sukūrimo ir eksploatacijos kaštus;
- kiek įmanoma mažinti riziką, susijusią su sistemos sudėtingumu;
- suderinamumas su esamomis sistemomis, išsaugant sistemos autonomiškumą ir konkurencingumą.

Regioninių elementų paskirtis- užtikrinti *GALILEO* sistemos pasaulinį integralumą. *GALILEO* architektūra numato, kad gali būti integruoti 8 regioniniai *GALILEO* ryšio stočių tinklai, įrengti bet kurioje pasaulio vietoje. Regioniniai *GALILEO* stočių tinklai įrengiami pagal atskiras sutartis su bet kuria valstybe.

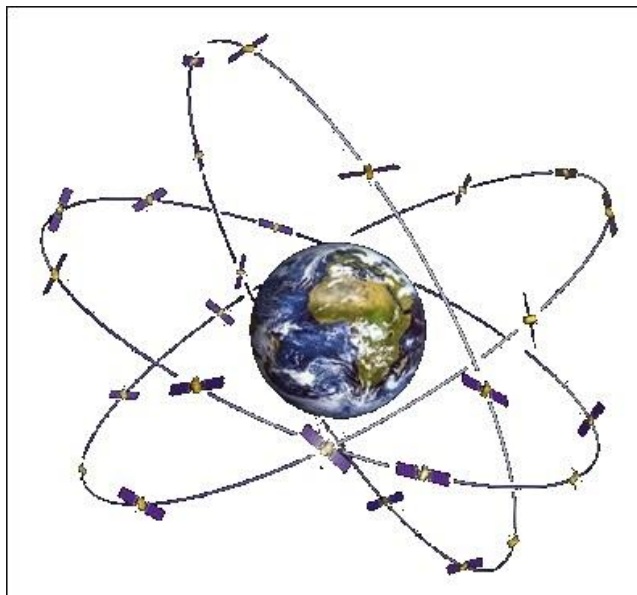
Lokalinės komponentės skirtos užtikrinti galimybę naudotis *GALILEO* sistema ypatingose vietose: oro ir jūrų uostuose; geležinkelyje; greitkeluose; tankiai apgyvendintose vietovėse. Šiai *GALILEO* architektūros daliai priskiriamos priemonės, leidžiančios naudotis *GALILEO* paslaugomis tuneliuose, požeminėse stovėjimo aikštelėse ir kitose vietose, kuriose yra ypatingos radijo signalų sklaidimo sąlygos. Tam tikslui numatoma panaudoti ryšių tinklus, veikiančius GSM ir UMTS standartuose, ir jūrų navigacijos sistemą Loran-C. Dėl lokaliųjų komponentų *GALILEO* sistema tampa labai patraukli aviacijai bei skatins kitų Europos ekonomikos sričių susidomėjimą palydovinėmis navigacinėmis sistemomis [29].

Vartotojų imtuvai ir galinės stotys yra viena iš kertinių *GALILEO* architektūros dalių, kuri turi kuo geriau atspindėti vartotojų poreikius. Tai reiškia, kad *GALILEO* imtuvai ir galinės stotys turi atitikti šiuos kriterijus:

- techninėmis charakteristikomis ir kaina būtų sulyginami su dabar esančių sistemų analogiškais įrenginiais;
- atitikti visų vartotojų (bendrosios ir komercinės paslaugos) reikmes;
- galimybė keisti paslaugos pobūdį ir charakteristikas (pavyzdžiui, ryšio kanalą);
- daugiakanalio režimo galimybė.

Dauguma *GALILEO* imtuvų bus pritaikyti įvairioms palydovinės navigacijos paslaugoms. Šiuo metu sunku numatyti visas *GALILEO* imtuvų funkcijas ir galimybes. Tai visų pirma lemia palydovinių navigacinių sistemų, judriojo ryšio ir kitų aukštųjų technologijų raida.

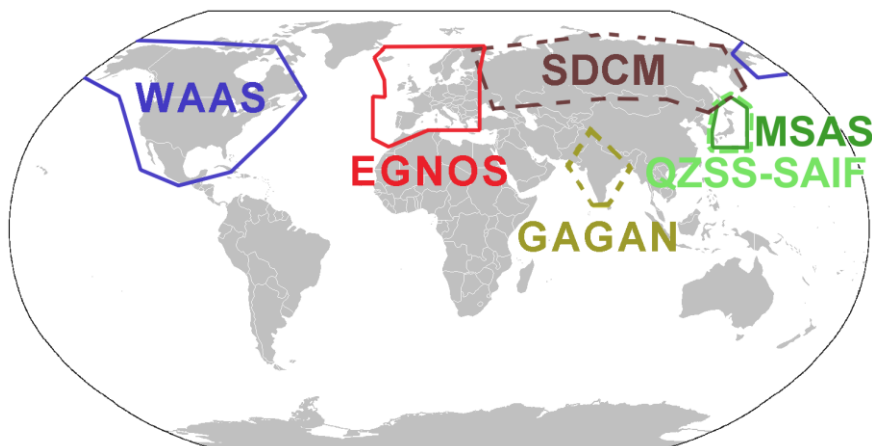
Išskirtinis *GALILEO* architektūros bruožas yra jos susiejimas su dabar veikiančia palydovine radijo navigacine sistema *EGNOS* - pirmuoju Europos projektu palydovinės navigacijos srityje.



1.5 pav. Numatomas *GALILEO* palydovų išsidėstymas

1.4. SBAS

SBAS (angl. *Satellite Based Augmentation System*) sistema sudaryta iš atskirų segmentų, kurie veikia tam tikroje teritorijoje. Šiaurės Amerikoje funkcijuoja *WAAS*, Europoje – *EGNOS*, Azijoje – *MSAS*, *SDCM*, *GAGAN* [17]. Ši sistema sukurta ir tobulinama tam, kad būtų tiksliau nustatoma objektų pozicija naudojantis *NAVSTAR*, *GLONASS*, *GALILEO* bei kitomis vis dar besivystančiomis palydovinėmis sistemomis. *SBAS* veikimo principas paremtas geostacionariais palydovų signalais į dirbtinius Žemės palydovus, Žemėje esančias kontrolės stotis bei į vartotojų įrenginius. *SBAS* struktūra pavaizduota 1.6 paveiksle.

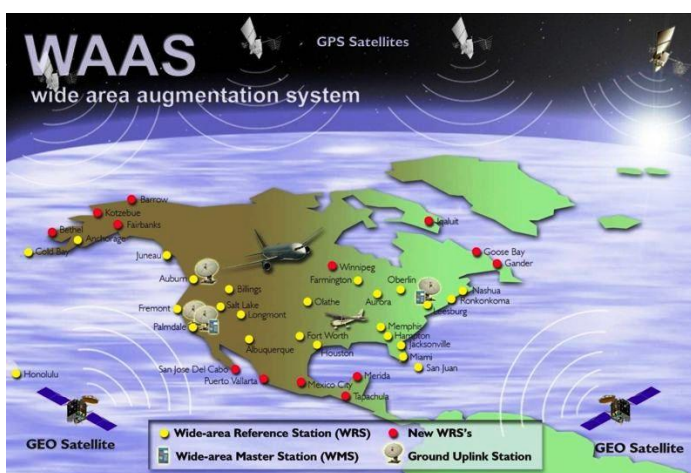


1.6 pav. *SBAS* struktūra

WAAS - (*Wide Area Augmentation System*) tai oro navigacinė sistema, sukurta Federalinės Aviacijos Administracijos (angl. *Federal Aviation Administration*) papildyti GPS sistemą, kurios tikslas yra pasiekti didesnį tikslumą bei sistemos funkcionavimą [5].

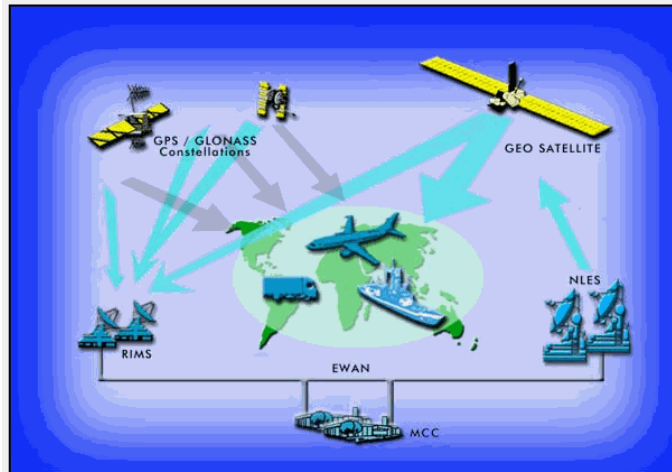
Pagrindinis WAAS tikslas užtikrinti lėktuvų esamą padėtį, bei jų nutūpimą į bet kurį oro uostą, kuris aprūpintas šia sistema.

WAAS naudoja antžeminių referencinių stočių tinklą Šiaurinėje Amerikoje ir Havajuose, kad išmatuotų pakitimus DŽP signaluose. Matavimai iš referencinių stočių siunčiami į pagrindinę valdymo ir kontrolės stotį, kurioje jie apdorojami, o pataisos siunčiamos į geostacionarius WAAS palydovus (5 s intervalu arba dar greičiau). Šie palydovai perduoda pataisas atgal į Žemę, kur WAAS imtuvai naudoja pataisą, kol skaičiuojama tikroji tiksli vieta. Kadangi duomenims perduoti naudojamas tų pačių parametrų signalas, kaip ir GPS palydovų, vartotojui jokių papildomų įrenginių nebereikia, užtenka tik turėti GPS imtuvą su šia funkcija. Šiuo metu WAAS veikia tik Šiaurės Amerikoje. GPS su WAAS sistema paklaida - mažesnė nei 3 metrai. WAAS sistemos schema pavaizduota 1.7 paveiksle.



1.7 pav. WAAS navigacinė sistema

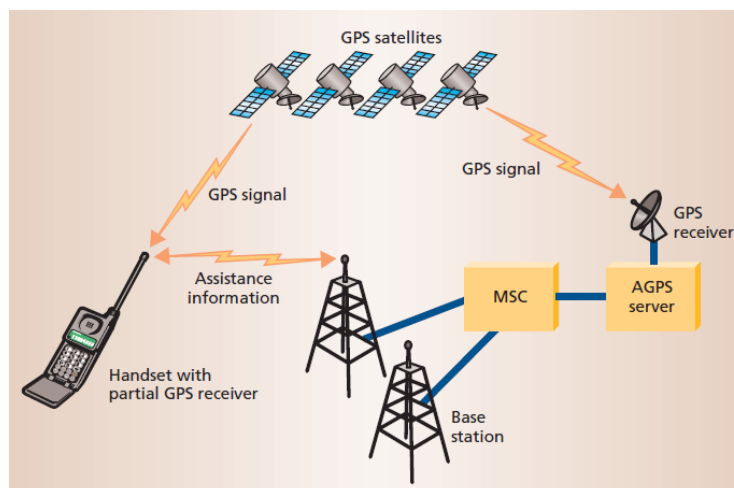
EGNOS yra bendras Europos Kosminės Agentūros (ESA), Europos Komisijos (EC) ir Oro navigacijos saugumo Europos organizacijos (*European Organisation for the Safety of Air Navigation*) projektas. EGNOS sistemą sudaro trys geostacionariose orbitose skriejantys palydovai ir žemėje esančių valdymo stočių tinklas. EGNOS sistemos paskirtis - papildyti NAVSTAR ir GLONASS sistemas, kad jos tenkintų reikalavimus, keliamus navigacijai oro erdvėje ir jūrose [5, 6]. Šios sistemos veikimo principas pavaizduotas 1.8 paveiksle.



1.8 pav. EGNOS navigacinė sistema

1.5. A-GPS technologija

Naudojantis GPS technologija vartotojo vieta nustatoma gavus informaciją iš ne mažiau nei 4 palydovų. Ši galimybė atsiranda tada, kai yra atviras dangaus skliautas ir garantuojamas radijo signalų priėmimas į imtuvą. Pozicijos nustatymas gali trukti iki kelių minučių, kol pasiekama pirma fiksuota pozicija (angl. *Time to first fix*, toliau – TTFF). Be to, sudėtingesnėmis aplinkos sąlygomis (užstatyta teritorija, miškas ir pan.) gali būti neįmanoma priimti signalų. Civiliniams poreikiams pritaikyti navigaciniai prietaisai, ypač mobiliojo ryšio telefonai, vartotojo vietą gali nustatyti naudojant sąveikaujančios GPS (angl. *Assisted GPS*, toliau A-GPS) technologiją, kuri užtikrina greitesnį TTFF ir nepriklauso nuo dangaus skliauto matomumo. Naudojantis A-GPS, paketinių duomenų ryšiu priimami pagalbiniai duomenys, kurie padeda apskaičiuoti vietos koordinatas, kol prietaisas priima signalus iš palydovų. Įjungus A-GPS, mobilusis įrenginys koriniu tinklu gauna naudingą palydovo informaciją iš pagalbinių duomenų serverio, kuriais remiantis greičiau gaunama GPS padėtis. 1.9 paveiksle pavaizduota A-GPS struktūra.



1.9 pav. A-GPS struktūra

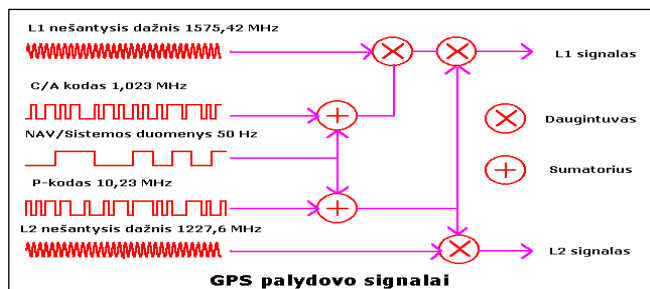
Pagrindiniai sistemos komponentai yra mobilusis įrenginys su A-GPS imtuvu, A-GPS serveris su referenciniu GPS imtuvu ir bevielio ryšio infrastruktūra, kuri susideda iš bazinės stoties ir ryšio skirstymo centro (*angl. Mobile switching center*) [4]. Paketiniai duomenys, gaunami iš ryšio tiekėjo, pagreitina TTFF ir užtikrina vietos nustatymo galimybę, kur palydovų signalai yra sunkiai gaunami ir trukinėjantys. Palyginimas tarp GPS ir A-GPS technologijų pateiktas 1.3 lentelėje.

1.3 lentelė. GPS ir A-GPS technologijų palyginimas

Vietos nustatymo technologija	Privalumai	Trūkumai
GPS	Nereikalingos jokios ryšio priemonės, išskyrus GPS imtuvą; Veikia su visais mobiliais įrenginiais, kur įmontuotas GPS imtuvas; Pašalinių asmenų nesusekama vartotojo vieta; Vieta nustatoma ten, kur nėra ryšio paketinių duomenų perdavimui; Paslauga nemokama.	Turi būti užtikrintas dangaus skliauto matomumas; Žymiai padidėjantis mobiliojo įrenginio energijos suvartojimas naudojant GPS imtuvą; Ilgas TTFF.
A-GPS	Užtikrinamas didesnis vietos nustatymo tikslumas; Itin trumpas TTFF; Galimi žemėlapių ir duomenų bazių atnaujinimai; Minimali įtaka energijos suvartojimui; Sistema vystosi tolygiai su mobiliojo ryšio gerinimui skirtais sprendimais; Gaunami realaus laiko duomenys apie dominančią informaciją (pvz. eismo sąlygas).	Prarandamas privatumas (galimybė nustatyti vartotojo vietą tinklą administruojantiems asmenims); Didesnis įvairių nustatymų kiekis; Paslauga mokama priklausomai nuo priimto duomenų kiekio.

1.6. GPS dažniai ir signalai

Kiekvieno palydovo spinduliuojami elektromagnetiniai virpesiai gaunami iš pagrindinių virpesių, kurių dažnis $f_0 = 10,23$ MHz. Šiuos virpesius sukuria rubidžio ir cezio generatoriai. Signalai perduodami dviem nešlio dažniais: signalas L1: $f_0 = 1575,42$ MHz ($\Delta 1 = 0,190$ m), signalas L2: $f_0 = 1227,60$ MHz ($\Delta 2 = 0,244$ m) [20]. 1.10 paveiksle pavaizduota GPS palydovo signalo struktūra.



1.10 pav. GPS palydovo signalai

Signalai moduluojami taip vadinamais pseudoatsitiktinėmis skaičių sekomis. L1 dažnis moduluojamas dvejais kodais: C/A (*angl. Coarse Acquisition*) kodu (dar vadinamas laisvo priėjimo kodu) ir P kodu (*angl. Protected arba Precision code* - sankcionuoto priėjimo kodu), o dažnis L2 tik P (*angl. Protected arba Precision code*) kodu. Nėgana to, abu nešantieji dažniai papildomai koduojami navigaciniu pranešimu, kuriame yra duomenys apie palydovų orbitas (dar vadinami almanachu), informacija apie atmosferos parametrus, sisteminio laiko ir orbitų korekcijos duomenys - efemeridės (*angl. Ephemeris*). Almanachas apima visų palydovų orbitų parametrus. Jo duomenys nepasižymi dideliu tikslumu ir galioja tik kelis mėnesius. Tuo tarpu, efemeridės apima labai tikslus kiekvieno palydovo orbitų ir laiko korekcijos duomenis, nes tai reikalinga tiksliam jo koordinatų nustatymui. Kiekvienas GPS palydovas perduoda tik savo nuosavos efemeridės duomenis. Šie duomenys galioja tik 30 minučių. Palydovai siunčia savo efemerides kas 30 sekundžių. Signalų kodavimas padeda sinchronizuoti palydovų ir GPS imtuvų laikus, sudaro aparatūrai palankiausias sąlygas atskirti signalą iš triukšmų, realizuoja riboto priėjimo prie GPS režimą. C/A kodo impulsų dažnis yra 1,023 MHz ir pasikartojimo periodas - 0,001 sekundės, todėl GPS imtuvui jį dekoduoti nėra labai sudėtinga. Bet remiantis šiuo signalu matavimo tikslumas nėra didelis. P kodo impulsų dažnis yra 10,23 MHz. papildomos priemonės, kad apsaugoti šį kodą yra naudojamas AS režimas (*angl. Anti Spoofing*). Tokiu atveju P kodas papildomai koduojamas ir jis tampa Y kodu. Y kodo iššifravimas galimas tik aparatinėmis priemonėmis, naudojantis specialiomis mikroschemomis (kriptografiniais raktais), kurios įmontuojamos į GPS imtuvą. Be to, siekdami sumažinti GPS imtuvų tikslumą nesankcionuotiems vartotojams, yra numatytas taip vadinamas "selektyvus priėjimo režimas" SA (*angl. Selective Availability*). Įjungus tokį režimą į navigacinį pranešimą specialiai įterpiami klaidinantys duomenys apie palydovų orbitas ir sisteminio laiko korekcijas, tuo sumažindami pozicijos nustatymo tikslumą net iki 3 kartų.

Kadangi P kodas perduodamas dviem nešančiais dažniais (L1 ir L2), o C/A kodas - tik vienu (L1), GPS imtuvuose, dirbančiuose pagal P kodą, dalinai kompensuojama signalo užlaikymo jonosferoje klaida, kuri priklauso nuo signalo dažnio. Tokiu imtuvų tikslumas visa eile didesnis negu dirbančių su C/A kodu[20].

C/A kodiniai signalai.

C/A kodas nėra tikslus. Jo taktinis dažnis lygus $f_c = 1,023 \text{ MHz}$. Bangos ilgis $\Delta c = 293 \text{ m}$. Pseudosekos (PRN) pasikartojimų bangos ilgis 300 km. Patikimas matavimų sprendimas yra tada kai pseudostatumai neviršija 300 km. C/A kodas yra individualus kiekvienam palydovui. Šis kodas vartotojų imtuvais randamas per 5-6 s [20].

P kodiniai signalai.

P kodas yra skirtas tiksliems matavimams. Jo naudojimas gali būti ribojamas – šis kodas gali būti išjungtas arba sudarytas naujas kodas. Norint gauti P kodą, reikia į kiekvieną GPS imtuvą įmontuoti papildomas mikroschemas.

Šio kodo taktinis dažnis lygus $f_p = f_0$ 10,23MHz, bangos ilgis $\Delta p = 29,3\text{m}$.

Pseudosekos (PRN) pasikartojimų periodas lygus 266 paros.

Periodas padalytas į 7 parų trukmės intervalus, kurie paskirstomi visiems palydovams. Taigi, kiekvienas palydovas turi savo individualų P kodą, kuris keičiamas kas savaitę – sekmadienį 0,00 h UT, keičiant P pseudosekos intervalo numerį ir turinį.

P kodu pseudoatstumai nuo palydovo iki imtuvo išmatuojami 10 kartų tikslesni nei pseudoatstumai, gauti C/A kodu. Imtuvais P kodas randamas naudojant C/A kodą ir žodinį HOW (Hand – Over World) kodą. Dėl to iš C/A kodo kas 6 s perduodamas raktas. Šio rakto priėmimo metu P kodo fazė privalo turėti fiksuotą reikšmę [20].

D kodiniai signalai.

Duomenų kodiniais signalais nenutrūkstamai perduodami navigaciniai pranešimai apie:

- Palydovų efemerides;
- Sistemos laiką;
- GPS laiko pataisas;
- Generatorių dažnių pataisas;
- Jonosferos parametrus;
- Sistemos techninę būklę.

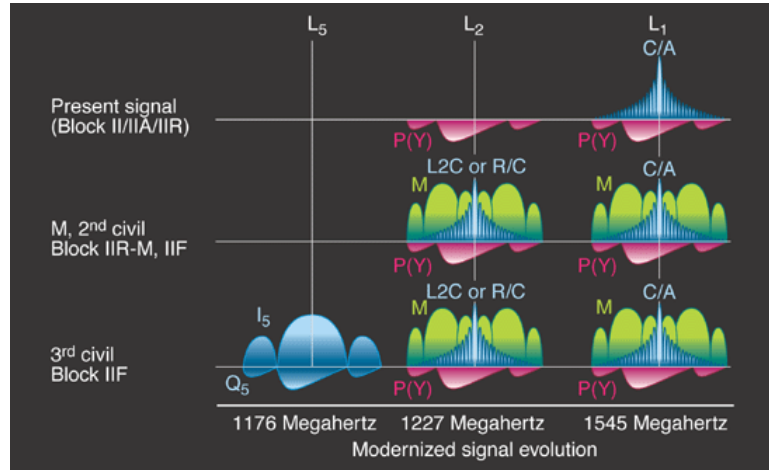
D kodinių signalų trukmė lygi 30 s, informacijos apimtis sudaro 1500 b (bitų), pseudosekos (PRN) taktinis dažnis lygus $f_d = 50\text{Hz}$ [20].

1.7. GPS modernizacija

Dabar naudojamą antros kartos GPS netolimoje ateityje pakeis GPS III. Svarbiausi tikslai, kuriant šią sistemą, tai yra geresnis nustatomas tikslumas ir patikimumas, didesnis dėmesys potencialiems signalo trukdžiams, alternatyvios geolokacijos paslaugos ir visai nauji, dar sudėtingesni už dabartinius kasdieninės praktikos elementai.

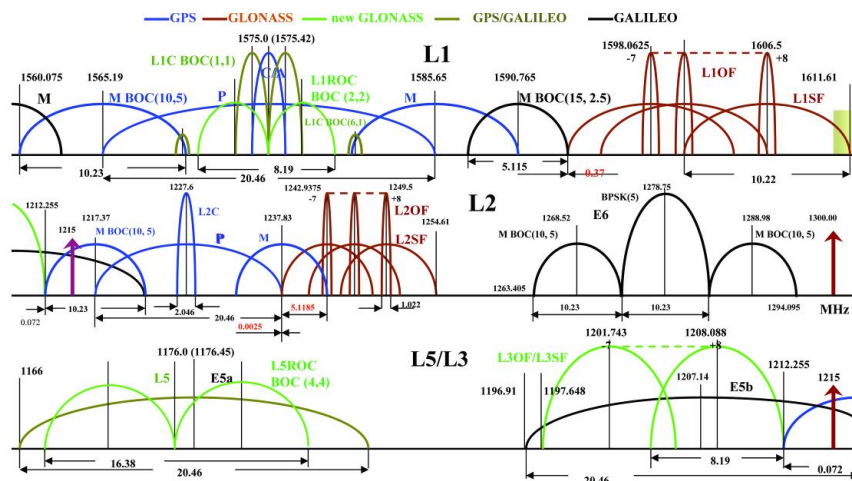
GPS technologijų evoliucijoje per artimiausius kelerius metus turėtų vyrauti trys pagrindinės tendencijos. Pirmoji - įvairesnių dažnių naudojimas. Šis procesas vyksta ir dabar, kai periodiškai tenka pakeisti pasenusius GPS II palydovus. Visai užbaigus palydovų spiečiaus modernizaciją jis

teiks civiliams vartotojams tris naujus signalus (1.11 pav.). Be to, JAV karinės pajėgos gaus dar du papildomus signalus, kurie bus galingesni ir todėl žymiai atsparesni bandymams juos nuslopinti triukšmo fone. Papildomi dažniai taip pat sudarys galimybę sumažinti laiko nustatymo paklaidas dėl GPS signalų atspindžių nuo jonosferos sluoksnio [16].



1.11 pav. Modernizuoto GPS signalo struktūra

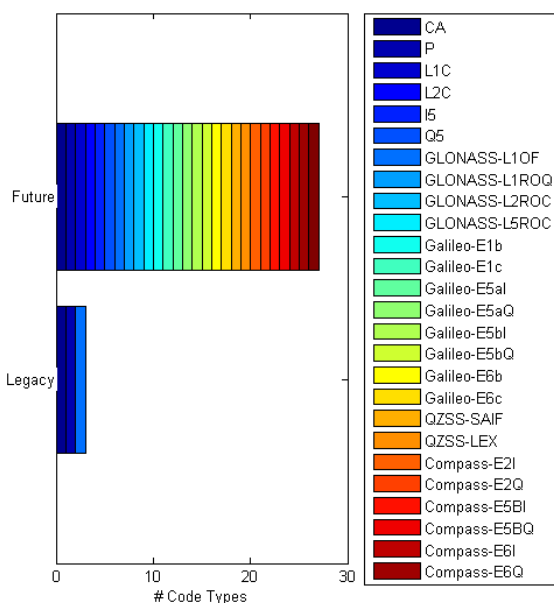
Antra svarbi tendencija susijusi su radijo dažnių interferencijos (RDI) problemos sprendimu. GPS naudoja labai mažos galios signalus: palydovą pagal jo spinduliuojamąją galią galima palyginti su penkiomis elektros lemputėmis. Priimamo signalo lygmuo yra mažesnis nei 10-16 W, todėl jį gali nesunkiai nustelbti bet kuris netoliese esantis radijo siųstuvas. GPS imtuvai sugeba sumažinti triukšmą, lygindami priimto signalo kodo fazę su saugomu vietiniu kodu. Kuomet abiejų bangų fazės tiksliai sutampa, imtuvas gali sinchronizuoti priimamuosius signalus pagal savąjį generatorių ir labai tiksliai nustato padėtį. Įdiegus vadinamąją RDI didinimo sistemą, GPS imtuvas galės pasitikrinti savo skaičiavimų teisingumą, nes dar atsižvelgs į televizijos bei kitų žemėje esančių šaltinių signalus, spinduliuojamus iš tiksliai žinomų vietų [8].



1.12 pav. Modernizuoti GPS, GLONASS ir GALILEO sistemų signalai

Trečioji tendencija susijusi su vadinamųjų "vientisumo mašinų" - sistemų, kurios garantuotų, kad vietos nustatymo paklaida yra mažesnė už iš anksto apibrėžtą dydį, įvedimu. Tose sistemose panaudotos diferencinės GPS technologijos, be to, jų turima informacija nuolat atnaujinama pagal geostacionariose orbitose kybančių ryšio palydovų duomenis. JAV Karinių oro pajėgų paskelbtą konkursą 3 kartos GPS sistemos (GPS III) palydovams kurti laimėjo bendrovė „Lockheed Martin“. Pirmieji GPS III navigaciniai palydovai bus išvesti į orbitą 2014 m.

Pagal sutartį su JAV Karinėmis oro pajėgomis „Lockheed Martin“ sukurs ir pagamins pirmuosius 8 GPS III sistemos palydovus (GPS IIIA). Pirmąją trečiosios kartos GPS navigacinį palydovą planuojama iškelti 2014 metais. Vėliau GPS III palydovų būrį papildys dar 8 GPS IIIB ir 16 GPS IIIC palydovai. Pranešama, kad naujieji palydovai bus kuriami gerai pasižymėjusios modifikacijos A2100 pagrindu. Trečiosios kartos GPS palydovų perduodami navigaciniai signalai bus 500 kartų galingesni. Tai leis padidinti GPS imtuvų atsparumą trukdžiams ir pagerins navigaciją šiuo metu „nepalankiose“ vietose – miestų rajonuose, kuriuose yra daug aukštų pastatų bei patalpose. GPS III palydovuose bus įdiegta UHF diapazono duomenų keitimosi sistema, leisianti praktiškai akimirksniu iš vienos antžeminės stoties atnaujinti visų orbitoje esančių GPS palydovų informacines sistemas. Bus pradėti naudoti ir nauji dažniai, sumažinsiantys jonosferos trikdžių poveikį bei pradės veikti ir specialus kryptinis karinės paskirties kanalas, kurio perduodamas didelio tikslumo „M“ signalas padės vykdyti specialios paskirties operacijas bet kurioje planetos vietoje. Pranešama, kad „civilinių“ GPS signalų tikslumas pasieks kelias dešimtis centimetrų ir prilygs palydovinių nuotraukų tikslumui.



1.13 pav. Signalų palyginimas tarp dabartinių ir būsimų.

2. MOBILIŲJŲ ĮRENGINIŲ NAVIGACINIŲ SISTEMŲ TYRIMAS

Į orbitą paleisti palydovai iš pradžių buvo naudojami tik moksliniais ir kariniais tikslais, tačiau netrukus buvo pritaikyti civiliniams poreikiams. Vienas tokių – navigacinių sistemų kūrimas. Palaipsniui tobulinant technologijas, iš daug vietos užimančių įrenginių, kuriuos buvo galima įmontuoti tik į tam pritaikytas terpes, buvo prieita prie itin mažų prietaisų, kurie tapo lengvai integruojami į automobilius, o dabar jau net ir į mobiliuosius prietaisus – delninius, nešiojamuosius kompiuterius ar mobiliuosius telefonus. Artimoje ateityje bus sukurti net specialūs akiniai, kurie tiesiogiai fokusuos vietos vaizdą ant stiklų žemėlapiu ir rodys reikiamą kryptį, poziciją, maršrutą. Konceptinius modelius Google kompanija žada išleisti 2013 metų pabaigoje.

Priklausomai nuo navigacinės sistemos ir panaudojimo poreikių, šiuo metu jų tipų yra gana įvairių tiek funkcinionalumo požiūriu, tiek tikslumo aspektu. Pagal naudotojus galima būtų skirstyti keletą klasių – skirta vairuotojams (kelionės maršrutų planavimas, atstumo, laiko, degalų sąnaudų skaičiavimas, optimalios trajektorijos parinkimas, eismo kamščių apvažiavimas ir pan.), turistams (pritaikyti maršrutų skaičiavimai keliaujant pėsčiomis, galimybės tiesiogiai artėti prie tikslo, koordinuoti pradinį ar reikiamą tašką, kurį būtų galima vėliau pasiekti – pavyzdžiui, miške, jūroje, kalnuose, dideliuose miestuose ir pan.) bei sistemos, kurios specializuotai pritaikytos tam tikram vartotojų ratui (armija, aviacija, laivininkystė, miškotvarka, kalnakasyba, žemės ūkis ir pan.).

Navigacinė sistema, galinti funkcionuoti, sudaryta iš trijų pagrindinių blokų – GPS imtuvo, navigacinio bloko bei išvesties įrenginio (ekranas arba/ir garsiakalbis). Kiekviena dalis atlieka specifines užduotis, kurių dėka vartotojas gauna galutinį norimą rezultatą.

2.1. Padėties nustatymas

GPS imtuvų pagalba padėtis apskaičiuojama pagal išmatuotus atstumus nuo matuotojo pozicijos iki palydovų. Nustatant vietą pagal kodo fazę, atstumas apskaičiuojamas išmatavus signalo sklidimo nuo palydovo iki imtuvo laiką. Radijo bangos sklinda šviesos greičiu. Taigi, padauginę GPS signalo sklidimo trukmę iš 300 000 kilometrų per sekundę, gausime atstumą nuo GPS palydovo iki imtuvo. GPS radijo signalas Žemę pasiekia maždaug per 0,06 sekundes. GPS imtuvai nustato atstumus iki trijų palydovų ir triliteracijos metodu apskaičiuoja vietą trimatėje erdvėje (platuma, ilguma ir altitudė). Išmatavus atstumus iki 4 palydovų, apskaičiuojamos pataisytos koordinatės. Nustatant vietą pagal nešančiųjų virpesių fazę, atstumą nuo palydovo iki imtuvo galima apskaičiuoti pagal bangos periodų skaičių tarp palydovo ir imtuvo.

Iki šiol dauguma GPS matavimų atlikta pagal kodo fazę. Kuriant GPS nešančiųjų virpesių fazės matavimas nebuvo numatytas.

GPS triliteracija yra Žemės taško vietos nustatymas matuojant atstumus iki 3 palydovų (2.1 pav.). Taško vietą imtuvai apskaičiuoja triliteracijos metodu pagal išmatuotus atstumus iki palydovų. Dvimatėje erdvėje taško vietai nustatyti reikia trijų atstumų. Matavimo taškas yra visų trijų apskritimų sankirtos taškas. Vienas matavimas susiaurina galimų taško vietų diapazoną iki sferos paviršiaus. Sferos, kurios centre yra palydovas, spindulys yra 12 000 km. Taškas gali būti bet kurioje šios sferos vietoje.

Antras matavimas susiaurina galimų vietų diapazoną iki sferų sankirtos linijos. Sferų sankirtos linija – apskritimas. Taškas yra kažkur šiame apskritime.

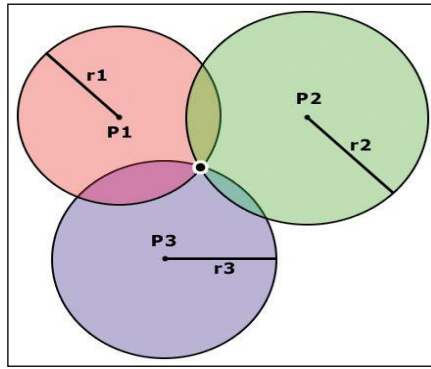
Po trečio matavimo lieka tik dvi įmanomos taško vietos.

Trys sferos susikerta tik dviejuose taškuose. Vieną iš šių taškų galima atmesti, nes jis gali būti labai toli nuo žemės. GPS imtuvu kompiuteriai įvairiais būdais gali atskirti, kuris taškas teisingas. Tačiau reikia ir ketvirto matavimo.

Ketvirto matavimo reikia sinchronizacijos poslinkiui (skirtumui tarp palydovų ir imtuvo laikrodžių) koreguoti. Reikalingas tas, kad palydovuose įrengti labai tikslūs atominiai laikrodžiai, o imtuvuose – tik tikslūs kvarciniai. Sinchronizacijos poslinkis – tai sinchronizacijos skirtumas tarp palydovo ir imtuvo laikrodžių. Atominiai laikrodžiai per brangūs dėti į GPS imtuvus, todėl skirtumą tarp atominio ir kvarcinio laikrodžių reikia kompensuoti tam tikra pataisa.

Taigi siekiant nustatyti vietą pagal kodo fazę pirmiausia būtina nustatyti GPS signalo sklaidimo trukmę ir apskaičiuoti atstumą tarp palydovo ir imtuvo. Antras žingsnis – apskaičiuoti imtuvo vietą pagal nustatytus atstumus iki 4 palydovų. Sinchronizacijos poslinkio koregavimo principas: Jei sinchronizacijos paklaidos nėra, nustatyta vieta bus apskritimu sankirtos taškas (raudonas). Idealiu atveju A ir B palydovu sinchronizacijos poslinkiai būtų, pavyzdžiui, po 1 sekundę, ir nustatyta vieta bus klaidingo spindulio (taškinė linija) apskritimų sankirtos taškas (geltonas).

Jei laikrodžiai būtų visiškai tikslūs, atlikus trečią matavimą visi trys apskritimai susikirstų teisingoje vietoje.



2.1 pav. Apskritimų susikirtimo taške nustatomas objektas

Tačiau jei laikrodžiai netikslūs, yra trys juostų tarp apskritimų sankirtos sritys, ir neaišku, kurioje iš jų yra imtuvas.

Norint nustatyti taško vietą esant sinchronizacijos poslinkiui, reikia papildomo matavimo, kad laikrodžių paklaida būtų nuolat kompensuojama. Keturiems nežinomiems apskaičiuoti nustatomi keturi parametrai:

- platuma,
- ilguma,
- altitudė,
- laikas

2.2. Navigacinių sistemų kartografinė medžiaga

Daugelį amžių kaip pirminės navigacijos priemonės buvo naudojami popieriniai žemėlapiai ir kompasas, kuris padėdavo susiorientuoti ir nustatyti judėjimo kryptį. Pradėjus naudoti dirbtinius žemės palydovus ir GPS technologijas, jie tapo pagrindu skaitmeninių žemėlapių kūrimui ir struktūrizavimui. Taip pastarieji tapo daug lengviau valdomi ir informatyvesni. Pirminis palyginimas tarp popierinių ir skaitmeninių žemėlapių pateiktas 2.1 lentelėje [30].

2.1 lentelė Popierinių ir skaitmeninių žemėlapių palyginimas

Popieriniai žemėlapiai	Skaitmeniniai žemėlapiai
Vienas mastelis	Keičiamas mastelis su pritraukimo/atitolinimo funkcija
Orientuotas pagal Šiaurę	Keičiama orientavimo kryptis
Viena projekcija	Keičiamos projekcijos
Viena koordinatų sistema	Keičiama koordinatų sistema
Vienos rūšies matavimo vienetai	Keičiami matavimo vienetai
Išlaikomos vienos rūšies spalvos	Keičiamos spalvos
Sudėtingas redagavimas	Paprastas redagavimas
Matavimai neįmanomi be pagalbinių priemonių	Automatinis braižymas, žymėjimas, skaičiavimas ir pan.

Geodeziniu požiūriu vieta dažniausiai apibrėžiama įvairių sistemų koordinatėmis. Civiliniams poreikiams pritaikytų navigacinių sistemų pagrindinė paskirtis yra sudaryti maršruto trajektoriją tarp pasirinktų taškų A ir B bei koordinuoti judėjimą nurodant judėjimo kryptis. Šiam tikslui įgyvendinti vien GPS imtuvais nustatomos padėties neužtenka - reikia tvirtos kartografinių duomenų bazės, kuria remiantis sudaromas kelionės planas.

Geoinformacinės sistemos kartografinis pagrindas dažniausiai yra vieno ar kito mastelio skaitmeninis žemėlapis. Skaitmeninio žemėlapio sudarymo darbų kompleksas priklauso nuo žemėlapio turinio, formavimo technologijos, kartografinių ir kitų šaltinių, naudojamų žemėlapiui konstruoti, ypatybių. Skaitmeninio žemėlapio sudarymo procesas apima šiuos etapus:

- 1) matematinio pagrindo paruošimas,
- 2) kartografinių ir kitų duomenų šaltinių parengimas ir apdorojimas,
- 3) duomenų kaupimas,
- 4) visų žemėlapio turinio elementų suformavimas,
- 5) atliktų darbų kontrolė (redagavimas, korektūra). [24]



2.2 pav. TomTom navigacijos žemėlapis

Navigacinėje sistemoje kiekvienas žemėlapis turi būti papildytas duomenų baze, kurioje talpinami geometriniai (linijos, taškai, plotai) ir atributiniai duomenys, kur kaupiami išsamūs įrašai apie kiekvieną objektą, pavyzdžiui informacija apie kelią – dangą (asfaltas, žvyrkelis), judėjimo kryptis (vienpusis, dvipusis), greitis ir kita. Navigacinės sistemos duomenų bazėje kaupiami atributiniai duomenys pavaizduoti 2.3 pav.



2.3 pav. Duomenų bazėje kaupiami atributiniai duomenys

Navigacinės sistemos programinės įrangos objektų paieškos sistema veikia pagal šiuos bazinius uždavinius:

- Geokodavimas – geografinių koordinatų nustatymas pagal adresą (pagal gatvę ir namo numerį, pagal gatvių susikirtimą, pagal pastato pavadinimą, pagal vietovardį ir pan.).
- Atvirkštinis geokodavimas – (adreso, objekto arba vietovės pavadinimo nustatymas pagal koordinates).
- Artimiausių objektų paieška – šio uždavinio rezultatas suteikia informaciją apie dominančius objektus (pvz., viešbučius, degalines ir pan.), kurie yra netoli vartotojo buvimo vietos. Teikiant šias paslaugas dažniausiai naudojamos įvairios atributiniais duomenimis.
- Maršrutų paieška – uždavinys, skirtas rasti optimalų maršrutą tarp dviejų arba daugiau taškų. Maršrutas pavaizduojamas žemėlapyje, taip pat pateikiamos judėjimo instrukcijos „nuo posūkio iki posūkio“. Šios instrukcijos gali būti pateiktos tekstu arba balsu. Maršruto planavimo kriterijus gali būti trumpiausias ar greičiausias kelias, atsižvelgiant į kintančias eismo sąlygas ir pan.
- Pateiktis (kartografinis vizualizavimas) – uždavinys, skirtas iš skirtingo formato žemėlapių duomenų (vektorinių arba rastrinių) operatyviai generuoti žemėlapius, kuriuos galima pateikti tam

tikrais skirtingų ekrano charakteristikų įrenginiais. Žemėlapis sudaromas pagal užsiduotus parametrus (teritorija, žemėlapio dydis, mastelis, rezoliucija, formatas, stilius, sluoksniai ir kt.).

• Mobiliojo įrenginio vietos nustatymas – kartografinio vizualizavimo paslaugai realizuoti taikomi mobiliosios kartografijos metodai. Mobiliojo įrenginio vietos nustatymo paslauga leidžia sužinoti registruotų mobiliųjų įrenginių geografinę vietą, kuria remiantis atliekami aukščiau minėti uždaviniai.

2.3. Navigacinių sistemų naudojami algoritmai

Mobiliųjų įrenginių su navigacinėmis sistemomis paskirtis yra ne tik vartotojo vietos nustatymas, bet ir reikiamo maršruto, pagal pasirinktus įvairius galimus parametrus, tokius kaip keliavimo priemonė, greičiausia, trumpiausia trajektorija ar kelias pagal tam tikrus kriterijus (greitkelis, asfaltuotas kelias ir pan.), nustatymas. Maršruto skaičiavimas yra programinės įrangos komponentas navigacinėje sistemoje, kuri nustato reikiamą trajektoriją tarp surastų žemėlapyje ar sistemos duomenų bazėje esančių vietų. Šiai funkcijai užtikrinti kiekvienos navigacijos programinės įrangos kūrėjas sprendžia topologinius uždavinius, panaudodamas tam skirtus įvairius algoritmus, kurių didžioji dalis yra pagrįsti trimis pagrindiniais: *Dijkstra* trumpiausias kelias, *BFS* ir *A-star* (*A**) maršruto skaičiavimui, bei papildomi algoritmai, kurie naudojami tam, kad ieškotų vietos ar tam, kad verstų žemėlapio kelius (Bezier kreivės) [12, 13, 24]. Topologija yra graikiškos kilmės sudurtinis žodis (*topos* – vieta, *logos* - mokslas) žodis. Tai matematikos šaka, tirianti bendriausias geometrinių figūrų savybes, kurios nesusijusios su jų ilgiais, kampais, plotais ir kt. fiziniais dydžiais bei nekinta, darant bet kurias figūrų transformacijas (tampant, maigant, bet neplėšiant ir neklijuojant). Figūrų savybės, skaičiai, grupės ir kt. su figūromis susiję matematikos objektai, kurie išlieka darant tokias transformacijas, yra topologiniai. Dvi figūros topologiškai nesiskiria, jei vieną jų šiais būdais paverčiame kita. Pvz., rutulys, elipsoidas ir bet kuris kitas iškilusis daugiasienis yra topologiškai vienodos figūros. Vadinasi, objektų struktūrų topologija apima tik egzistavimo ir ryšių savybes, atmesdama bet kokias kitas savybes. Ryšiai tarp objektų struktūrinių elementų aprašomi topologiniais grafais ir formalizuojami grafų teorijos metodais. Grafų teorija taiko algebros, matricų teorijos, kombinatorinės analizės topologijos, grupių teorijos bei predikatų skaičiavimo metodus [24].

Dažnai vartotojas ieško trumpiausio galimo maršruto tarp taškų A ir B. Tam sprendžiamas topologinis uždavinys iš grafų teorijos, skirtas trumpiausiam kamieniniam medžiui rasti. Naudojama duomenų bazėje esanti informacija ir sudaromas orientuotas grafas, o pagal pasirinktus kriterijus apskaičiuojama trajektorija. Efektyviausią trumpiausio kelio suradimas tarp dviejų

viršūnių pasiūlė E. W. Dijkstra [24]. Algoritmas, kuris skirtas trumpiausio kelio suradimui tarp dviejų pasirinktų viršūnių pateiktas toliau:

Iėjimas. Orgrafas $G = (V, E)$, pradinė viršūnė u , baigtinė viršūnė t .

Išėjimas. Trumpiausias kelias tarp viršūnių.

1 žingsnis. $p := u$; $SV(u) := 0$; SV – viršūnių žymių paskirstymas.

2 žingsnis. $\forall vi \in V \setminus u \text{ } SV(vi) := \infty$ – šias žymes laikyti laikinomis.

3 žingsnis. $\forall vi \in R(p)$, kurių žymės laikinos, pakeisti į žymes pagal

taisyklę: $l(vi) \leftarrow \min [l(vi), l(p) + e(p, xi)]$ – briaunų, einančių nuo vi iki aplinkos viršūnių.

4 žingsnis. Tarp visų viršūnių su laikinomis žymėmis surasti tokią, kurios $l(v^*i) = \min [l(vi)]$.

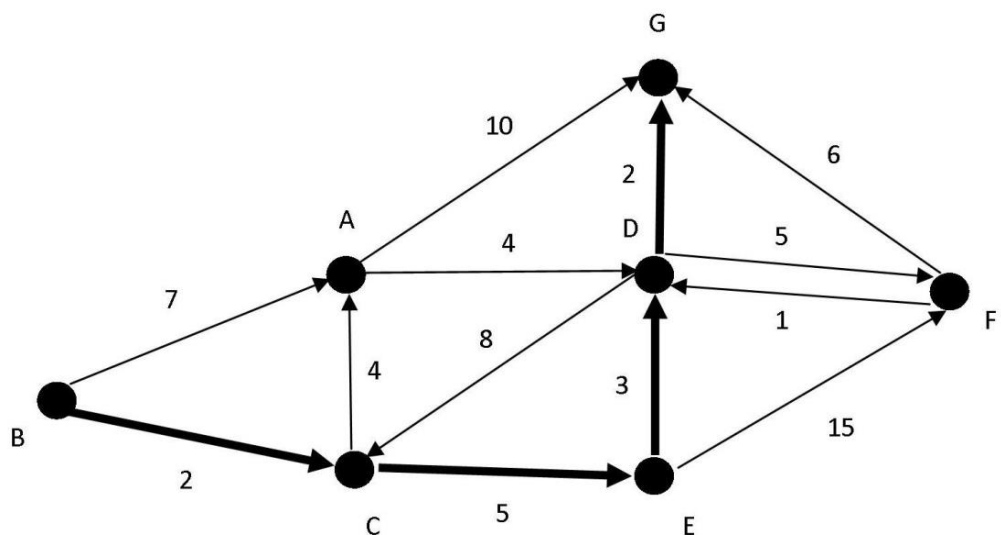
5 žingsnis. Laikyti viršūnės x^*i žymę galutine ir $p := x^*i$

6 žingsnis. Jei $p \neq t$, pereiti į 2 žingsnį.

7 žingsnis. Antraip $l(p)$ yra trumpiausio kelio ilgis.

8 žingsnis. Pabaiga.

2.4 pav. yra pavaizduotas orgrafas su briaunų reikšmėmis, o 2.2 lentelėje algoritmo darbo procesas, ieškant trumpiausio kelio iš viršūnės B į viršūnę G.

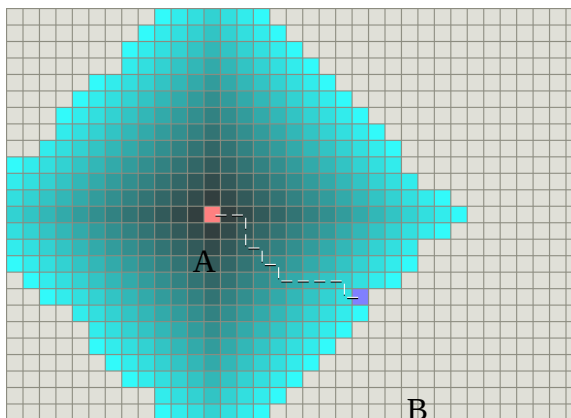


2.4 pav. Orgrafas su briaunų reikšmėmis

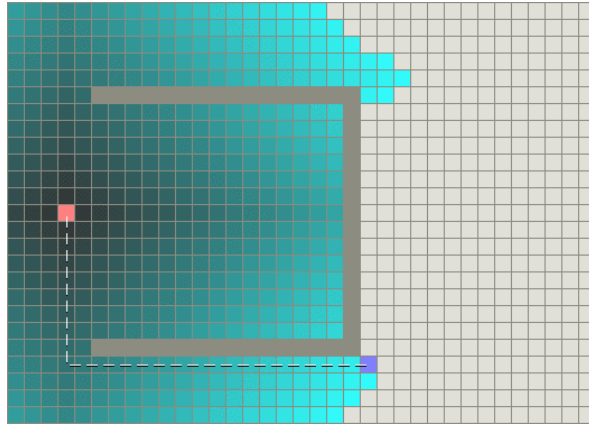
2.2 lentelė. Trumpiausio kelio suradimo tarp dviejų pasirinktų viršūnių algoritmo darbo procesas.

Darbo etapai	Viršūnės							Pastabos
	a	b	c	d	e	f	g	
1	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	Pradinės viršūnės žymė galutinė. Pažymimos viršūnės iš B aplinkos jas jungiančių stygų kainomis. Mažiausia viršūnės c žymė tampa galutine.
2	7	0	2	∞	∞	∞	∞	
3	7	0	2	∞	∞	∞	∞	
4	6	0	2	∞	7	∞	∞	
5	6	0	2	∞	7	∞	∞	
6	6	0	2	10	7	∞	16	
7	6	0	2	10	7	∞	16	
8	6	0	2	10	7	14	16	
9	6	0	2	10	7	14	16	
10	6	0	2	10	7	14	12	
11	6	0	2	10	7	14	12	

Dijkstra algoritmas dirba, lankydamas viršūnes grafe, prasidedančiame nuo objekto pradinio taško. Tada pakartotinai nagrinėja artimiausią dar nenagrinėtą viršūnę, pridėdant jos viršūnes į viršūnių komplektą, kurios bus nagrinėtos, bei plečiasi iš išorės nuo pradinio taško, kol tai nesiekia tikslo. Garantuojama, kad *Dijkstra* algoritmas suras trumpiausią kelią nuo pradinio taško į tikslą, iki tol, kol niekas iš kraštų neturi neigiamos reikšmės. Svarstykime įgaubtą kliūtį kaip apibūdintas antrame pav. *Dijkstra* algoritmas dirba sunkiau, bet garantuojama, kad suras trumpiausią kelią [12]. 2.5 ir 2.6 paveiksluose pavaizduotas *Dijkstra* algoritmo veikimo principas: pradinis taškas – A, galutinis tikslas – B, žalsvai mėlyna spalva pažymėti langeliai - algoritmo skanuota teritorija.

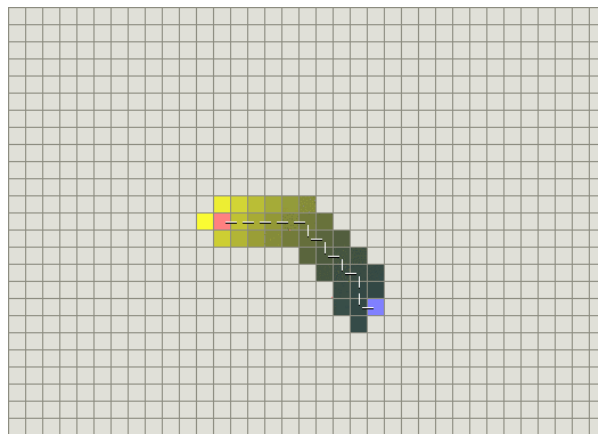


2.5 pav. *Dijkstra* algoritmo veikimo principas: trumpiausio kelio paieška

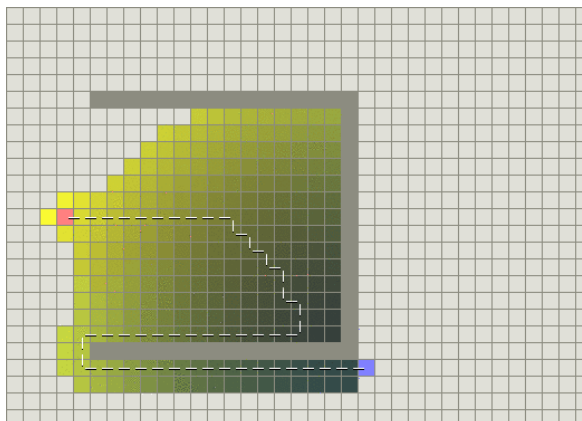


2.6 pav. *Dijkstra* algoritmo veikimo principas: trumpiausio kelio paieška su įgaubta kliūtimi.

Algoritmas, vadinamas geriausia pirma paieška (*angl.* Best-first search, toliau – *BFS*), dirba panašiai, kaip ir anksčiau minėtas Dijkstros algoritmas, išskyrus tai, kad turi apytikrį apskaičiavimą, vadinamą euristiniu, kaip toli nuo tikslo yra bet kuri viršūnė. Vietoje to, kad sistema rinktų viršūnę, esančią artimiausią pradiniam taškui, ieško viršūnės, artimiausios tikslui. Nėra garantuojama, kad *BFS* suras trumpiausią kelią, tačiau, tai daug greitesnis negu *Dijkstra* algoritmas todėl, kad naudojama euristinė funkcija, kuri ieško kelio į tikslą labai skubiai ir neišplisdama (2.7 pav.). Jei svarstytume atvejį su įgaubta kliūtimi, galime pastebėti, kad darbo krūvis yra žemesnis, kaip ankstesnio algoritmo, bet surastas kelias nėra trumpiausias (2.8 pav.) [12].

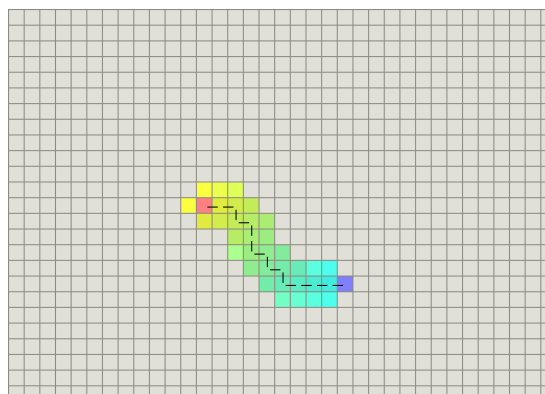


2.7 pav. *BFS* veikimo principas: kelio paieška

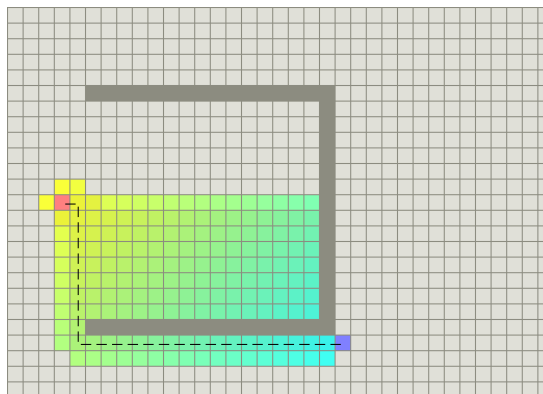


2.8 pav. *BFS* veikimo principas: kelio paieška su įgaubta kliūtimi

A-star algoritmas yra pirmų dviejų junginys grafo ieškantis algoritmas, kuris gali potencialiai ieškoti judėjimo trajektorijos dideliame žemėlapių rajone. Tai panašėja į *Dijkstra* algoritmą, kuriame tai gali būti panaudojama, kad surastų trumpiausią kelią. Taip pat naudojama metodika panaši į *BFS*, kuriame galima panaudoti apytikrų skaičiavimą, kad vestų link reikiamo tikslo neišplisdamas. Paprastu atveju, tai yra tokiu pat greičiu kaip ir *BFS*. *Dijkstra* algoritmo naudojimas (pritariantis viršūnėms, kurios yra šalia pradinio taško) ir informacija, kad *BFS* naudojimas (pritariantis viršūnėms, kurios yra šalia tikslo) yra kombinuojama ir užtikrina gerus rezultatus. *A-star*, $g(n)$ atstovauja kainai kelio nuo pradinio taško į bet kokią viršūnę n , ir $h(n)$ atstovauja euristinei apskaičiuotai kainai nuo viršūnės n į tikslą. Anksčiau minėtose diagramose, geltona spalva pažymėti langeliai (h) atstovauja viršūnėms, tolimoms nuo tikslo, ir žalsvai mėlyna pažymėti (g) atstovauja viršūnėms, tolimoms nuo pradinio taško. *A-star* išlygina abu, kadangi jis juda nuo pradinio taško į tikslą kiekvieną kartą per svarbiausią kilpą (2.9 ir 2.10 pav.) [12].



2.9 pav. *A-star* veikimo principas: kelio paieška



2.10 pav. A-star veikimo principas: įgaubtos kliūtys apėjimas

Šie algoritmai veikia gerai tada, kai tam yra paruošta tinkama žemėlapių duomenų bazė. Kelių tinklas turi būti apibūdintas kaip komplektas susijusių sąsajų, ir, kiekvienai sąsajai turi būti priskirta kaina, kad sistema galėtų funkcionuoti. Šiais algoritmais paremti visi kiti šoniniai, kurie reikalingi papildant maršruto paiešką pagal pasirinktus kriterijus – tai yra pridedant arba atmetant tam tikrus objektus.

2.4. Automatiškai besikeičiančio žemėlapių mastelio reikšmė

Navigacinės sistemos ypač plačiai naudojamos vairuotojų tarpe, kai važiuojama nežinomais maršrutais siekiant nuvykti iš taško A į tašką B. Netinkamas žemėlapių vaizdas ir pateikiama informacija gali lemti nelaimingus atsitikimus, jeigu mobiliojo įrenginio vartotojas turi ilgai analizuoti gaunamą vaizdą bei nuorodas įrenginio ekrane. Laikas, kurį vairuotojas gali skirti ekrano vaizdo stebėjimui turi užtrukti mažiau nei dvi sekundes, kad būtų išvengta incidentų [1]. Žemėlapiai, kurie yra naudojami šiuolaikinėse automobilių navigacinėse sistemose yra dažnai paremti popieriniais stambaus mastelio žemėlapiais ir turi panašų vizualinį sudėtingumą [2], todėl būtina sąlyga programinės įrangos kūrėjams yra ta, kad vaizdas, perduodamas į navigacinio įrenginio ekraną, būtų lengvai suprantamas ir greitai įsisavinamas.

Važiuojant transporto priemone, vairuotojas yra supamas dinamiškos aplinkos – nuolat besikeičiantis vaizdas, objektai ir greitis. Vartotojo poreikiai apie gaunamą informaciją yra skirtingi. Pavyzdžiui, važiuojant greitkelio vaizdas turėtų būti smulkesnio mastelio, lyginant su didmiesčio centre dalimi, kur dažniausiai yra daug įvairių posūkių, gatvių ir kitų sudėtingų kelio atkarpų, taip pat reikalinga greita orientacija ir tikslus navigavimas. Tokia pat situacija yra ir apie gaunamą papildomą informaciją. Vairuotojui sustojus, jo poreikiai informacijai dažniausiai padidėja, domina tai, kas yra aplinkui (parduotuvės, maitinimo įstaigos, prekybos centrai ir pan.). 2.11 ir 2.12 pav. pateikti pavyzdžiai – smulkaus ir stambaus mastelio žemėlapiai, kai judėjimo greitis atitinkamai 32 km/h ir 130km/h.



2.11 pav. Smulkaus mastelio žemėlapis (judėjimo greitis 32 km/h)



2.12 pav. Stambaus mastelio žemėlapis (judėjimo greitis 130 km/h)

Šiai problemai spręsti yra taikomi automatizuoti programinės įrangos sprendimai. Pagrindiniai parametrai, kuriais remiantis turi būti nustatytas žemėlapių mastelis ir suteikiama informacija yra judėjimo greitis ir ekrano dydis. Remiantis [3] funkcija, kuri nustato vaizdą įrenginio ekrane yra pateikta toliau (2.1) ir naudojama navigacinėse sistemose:

$$s=S(v,l) \quad (2.1)$$

kur v – judėjimo greitis; l – ekrano dydis;

Priklausomybė nuo greičio išreiškiama (2.2):

$$v_i < v_j \Rightarrow S(v_i) > S(v_j) \quad (2.2)$$

kur v_i, v_j – judėjimo greitis laiko momentais i ir j ; $S(v_i)$ ir $S(v_j)$ – žemėlapių mastelis laiko momentais i ir j ;

2.5. Koordinačių transformavimas iš WGS-84 į LKS-94 koordinačių sistemą

Elipsoidinių koordinačių perskaičiavimui į LKS-94 sistemos plokštumines koordinates naudojamos formulės 2.3-2.18 [22].

Pradiniai duomenys. B – geodezinė platumą, L – geodezinė platumą, a – didžioji elipsoido pusašė, f – elipsoido paplokštumas.

Rezultatai. Plokštuminės koordinatės x ir y LKS-94 koordinatinių sistemoje.

Skaičiavimo formulės:

$$x = \{0\}_X + \{2\}_X \cdot \Delta L^2 + \{4\}_X \cdot \Delta L^4 + \{6\}_X \cdot \Delta L^6, \quad (2.6.1)$$

$$y = \{1\}_Y \cdot \Delta L + \{3\}_Y \cdot \Delta L^3 + \{5\}_Y \cdot \Delta L^5, \quad (2.6.2)$$

$$x \equiv x \text{ (LKS 94)}, N = x \text{ (UTM)},$$

$$y = y + 500000 \text{ m (LKS 94)}, E = y + 500000 \text{ m (UTM)},$$

$$Zona = \frac{L_H + 3^\circ}{6^\circ} + 30 \text{ (UTM)}, \quad (2.6.3)$$

$$\Delta L = L - L_H, \quad (2.6.4)$$

L_H – ašinis dienovidinis, m_H – mastelis ties ašiniu dienovidiniu,

$$e'^2 = (2f - f^2) / ((1 - f)^2) \quad (2.6.5)$$

$$c = a \sqrt{1 + e'^2} \quad (2.3)$$

$$t = \tan B \quad (2.4)$$

$$\eta^2 = e'^2 \cdot \cos^2 B \quad (2.5)$$

$$\bar{N} = \frac{c}{\sqrt{1 + \eta^2}} \quad (2.6)$$

$$G = E_0 \cdot B + E_2 \cdot \sin(2B) + E_4 \cdot \sin(4B) + E_6 \cdot \sin(6B), \quad (2.7)$$

$$E_0 = \frac{c}{\rho} \cdot \left(1 - \frac{3}{4} \cdot e'^2 + \frac{45}{64} \cdot e'^4 - \frac{175}{256} \cdot e'^6 + \frac{11025}{16384} \cdot e'^8 \right), \quad (2.8)$$

$$E_2 = c \cdot \left(-\frac{3}{8} \cdot e'^2 + \frac{15}{32} \cdot e'^4 - \frac{525}{1024} \cdot e'^6 + \frac{2205}{4096} \cdot e'^8 \right), \quad (2.9)$$

$$E_4 = c \cdot \left(\frac{15}{256} \cdot e'^4 - \frac{105}{1024} \cdot e'^6 + \frac{2205}{16384} \cdot e'^8 \right), \quad (2.10)$$

$$E_6 = c \cdot \left(-\frac{35}{3072} \cdot e'^6 + \frac{315}{12288} \cdot e'^8 \right) \quad (2.11)$$

$$\{0\}_X = m_H \cdot G \quad (2.12)$$

$$\{2\}_X = \frac{m_H}{2 \cdot \rho^2} \cdot \bar{N} \cdot \cos^2 B \cdot t \quad (2.13)$$

$$\{4\}_X = \frac{m_H}{24 \cdot \rho^4} \cdot \bar{N} \cdot \cos^4 B \cdot t (5 - t^2 + 9 \cdot \eta^2) \quad (2.14)$$

$$\{6\}_X = \frac{m_H}{720 \cdot \rho^6} \cdot \bar{N} \cdot \cos^6 B \cdot t (61 - 58 \cdot t^2 + t^4) \quad (2.15)$$

$$\{1\}_Y = \frac{m_H}{\rho} \cdot \bar{N} \cdot \cos B \quad (2.16)$$

$$\{3\}_Y = \frac{m_H}{6 \cdot \rho^3} \cdot \bar{N} \cdot \cos^3 B \cdot (1 - t^2 + \eta^2) \quad (2.17)$$

$$\{5\}_Y = \frac{m_H}{120 \cdot \rho^5} \cdot \bar{N} \cdot \cos^5 B \cdot \{5 - 18 \cdot t^2 + t^4 + \eta^2 \cdot (14 - 58 \cdot t^2)\}; \quad (2.18)$$

2.6. Išmatuotų dydžių tikslumo įvertinimo metodika

Pradiniai duomenys yra plokštuminės koordinatės gautos matuojant skirtingo tikslumo prietaisais – tiksliuoju GPS imtuvu ir įvairiais mobiliais įrenginiais su navigacinėmis sistemomis. Tikslumo įvertinimas atliekamas naudojantis formulėmis 2.19 – 2.22 [26], kurios pateikiamos toliau.

1. Skaičiuojamos išmatuotų dydžių tinkamiausios reikšmės (2.19 formulė):

$$\bar{X}_i = \frac{X'_i + X''_i}{2}; \quad (2.19)$$

2. Skaičiuojami dvigubų matavimų skirtumai (2.20 formulė):

$$\varepsilon_i = X'_i - X''_i; \quad (2.20)$$

3. Skaičiuojama rezultato, kurio svoris lygus vienetui, vidutinė kvadratinė paklaida (2.21 formulė):

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n p_i \varepsilon_i^2}{2n}}; \quad (2.21)$$

4. Skaičiuojamos išmatuotų dydžių X tinkamiausių reikšmių (vidurkių) vidutinės kvadratinės paklaidos (2.22 formulė):

$$m_{\bar{X}_i} = \frac{m_0}{\sqrt{2p_i}}; \quad (2.22)$$

3. EKSPERIMENTAI SU MOBILIŲJŲ ĮRENGINIŲ NAVIGACINIŲ SISTEMŲ PRIETAISAI

Navigacinių sistemų gamintojai konkuruoja tarpusavyje kurdami produktą, kuris, veikimo principu yra vienodas, tačiau galimybėmis ir atliekamomis funkcijomis yra skirtingas. Pasirinktos mobiliuosiuose įrenginiuose esančios sistemos – *Nokia Navigation*, *TomTom*, *Garmin* – skiriasi naudojimosi meniu, atliekamomis funkcijomis ir galimybėmis. Eksperimentų kriterijais pasirinkau šiuos parametrus:

- Vidutinis palydovų aptikimo laikas
- Funkcijų palyginimas
- Vidutinis maršruto apskaičiavimo laikas
- Kartografinė medžiaga
- Tikslumo analizė

3.1. Mobiliųjų įrenginių navigacinių sistemų funkcijų palyginimas

Naujesnės kartos *Nokia* mobiliuose telefonuose integruojami *A-GPS* imtuvai ir diegiama navigacinė sistema *Nokia Navigation*. Pagrindinės Meniu funkcijos (3.1 pav.): „Mano padėtis“ – žemėlapyje pažymėta esama pozicija WGS-84 koordinatų sistemoje, „Ieškoti vietų“ – galima lankyti vietų ir reikiamų paslaugų paieška, „Važiuoti“ – planuojamas maršrutas automobiliu arba „Eiti“ – trajektorija skaičiuojama keliaujant pėsčiomis. Naudojant internetą galima gauti informaciją apie orus bei eismo sąlygas.



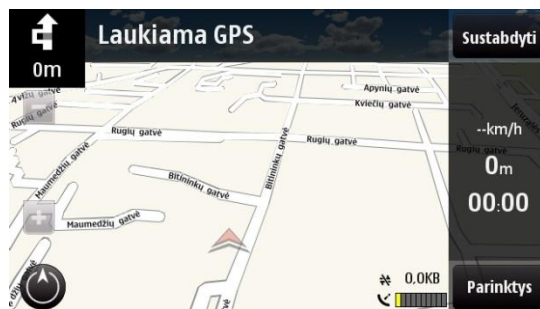
3.1 pav. *Nokia Navigation* pagrindinis meniu

Gamintojas nuolat atnaujina žemėlapius, kuriuos galima nemokamai atsisiųsti ir naudoti. Kartografinė medžiaga pakankamai detali. Pasirinkus funkciją „Rodyti išsamią informaciją“ pateikiami duomenys: Gatvės pav. arba kelio nr., pašto kodas, miestas/rajonas, šalies pavadinimas bei elipsoidinės koordinatės. Surinkta įvairių objektų informacija taip pat pakankamai išsami, galima paieška pagal kategorijas – „Automobilių pramonė“, „Transportas“, „Įžymybės ir muziejai“, „Restoranas“, „Laisvalaikis ir pramogos“, „Viešbutis“, „Prekyvietė“, „Verslas ir paslaugos“, „Laisvalaikis ir gamta“ (3.2 pav.).



3.2 pav. Objektų paieška pagal kategorijas

Duomenų bazėje sukaupta informacija leidžia planuoti maršrutus, pasirenkant šiuos kriterijus: Maršruto pasirinkimas (Greitesnis/Optimalus/Trumpiausias), Greitkelis (Taip/Ne), Tunelis (Taip/Ne), Keltas (Taip/Ne), Mokamas kelias (Taip/Ne), Neasfaltuoti keliai (Taip/Ne), Traukinių keltas (Taip/Ne). 3.3 paveiksle matomas navigacijos režimu veikianti programa.



3.3 pav. Nokia Navigation važiavimo režime

Nokia 5230 modelyje įmontuotas A-GPS imtuvas poziciją apskaičiuoja vidutiniškai per 3 minutes naudojant tik GPS palydovų duomenis arba per keletą sekundžių jei pasitelkiama A-GPS technologija. TTFF priklauso nuo vietovės, jos užstatymo, palydovų išsidėstymo. Navigacinėje sistemoje įrengtas palydovų indikatorius, kuris rodo ryšį su jais.

Maršruto apskaičiavimo laikas priklauso nuo jo sudėtingumo ir užsiduotų parametrų bei mobilaus įrenginio sistemos parametrų. Tyrimo metu buvo pasirinkti atsitiktiniai maršrutai ir gauti rezultatai pateikti lentelėje 3.1.

3.1 lentelė. Nokia Navigation maršruto skaičiavimo laikas

Kelionės pradžia	Kelionės pabaiga	Atstumas	Laikas	Vidurkis
Bitininkų g. 1c, Vilnius	Saulėtekio al. 11, Vilnius, LT	7.9 km	1,2s	1,2 s
	Katedros aikštė, Vilnius, LT	8.1 km	1,2s	
	Vilniaus oro uostas, Vilnius, LT	14.2 km	1,3s	
	Kaunas, LT	107 km (12 įrašų)	3,5 s	2,7 s
	Panevėžys, LT	135 km (3 įrašai)	2,4 s	
	Ignalina, LT	116 km (11 įrašų)	2,3 s	
	Krokuva, PL	817 km (32 įrašai)	12 s	12 s
	Talinas, EST	612 km (18 įrašų)	10 s	
	Poznanė, PL	814 km (40 įrašų)	14 s	

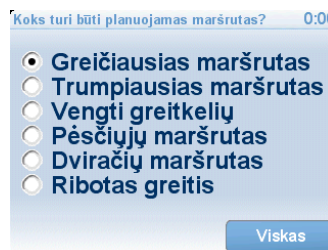
Populiari navigacinė sistema TomTom gali būti naudojama tiek mobiliuose telefonuose, tiek delniniuose kompiuteriuose. Šiame darbe nagrinėjama įranga – delniniame kompiuteryje HP IPAQ rx5720 TomTom 7.450 versija su integruotu SirfStar III GSC3F GPS imtuvu. Minėta navigacinė sistema atlieka pagrindines tokio tipo programinės įrangos funkcijas:

- Maršruto planavimas nuo esamos vartotojo pozicijos į tikslą, kuris gali būti surastas pagal elipsoidines koordinates, taško adresą arba iš lankytinų vietų sąrašo bei žemėlapiu (3.4 pav.).



3.4 pav. TomTom maršruto planavimas

- Maršruto planavimo parametrų keitimas. Pagal navigacinės sistemos duomenų bazės duomenis galima apskaičiuoti greičiausią, trumpiausią ar kitokius apribojimus turinčias judėjimo trajektorijas (3.5 pav.)



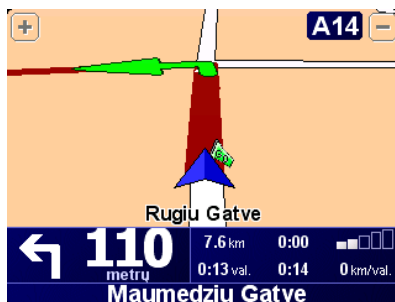
3.5 pav. TomTom maršruto planavimo parametrai

- Įvairių parametrų nustatymas, kurie užtikrina patogų naudojimą. Galimybė keisti žemėlapių spalvas (dienos/nakties režimas), kairiarankiams arba dešiniarankiams pritaikytas valdymas, automatinio didinimo/mažinimo funkcija, vienetų nustatymai bei kiti naudingi pasirinkimai (3.6 pav.)



3.6 pav. TomTom įvairių parametrų nustatymas

- Patogus sistemos navigavimas siekiant pasirinkto maršruto taško. Ekrane pateikiama informacija apie atvykimo ir likusį laiką, atstumą, greitį ir pasirinktus kitus parametrus. Judėjimo kontroliavimas atliekamas aiškiomis nuorodomis bei garsiniu gidu (3.7 pav.):



3.7 pav. TomTom navigacijos langas

- Lengvai pasiekiamo informacija apie GPS palydovus ir elipsoidines koordinates (3.8 pav).



3.8 pav. TomTom informacija apie palydovus ir pozicija

Atsitiktinai buvo pasirinkti 9 kelionės maršrutai (trumpas – iki 15km, vidutinis – iki 133km ir ilgas – iki 817km) ir išmatuoti apskaičiavimo laikai, kurių rezultatai pateikiami 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Maršrutų skaičiavimas (TomTom rezultatai)

Kelionės pradžia	Kelionės pabaiga	Atstumas	Laikas	Vidurkis
Bitininkų g. 1c, Vilnius	Saulėtekio al. 11, Vilnius, LT	7.8 km	1,4s	1,53s
	Katedros aikštė, Vilnius, LT	8.2 km	1,8s	
	Vilniaus oro uostas, Vilnius, LT	14,3 km	1,4s	
	Kaunas, LT	107 km (12 įrašų)	4,3 s	2,7 s
	Panevėžys, LT	133 km (3 įrašai)	2,5 s	
	Ignalina, LT	114 km (11 įrašų)	1,4 s	
	Krokuva, PL	817 km (32 įrašai)	37 s	25,3 s
	Talinas, EST	601 km (18 įrašų)	9 s	
	Poznanė, PL	809 km (40 įrašų)	30 s	

Garmin – pasaulinė kompanija, pradėjusi nuo kariniams tikslams skirtų navigacinių sistemų kūrimo, o dabar yra viena lyderių gaminant civiliniams poreikiams pritaikytus pozicionavimo įrenginius. Šiame darbe tiriama sistema – Garmin Nuvi1490. Meniu ir žemėlapių vaizdas labai stilizuotas, kiekvienos paskirties objektas turi savo ryškius simbolius (3.9 pav.).

Maršrutai pasirenkami kelionei pėsčiomis arba automobiliu. Kelionės tikslą galima pasirinkti įvedus tikslų adresą, išsirinkti iš lankytinų vietų sąrašo, pasirinkti tašką žemėlapyje ar suvedus elipsoidines koordinates. Kartografinė medžiaga skiriasi nuo kitų tuo, kad yra *TOPO* žemėlapis ir galima gauti papildomą elipsoidinio aukščio informaciją Baltijos aukščių sistemoje. Duomenų bazė nuolat atnaujinama, naudojantis internetu galima gauti papildomą informaciją apie eismo sąlygas.



3.9 pav. *Garmin Nuvi1490* vaizdas

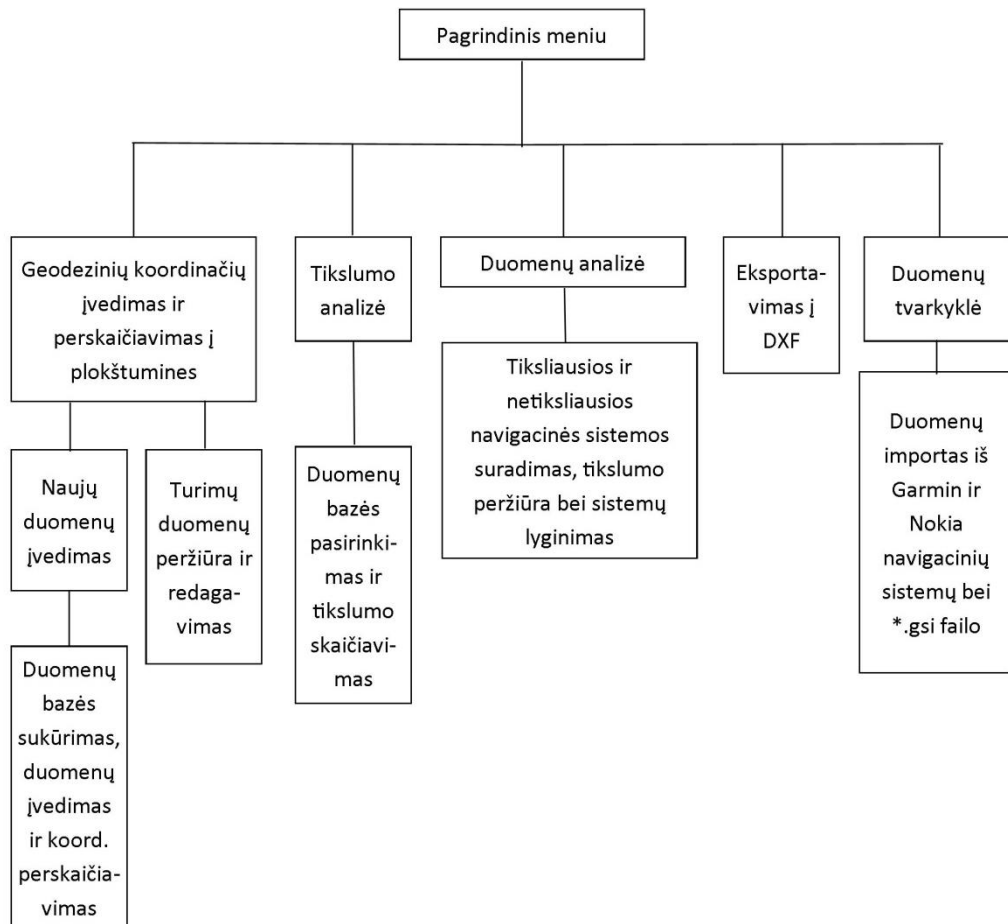
Maršrutų planavimo rezultatai pateikiami 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Maršrutų skaičiavimas (*Garmin Nuvi* rezultatai)

Kelionės pradžia	Kelionės pabaiga	Atstumas	Laikas	Vidurkis
Bitininkų g. – Rugių g. sankryža, Vilnius	Saulėtekio al. 11, Vilnius, LT	8.9 km	2,1 s	2s
	Katedros aikštė, Vilnius, LT	8.3 km	1,8 s	
	Vilniaus oro uostas, Vilnius, LT	15 km	2,0 s	
	Kaunas, LT	105 km	5,0 s	4,3s
	Panevėžys, LT	133 km (3 įrašai)	4,6 s	
	Ignalina, LT	114 km (11 įrašų)	3,2 s	
	Krokuva, PL	817 km (32 įrašai)	5,8 s	6,5 s
	Talinas, EST	626 km (18 įrašų)	6,2 s	
	Poznanė, PL	986 km (40 įrašų)	7,5 s	

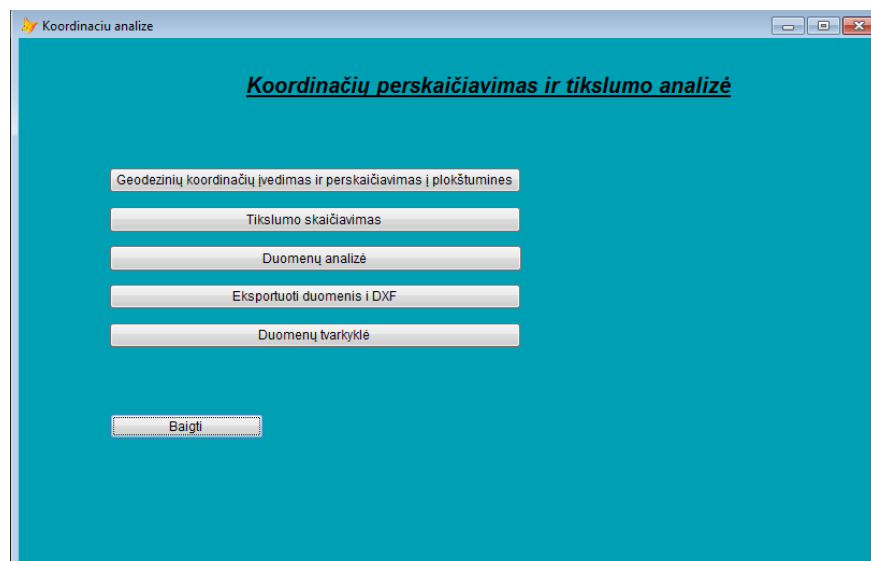
3.2. Programa *Koordanalize*

Duomenų bazių valdymo sistema „FoxPro“ sukurta programa *Koordanalize* skirta elipsoidinių koordinačių perskaičiavimui į stačiakampes, apskaičiuoti nuokrypius nuo tikrųjų koordinačių, įvertinti tikslumą iš dvigubų matavimų, atlikti palyginamąją kelių navigacinių sistemų analizę. Ši programa pritaikyta duomenų importui iš *Nokia Navigation* ir *Garmin* navigacinių sistemų bei tikslaus GPS imtuvo *.gsi formato failo. Programos medis pavaizduotas 3.10 paveiksle.



3.10 pav. Programos *Koordanalize* medis

Pradiniame lange (3.11 pav.) reikia pasirinkti norimą veiksmą – ranka įvesti duomenis, sukurti duomenų bazę bei atlikti geodezinių koordinatijų perskaičiavimą į plokštumines, skaičiuoti navigacinės sistemos tikslumą, atlikti duomenų analizę, eksportuoti duomenis į DXF formatą ar atlikti duomenų importą iš navigacinių prietaisų.



3.11 pav. Programos *Koordanalize* pradinis langas

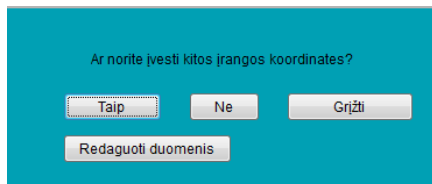
Pasirinkus „Geodezinių koordinačių įvedimas ir perskaičiavimas“ įvedamas duomenų bazės ir navigacinės sistemos pavadinimai (3.12 pav.) arba naudojami esami duomenys peržiūrai ar redagavimui.

3.12 pav. Programos *Koordanalize* langas „Elipsoidinių koordinačių įvedimas ranka“ langas

Sukurtoje duomenų bazėje (DB) įrašomos ir saugomos navigacinėmis sistemomis gautos elipsoidinės, perskaičiuotos LKS-94 plokštuminės ir GPS imtuvais gautos koordinatės. (3.13 pav.). Programa tikrina ar galimos įvestos koordinatės (platumos ir ilgumos reikšmės neviršija maksimalių)

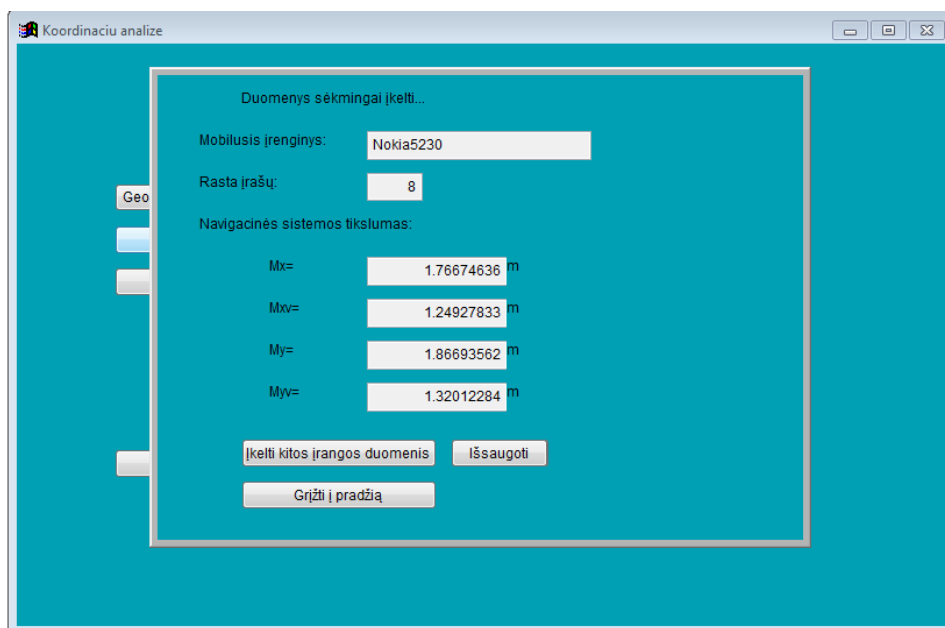
3.13 pav. Programos *Koordanalize* duomenų įvedimas: 1 žingsnis

Įvedus visus reikalingus duomenis spaudžiame mygtuką „Suvestos visos koordinatės“ ir pasirenkame tolimesnį veiksmą – įvesti kitos įrangos koordinates, redaguoti turimas ar grįžti į pradinį langą (3.14 pav.).



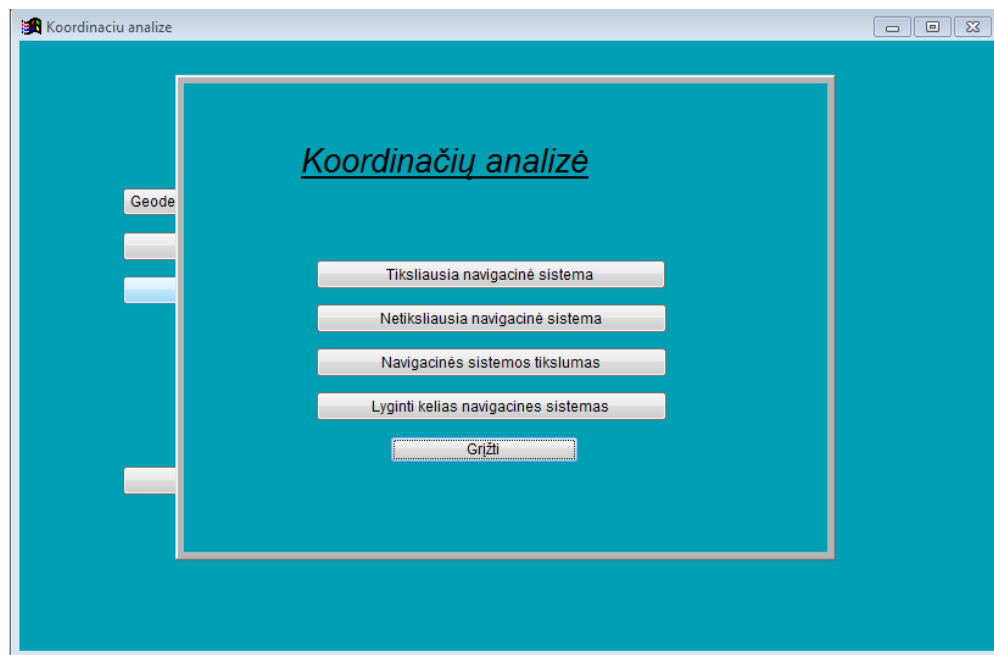
3.14 pav. Programos *Koordanalize* duomenų įvedimas: 2 žingsnis

Turint suvestus duomenis galima atlikti tikslumo įvertinimą. Pradiniame lange paspaudus „Tikslumo skaičiavimas“ pasirenkame duomenų bazę, kurioje yra duomenys, kurių tikslumą reikia apskaičiuoti. Iš dvigubų matavimų (mobilaus įrenginio ir tikslaus GPS imtuvo) skaičiuojamos pavienio rezultato, kurio svoris lygus 1 ir tinkamiausių reikšmių vidutinės kvadratinės klaidos (3.15 pav). Duomenys gali būti išsaugomi naujoje duomenų bazėje tolimesnei lyginamajai analizei, kai apskaičiuojama ne vienos įrangos rezultatų tikslumas.



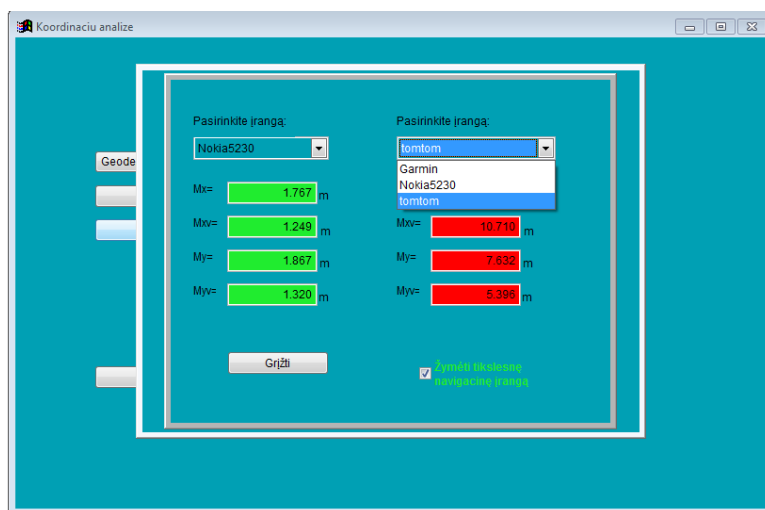
3.15 pav. Tikslumo skaičiavimas programa *Koordanalize*

Pradiniame lange pasirinkus „Koordinačių analizė“ galima atlikti navigacinių sistemų palyginamąją analizę: rasti tiksliausią, netiksliausią, peržiūrėti pasirinktos navigacinės sistemos tikslumą, bei atlikti palyginimą (3.16 pav.)



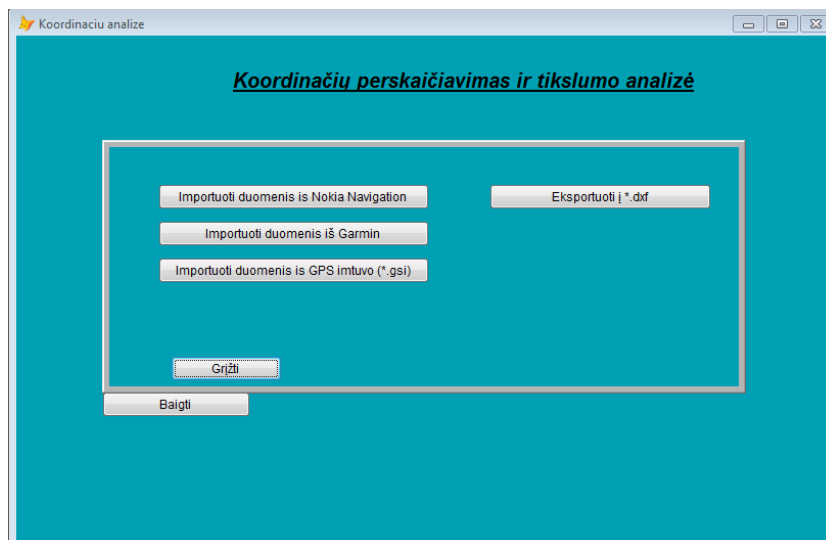
3.16 pav. Programos langas „Koordinacių analizė“

Paspaudus pirmuosius du mygtukus „Tiksliusia navigacinė sistema“ ir „Netiksliusia navigacinė sistema“ automatiškai išrenkami atitinkami rezultatai. Pasirinkus mygtuką „Navigacinės sistemos tikslumas“ galima peržiūrėti visų duomenų bazėje esančių sistemų tyrimų rezultatus. Lyginamoji analizė atliekama spaudžiant „Lyginti kelias navigacines sistemas“ (3.17 pav.) – pasirenkami norimi įrenginiai, tikslesnės navigacinės sistemos rezultatų reikšmės užpildomos žalia spalva, o kitos – raudona.



3.17 pav. Programos *Koordanalize* gautų rezultatų palyginimas

Mygtukas „Duomenų tvarkyklė“ (3.18 pav.) leidžia atlikti duomenų importą iš *Nokia Navigation*, *Garmin* navigacinių sistemų. Taip pat yra galimybė importuoti failus *.gsi formatu. Ši funkcija yra skirta duomenų importui iš tikslaus GPS imtuvo.



3.18 pav. Langas „Duomenų tvarkyklė“

3.3. Nustatomų koordinacių tikslumo įvertinimas naudojant GPS ir A-GPS technologijas

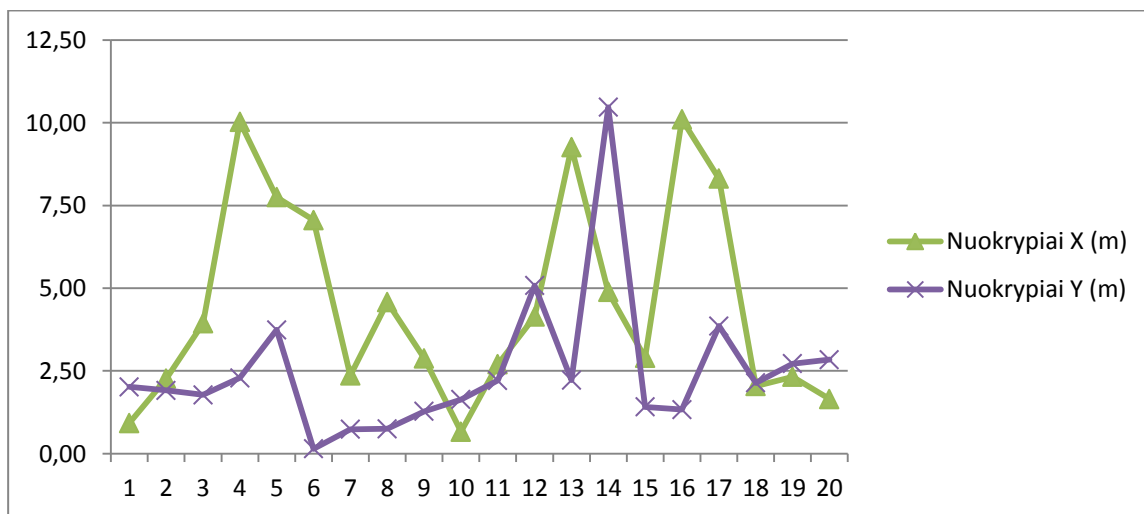
Mobiliųjų navigacinių sistemų „Nokia Navigation“, „TomTom“ ir „Garmin“ padėties nustatymo tikslumui apskaičiuoti buvo matuojami 20 taškų, kurie išsaugoti į naudojamų prietaisų vidinę atmintį. Tuo pat metu buvo atlikti matavimai su tiksliuoju GPS imtuvu *GeoMax Zenith20*. Gautos mobiliųjų įrenginių elipsoidinės koordinatės buvo perskaičiuojamos į LKS-94 koordinacių sistemą pasinaudojant programa *Koordanalize*. Atliktas tikslumo įvertinimas naudojantis 2.19 – 2.22 formulėmis. Apskaičiuotas minėtų trijų navigacinių sistemų horizontalus, *Garmin Nuvi* ir *Nokia Navigation* vertikalus tikslumas, pateikti skaičiavimų rezultatai, kurie taip pat atvaizduoti ir grafiškai.

Mobilusis telefonas *Nokia 5230* turi integruotą GPS imtuvą ir gali veikti naudodamas A-GPS technologiją. Eksperimento metu buvo nustatinėjamos koordinatės pirmuoju atveju naudojant tik GPS palydovų informaciją, antruoju – įjungus sąveikaujančios GPS (A-GPS) funkciją.

Atlikus matavimus duomenys buvo apdoroti programa *Koordanalize*. Gauti skaičiavimų duomenys pateikti 3.4 lentelėje, o 3.19 paveiksle grafiškai pavaizduoti X ir Y koordinacių nuokrypiai.

3.4 lentelė. Skaičiavimų rezultatai *Nokia Navigation* - GPS

T as ko nr	b l	b m	bs	l l	l m	ls	x	y	iranga	xgps	ygps	delta X	delta Y
1	5 4	4 3	14,36	2 5	1 4	5,06	6065619,95	579546,09	Nokia 5230	6065620,874	579544,074	0,93	-2,02
2	5 4	4 3	14,07	2 5	1 4	6,95	6065611,58	579580,07	Nokia 5230	6065613,843	579578,160	2,27	-1,91
3	5 4	4 3	13,63	2 5	1 4	9,15	6065598,67	579619,68	Nokia 5230	6065602,607	579621,456	3,94	1,78
4	5 4	4 3	12,97	2 5	1 4	9,21	6065578,29	579621,11	Nokia 5230	6065588,312	579618,826	10,03	-2,29
5	5 4	4 3	13,28	2 5	1 4	6,77	6065587,10	579577,28	Nokia 5230	6065594,851	579581,024	7,75	3,74
6	5 4	4 3	13,36	2 5	1 4	5,56	6065589,19	579555,59	Nokia 5230	6065596,251	579555,732	7,06	0,15
7	5 4	4 3	13,63	2 5	1 4	3,87	6065597,01	579525,20	Nokia 5230	6065599,368	579525,936	2,36	0,74
8	5 4	4 3	13,39	2 5	1 4	2,91	6065589,28	579508,15	Nokia 5230	6065593,863	579508,899	4,58	0,75
9	5 4	4 3	13,11	2 5	1 4	0,36	6065579,83	579462,67	Nokia 5230	6065582,706	579463,950	2,88	1,28
10	5 4	4 3	11,74	2 5	1 3	59,59	6065537,23	579449,64	Nokia 5230	6065537,899	579451,271	0,67	1,64
11	5 4	4 3	10,14	2 5	1 3	59,09	6065487,62	579441,56	Nokia 5230	6065490,317	579439,346	2,70	-2,21
12	5 4	4 3	9,05	2 5	1 3	59,89	6065454,17	579456,46	Nokia 5230	6065458,312	579451,383	4,14	-5,08
13	5 4	4 3	8,34	2 5	1 4	1,8	6065432,82	579491,03	Nokia 5230	6065442,082	579488,810	9,26	-2,22
14	5 4	4 3	8,19	2 5	1 4	2,2	6065428,31	579498,27	Nokia 5230	6065433,197	579508,739	4,88	10,47
15	5 4	4 3	8,13	2 5	1 4	4,3	6065427,12	579535,88	Nokia 5230	6065430,019	579534,468	2,90	-1,41
16	5 4	4 3	8,6	2 5	1 4	4,64	6065441,76	579541,71	Nokia 5230	6065451,853	579540,380	10,10	-1,33
17	5 4	4 3	8,94	2 5	1 4	1,8	6065451,37	579490,70	Nokia 5230	6065459,682	579494,559	8,31	3,85
18	5 4	4 3	11,76	2 5	1 4	2,48	6065538,76	579501,34	Nokia 5230	6065540,804	579499,200	2,04	-2,14
19	5 4	4 3	13,23	2 5	1 4	4,38	6065584,80	579534,54	Nokia 5230	6065582,476	579537,263	-2,33	2,72
20	5 4	4 3	12,8	2 5	1 4	6,72	6065572,25	579576,65	Nokia 5230	6065573,897	579579,487	1,65	2,84



3.19 pav. *Nokia Navigation* koordinačių nuokrypiai naudojant GPS

Pagal matavimų duomenis ir gautus rezultatus buvo gauta:

Didžiausias nuokrypis – 10,10m (X ašies kryptimi) 10,47m (Y ašies kryptimi)

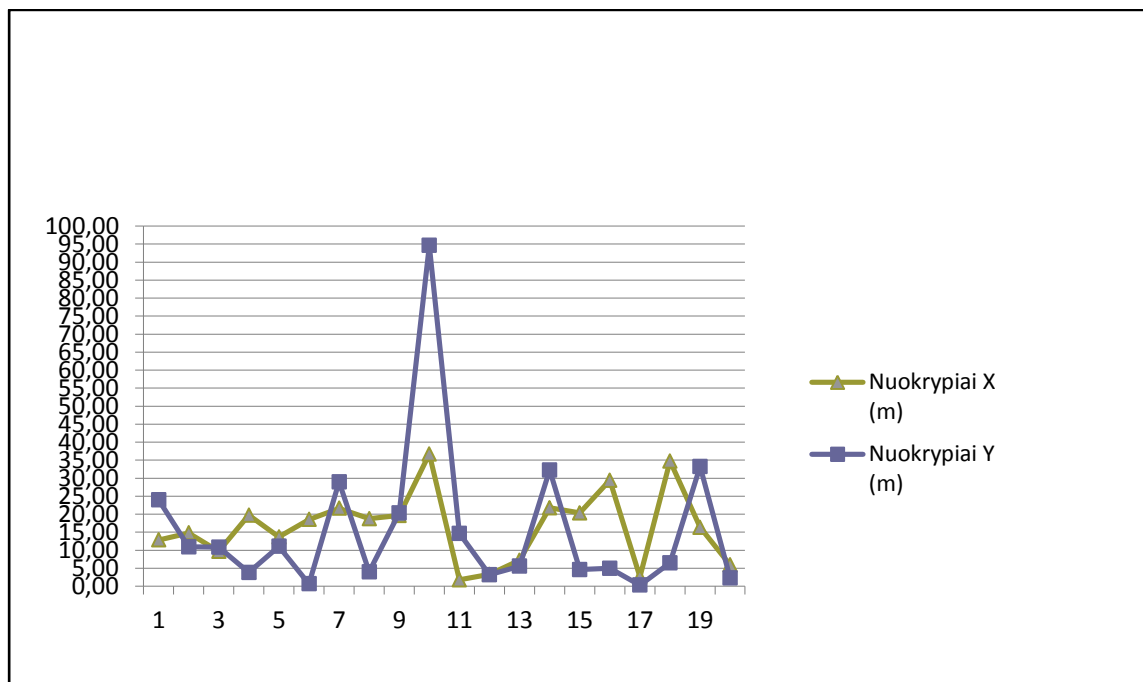
Mažiausias nuokrypis – 0,67m (X ašies kryptimi) 0,15m (Y ašies kryptimi)

Nokia Navigation vietos nustatymo (naudojant tik vidinį GPS imtuvą) vidutinės kvadratinės klaidos: $M_x=2,72m$ ir $M_y=1,66m$.

Antruoju bandymu buvo matuojama tuose pačiuose taškuose. Vietos koordinatės buvo nustatinėjamos naudojantis *A-GPS* technologija. Gauti skaičiavimų duomenys pateikti 3.5 lentelėje, o 3.20 paveiksle grafiškai pavaizduoti X ir Y koordinatinių nuokrypių.

3.5 lentelė. Skaičiavimų rezultatai *Nokia Navigation – A-GPS*

T as ko nr	b l	b m	bs	l l	l m	ls	x	y	iranga	xgps	ygps	delta X	delta Y
1	5 4	4 3	14,82	2 5	1 4	3,62	6065633,71	579520,08	Nokia 5230	6065620,874	579544,074	12,84	24,00
2	5 4	4 3	13,66	2 5	1 4	7,44	6065599,06	579589,06	Nokia 5230	6065613,843	579578,16	14,79	10,90
3	5 4	4 3	13,45	2 5	1 4	8,64	6065592,94	579610,65	Nokia 5230	6065602,607	579621,456	9,66	10,80
4	5 4	4 3	12,66	2 5	1 4	8,86	6065568,59	579615,02	Nokia 5230	6065588,312	579618,826	19,72	3,81
5	5 4	4 3	13,08	2 5	1 4	7,59	6065581,18	579592,06	Nokia 5230	6065594,851	579581,024	13,68	11,04
6	5 4	4 3	12,99	2 5	1 4	5,52	6065577,74	579555,07	Nokia 5230	6065596,251	579555,732	18,51	0,66
7	5 4	4 3	12,99	2 5	1 4	5,51	6065577,74	579554,89	Nokia 5230	6065599,368	579525,936	21,63	28,96
8	5 4	4 3	12,93	2 5	1 4	3,16	6065575,14	579512,87	Nokia 5230	6065593,863	579508,899	18,72	3,97
9	5 4	4 3	12,58	2 5	1 3	59,28	6065563,10	579443,63	Nokia 5230	6065582,706	579463,95	19,60	20,32
10	5 4	4 3	10,52	2 5	1 4	4,93	6065501,20	579545,86	Nokia 5230	6065537,899	579451,271	36,70	94,59
11	5 4	4 3	10,18	2 5	1 3	58,15	6065488,56	579424,71	Nokia 5230	6065490,317	579439,346	1,76	14,63
12	5 4	4 3	9,29	2 5	1 3	59,79	6065461,56	579454,54	Nokia 5230	6065458,312	579451,383	3,25	3,16
13	5 4	4 3	8,87	2 5	1 4	2	6065449,27	579494,32	Nokia 5230	6065442,082	579488,81	7,19	5,51
14	5 4	4 3	7,62	2 5	1 4	4,57	6065411,44	579540,99	Nokia 5230	6065433,197	579508,739	21,76	32,25
15	5 4	4 3	8,88	2 5	1 4	4,5	6065450,37	579539,05	Nokia 5230	6065430,019	579534,468	20,35	4,59
16	5 4	4 3	7,98	2 5	1 4	4,27	6065422,47	579535,43	Nokia 5230	6065451,853	579540,38	29,38	4,95
17	5 4	4 3	9,29	2 5	1 4	2,01	6065462,26	579494,27	Nokia 5230	6065459,682	579494,559	2,58	0,29
18	5 4	4 3	10,7	2 5	1 4	2,69	6065506,06	579505,67	Nokia 5230	6065540,804	579499,2	34,74	6,47
19	5 4	4 3	13,7	2 5	1 4	2,69	6065598,80	579504,04	Nokia 5230	6065582,476	579537,263	16,32	33,22
20	5 4	4 3	12,66	2 5	1 4	7	6065568,01	579581,73	Nokia 5230	6065573,897	579579,487	5,89	2,25



3.20 pav. *Nokia Navigation* koordinačių nuokrypiai naudojant *A-GPS*

Pagal matavimų duomenis ir gautus rezultatus buvo gauta:

Didžiausias nuokrypis – 36,70m (X ašies kryptimi) 94,59m (Y ašies kryptimi)

Mažiausias nuokrypis – 1,76m (X ašies kryptimi) 0,29m (Y ašies kryptimi)

Nokia Navigation vietos nustatymo (naudojant *A-GPS* technologiją) vidutinės kvadratinės klaidos: $M_x=9,54m$ ir $M_y=18,47m$.

Mobiliuoju telefonu *Nokia 5230* taip pat buvo matuojamas elipsoidinis aukštis (WGS-84 sistemoje) ir palygintas su tiksliuoju GPS imtuvu išmatuotu aukščiu. Buvo matuojama naudojant tik GPS technologiją (*A-GPS* išjungtas).

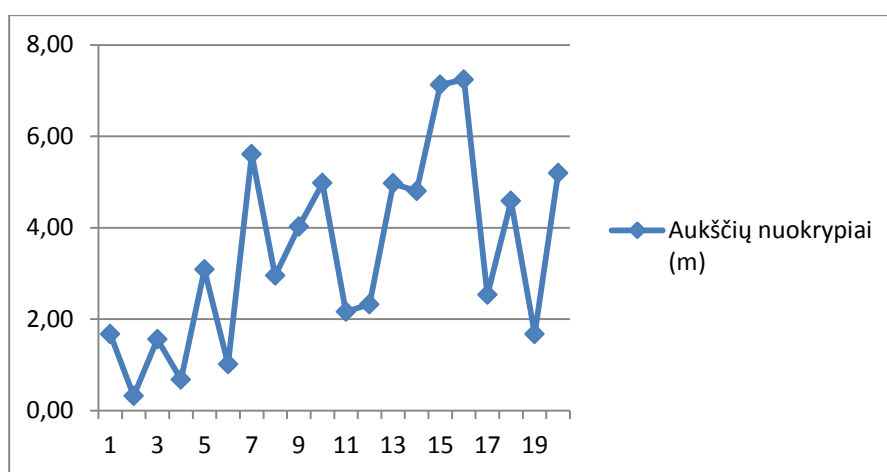
Gauti skaičiavimų rezultatai pateikti 3.6 lentelėje, o 3.21 paveiksle grafiškai pateikti nuokrypiai.

3.6 lentelė. Skaičiavimų rezultatai: aukščio nuokrypiai

Tasko nr	Y	X	Z (WGS-84)	Z (<i>NokiaNav</i>)	delta H
1	579544,07	6065620,87	190,33	192,00	1,67
2	579578,16	6065613,84	189,68	190,00	0,32
3	579621,46	6065602,61	188,94	190,50	1,56
4	579618,83	6065588,31	188,82	189,50	0,68
5	579581,02	6065594,85	189,42	192,50	3,08
6	579555,73	6065596,25	190,01	189,00	1,01
7	579525,94	6065599,37	190,39	196,00	5,61
8	579508,90	6065593,86	190,45	187,50	2,95
9	579463,95	6065582,71	193,48	197,50	4,02
10	579451,27	6065537,90	193,03	198,00	4,97
11	579439,35	6065490,32	192,34	194,50	2,16

3.6 lentelės tęsinys. Skaičiavimų rezultatai: aukščio nuokrypiai

Tasko nr	Y	X	Z (WGS-84)	Z (NokiaNav)	delta H
12	579451,38	6065458,31	192,68	195,00	2,32
13	579488,81	6065442,08	192,03	197,00	4,97
14	579508,74	6065433,20	192,20	197,00	4,80
15	579534,47	6065430,02	192,88	200,00	7,13
16	579540,38	6065451,85	192,26	199,50	7,24
17	579494,56	6065459,68	191,97	194,50	2,53
18	579499,20	6065540,80	191,42	196,00	4,58
19	579537,26	6065582,48	190,83	192,50	1,67
20	579579,49	6065573,90	190,31	195,50	5,19



3.21 pav. Nokia Navigation aukščio nuokrypiai

Pagal matavimų duomenis ir gautus rezultatus buvo gauta:

Didžiausias aukščių skirtumas – 7,24m

Mažiausias nuokrypis – 0,32m

Nokia Navigation aukščio nustatymo (naudojant tik vidinį GPS imtuvą) vidutinė kvadratinė klaida: $M_h=2,81m$

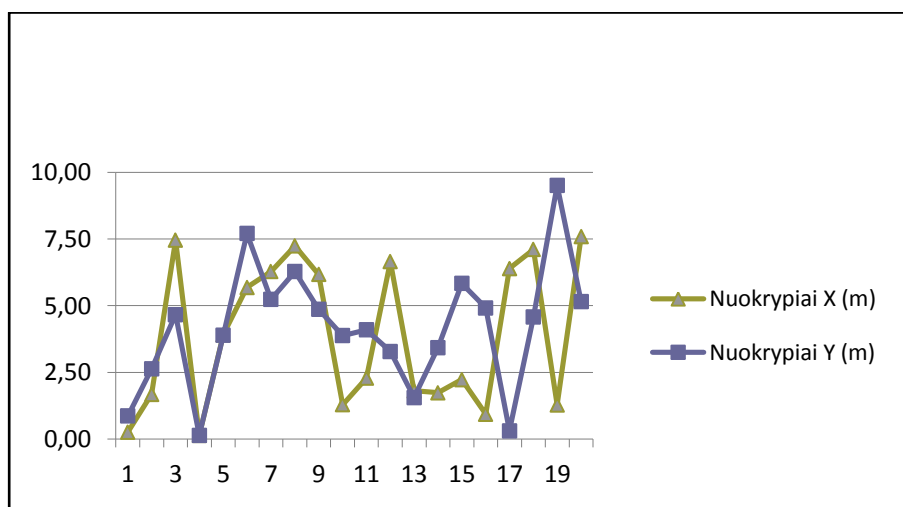
3.4. Nustatomų koordinatų tikslumo įvertinimas naudojant du identiškus mobilius įrenginius su ta pačia navigacine sistema

Navigacinis prietaisas *Garmin Nuvi1490* turi integruotą GPS imtuvą *Sirf StarIII*. Eksperimento metu buvo nustatinėjamos koordinatės dviem identiškais prietaisais ir atliktas palyginimas tarp gautų rezultatų.

Atlikus matavimus duomenys buvo apdoroti programa *Koordanalize*. Gauti skaičiavimų duomenys pateikti 3.7 ir 3.8 lentelėse, o 3.22 ir 3.23 paveiksluose grafiškai pavaizduoti X ir Y koordinatų nuokrypiai.

3.7 lentelė. Skaičiavimo rezultatai. *Garmin Nuvi 1490* (prietaisas A)

T as ko nr	b l	b m	bs	l l	l m	ls	x	y	iranga	xgps	ygps	delta X	delta Y
1	5 4	4 3	14,4	2 5	1 4	4,9	6065621,13	579543,21	Grmn-1	6065620,874	579544,074	0,26	0,86
2	5 4	4 3	14,2	2 5	1 4	6,7	6065615,52	579575,53	Grmn-1	6065613,843	579578,16	1,67	2,63
3	5 4	4 3	14	2 5	1 4	9	6065610,06	579616,79	Grmn-1	6065602,607	579621,456	7,45	4,66
4	5 4	4 3	13,3	2 5	1 4	9,1	6065588,45	579618,97	Grmn-1	6065588,312	579618,826	0,14	0,14
5	5 4	4 3	13,4	2 5	1 4	7,2	6065590,94	579584,91	Grmn-1	6065594,851	579581,024	3,91	3,89
6	5 4	4 3	13,4	2 5	1 4	6	6065590,57	579563,44	Grmn-1	6065596,251	579555,732	5,68	7,71
7	5 4	4 3	13,5	2 5	1 4	4,2	6065593,09	579531,17	Grmn-1	6065599,368	579525,936	6,28	5,24
8	5 4	4 3	13,3	2 5	1 4	3,3	6065586,63	579515,18	Grmn-1	6065593,863	579508,899	7,24	6,28
9	5 4	4 3	13	2 5	1 4	0,7	6065576,53	579468,81	Grmn-1	6065582,706	579463,95	6,17	4,86
10	5 4	4 3	11,8	2 5	1 3	59,9	6065539,19	579455,15	Grmn-1	6065537,899	579451,271	1,29	3,88
11	5 4	4 3	10,3	2 5	1 3	59,2	6065492,60	579443,44	Grmn-1	6065490,317	579439,346	2,28	4,09
12	5 4	4 3	9,4	2 5	1 3	59,8	6065464,96	579454,66	Grmn-1	6065458,312	579451,383	6,65	3,28
13	5 4	4 3	8,7	2 5	1 4	1,6	6065443,89	579487,26	Grmn-1	6065442,082	579488,81	1,81	1,55
14	5 4	4 3	8,4	2 5	1 4	2,6	6065434,93	579505,31	Grmn-1	6065433,197	579508,739	1,73	3,42
15	5 4	4 3	8,3	2 5	1 4	3,9	6065432,25	579528,63	Grmn-1	6065430,019	579534,468	2,23	5,84
16	5 4	4 3	8,9	2 5	1 4	4,3	6065450,92	579535,46	Grmn-1	6065451,853	579540,38	0,93	4,92
17	5 4	4 3	9	2 5	1 4	2	6065453,29	579494,25	Grmn-1	6065459,682	579494,559	6,39	0,31
18	5 4	4 3	11,6	2 5	1 4	2,1	6065533,70	579494,63	Grmn-1	6065540,804	579499,2	7,11	4,57
19	5 4	4 3	13,2	2 5	1 4	4	6065583,75	579527,76	Grmn-1	6065582,476	579537,263	1,28	9,51
20	5 4	4 3	13,1	2 5	1 4	6,6	6065581,48	579574,34	Grmn-1	6065573,897	579579,487	7,58	5,15



3.22 pav. *Garmin Nuvi 1490* koordinačių nuokrypiai (prietaisas A)

Garmin Nuvi 1490 - Prietaisas A

Pagal matavimų duomenis ir gautus rezultatus buvo gauta:

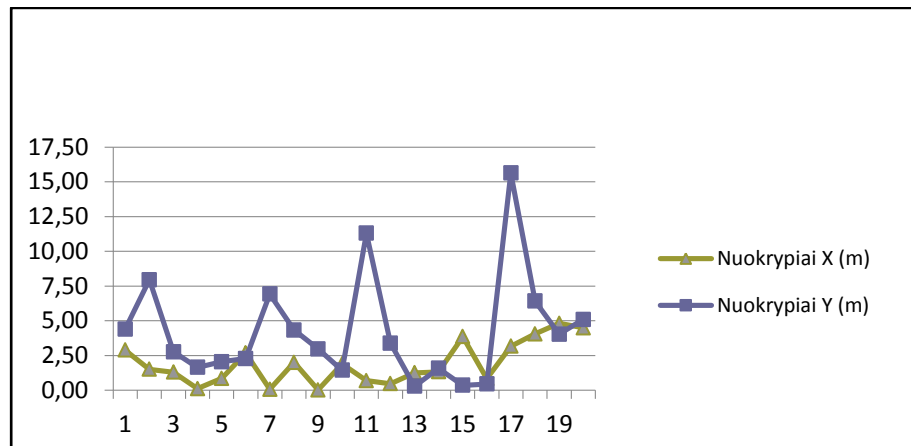
Didžiausias nuokrypis – 7,58m (X ašies kryptimi) 9,51m (Y ašies kryptimi)

Mažiausias nuokrypis – 0,14m (X ašies kryptimi) 0,14m (Y ašies kryptimi)

Garmin Nuvi 1490 vietos nustatymo vidutinės kvadratinės klaidos: $M_x=2,37m$ ir $M_y=2,36m$.

3.8 lentelė. Skaičiavimo rezultatai. Garmin Nuvi 1490 (prietaisas B)

T as ko nr	b l	b m	bs	l l	l m	ls	x	y	iranga	xgps	ygps	delta X	delta Y
1	5 4	4 3	14,3	2 5	1 4	4,7	6065617,98	579539,69	Grmn-2	6065620,874	579544,074	2,89	4,39
2	5 4	4 3	14,1	2 5	1 4	6,4	6065612,33	579570,21	Grmn-2	6065613,843	579578,16	1,51	7,95
3	5 4	4 3	13,8	2 5	1 4	9,1	6065603,91	579618,69	Grmn-2	6065602,607	579621,456	1,30	2,76
4	5 4	4 3	13,3	2 5	1 4	9	6065588,42	579617,18	Grmn-2	6065588,312	579618,826	0,11	1,65
5	5 4	4 3	13,5	2 5	1 4	7,1	6065594,00	579583,07	Grmn-2	6065594,851	579581,024	0,85	2,04
6	5 4	4 3	13,5	2 5	1 4	5,7	6065593,56	579558,01	Grmn-2	6065596,251	579555,732	2,69	2,28
7	5 4	4 3	13,7	2 5	1 4	4,3	6065599,31	579532,85	Grmn-2	6065599,368	579525,936	0,06	6,92
8	5 4	4 3	13,6	2 5	1 4	3,2	6065595,87	579513,22	Grmn-2	6065593,863	579508,899	2,00	4,32
9	5 4	4 3	13,2	2 5	1 4	0,6	6065582,68	579466,92	Grmn-2	6065582,706	579463,95	0,02	2,97
10	5 4	4 3	11,7	2 5	1 3	59,6	6065536,00	579449,84	Grmn-2	6065537,899	579451,271	1,90	1,44
11	5 4	4 3	10,2	2 5	1 3	59,6	6065489,63	579450,65	Grmn-2	6065490,317	579439,346	0,69	11,30
12	5 4	4 3	9,2	2 5	1 3	59,8	6065458,78	579454,77	Grmn-2	6065458,312	579451,383	0,47	3,39
13	5 4	4 3	8,6	2 5	1 4	1,7	6065440,83	579489,10	Grmn-2	6065442,082	579488,81	1,25	0,29
14	5 4	4 3	8,3	2 5	1 4	2,7	6065431,87	579507,16	Grmn-2	6065433,197	579508,739	1,33	1,58
15	5 4	4 3	8,1	2 5	1 4	4,2	6065426,16	579534,11	Grmn-2	6065430,019	579534,468	3,86	0,36
16	5 4	4 3	8,9	2 5	1 4	4,6	6065451,02	579540,83	Grmn-2	6065451,853	579540,38	0,84	0,45
17	5 4	4 3	9,3	2 5	1 4	2,9	6065462,85	579510,19	Grmn-2	6065459,682	579494,559	3,16	15,63
18	5 4	4 3	11,7	2 5	1 4	2	6065536,76	579492,78	Grmn-2	6065540,804	579499,2	4,05	6,42
19	5 4	4 3	13	2 5	1 4	4,3	6065577,67	579533,23	Grmn-2	6065582,476	579537,263	4,81	4,03
20	5 4	4 3	13	2 5	1 4	6,6	6065578,39	579574,39	Grmn-2	6065573,897	579579,487	4,49	5,10



3.23 pav. *Garmin Nuvi 1490* koordinačių nuokrypiai (prietaisas B)

Garmin Nuvi 1490 - Prietaisas B

Pagal matavimų duomenis ir gautus rezultatus buvo gauta:

Didžiausias nuokrypis – 4,81m (X ašies kryptimi) 15,83m (Y ašies kryptimi)

Mažiausias nuokrypis – 0,02m (X ašies kryptimi) 0,29m (Y ašies kryptimi)

Garmin Nuvi 1490 vietos nustatymo vidutinės kvadratinės klaidos: $M_x=1,21m$ ir $M_y=2,85m$.

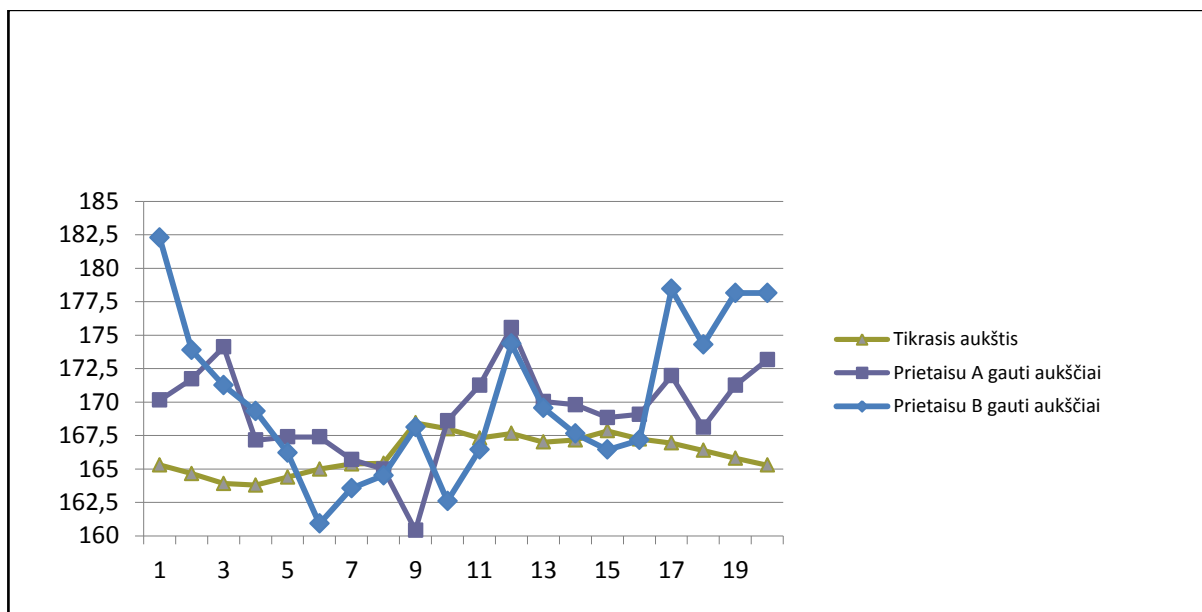
Ši navigacinė sistema teikia informaciją apie pozicijos aukštį Baltijos aukščių sistemoje. GPS imtuvu bei dviem identiškais mobiliais prietaisais gauti matavimų rezultatai ir skaičiavimai pateikti 3.9 lentelėje. 3.24 pav. grafikškai pavaizduota gautų aukščių kreivė, o 3.25 paveiksle – nuokrypiai nuo GPS imtuvų gautų rezultatų.

3.9 lentelė. Aukščio matavimo rezultatai *Garmin Nuvi1490* navigacinėmis sistemomis

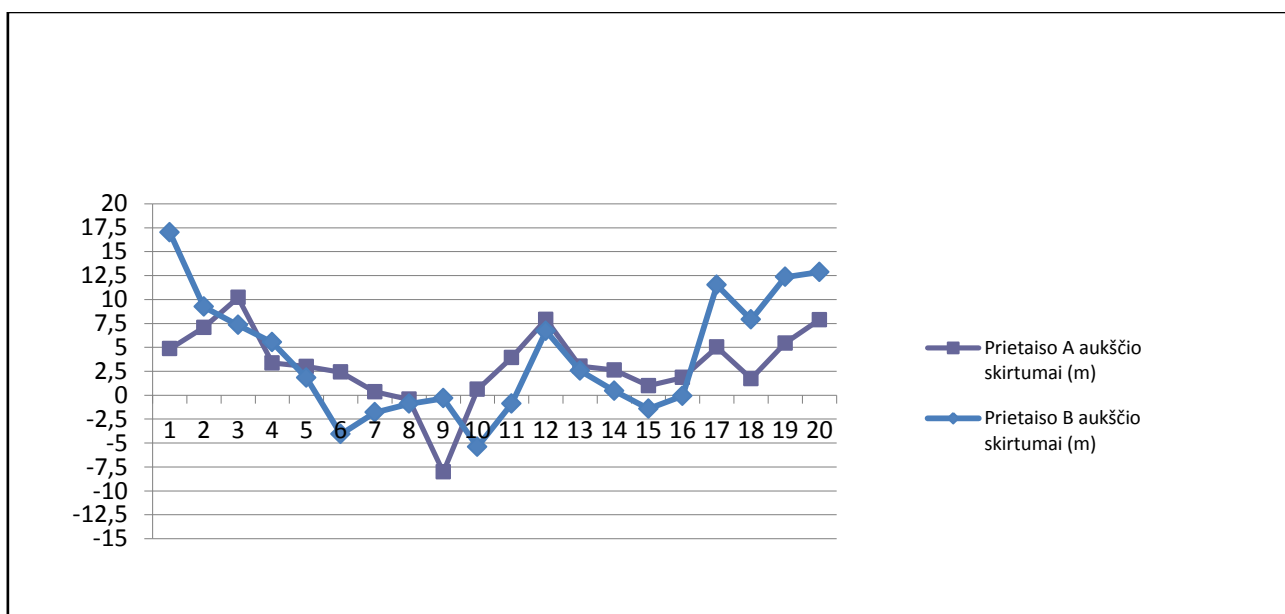
Tasko Nr	X	Y	Z	Z (Prietaisas A)	delta H1	Z (Prietaisas B)	delta H2
1	579544,07	6065620,87	165,298	170,15	4,852	182,29	16,992
2	579578,16	6065613,84	164,649	171,72	7,071	173,88	9,231
3	579621,46	6065602,61	163,913	174,12	10,207	171,24	7,327
4	579618,83	6065588,31	163,794	167,15	3,356	169,32	5,526
5	579581,02	6065594,85	164,387	167,39	3,003	166,19	1,803
6	579555,73	6065596,25	164,985	167,39	2,405	160,91	-4,075
7	579525,94	6065599,37	165,364	165,71	0,346	163,55	-1,814
8	579508,9	6065593,86	165,419	164,99	-0,429	164,51	-0,909
9	579463,95	6065582,71	168,451	160,42	-8,031	168,11	-0,341
10	579451,27	6065537,9	167,997	168,6	0,603	162,59	-5,407
11	579439,35	6065490,32	167,311	171,24	3,929	166,43	-0,881
12	579451,38	6065458,31	167,65	175,57	7,92	174,36	6,71
13	579488,81	6065442,08	167,005	170,04	3,035	169,56	2,555
14	579508,74	6065433,2	167,17	169,8	2,63	167,63	0,46
15	579534,47	6065430,02	167,848	168,84	0,992	166,43	-1,418
16	579540,38	6065451,85	167,233	169,08	1,847	167,15	-0,083

3.9 lentelės tęsinys. Aukščio matavimo rezultatai *Garmin Nuvi1490* navigacinėmis sistemomis

Tasko Nr	X	Y	Z	Z (Prietaisas A)	delta H1	Z (Prietaisas B)	delta H2
17	579494,56	6065459,68	166,943	171,96	5,017	178,45	11,507
18	579499,2	6065540,8	166,39	168,11	1,72	174,29	7,9
19	579537,26	6065582,48	165,799	171,24	5,441	178,15	12,351
20	579579,49	6065573,9	165,281	173,16	7,879	178,15	12,869



3.24 pav. Aukščio matavimo rezultatai *Garmin Nuvi1490* navigacinėmis sistemomis



3.25 pav. *Garmin Nuvi* navigacinėmis sistemomis išmatuoto aukščio nuokrypiai

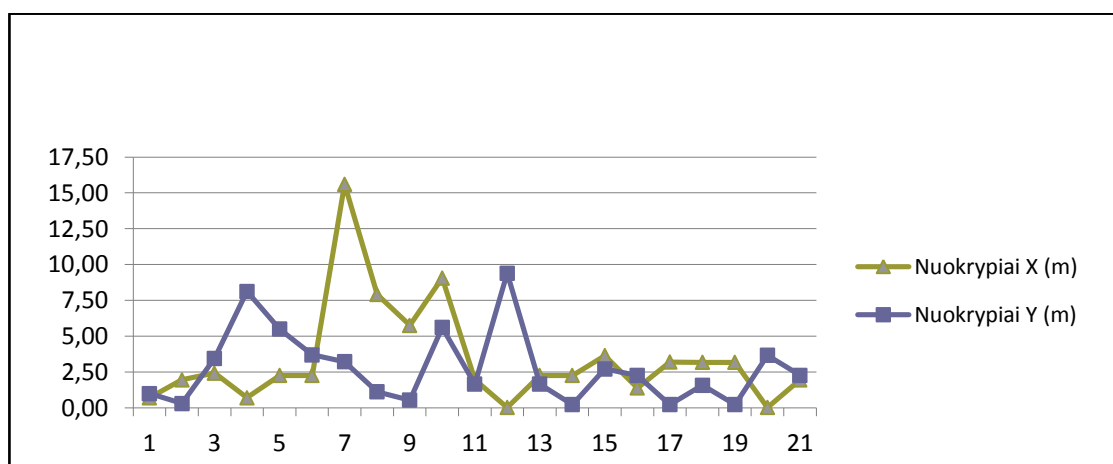
3.5. Nustatomų koordinatų tikslumo įvertinimas atliekant daugkartinius matavimus.

Delniniu kompiuteriu *HP IPAQ rx5720*, kuriame įdiegta *TomTom 7.450* navigacinė programa ir integruotas *Sirf Start GSC3F* GPS imtuvas, buvo matuotas vienas koordinuotas taškas ($X = 6065580,027\text{m}$, $Y = 579515,566\text{m}$) vieną valandą. Rezultatai buvo fiksuojami kas tris minutes – geodezinė platuma, ilguma, laikas bei palydovų skaičius.

Atlikus matavimus duomenys buvo apdoroti programa *Koordanalize*. Gauti skaičiavimų duomenys pateikti 3.10 lentelėje, o 3.26 paveiksle grafiškai pavaizduoti X ir Y koordinatų nuokrypiai.

3.10 lentelė. Skaičiavimo rezultatai. *TomTom 7.450* navigacinė sistema.

Nr	bl	bm	bs	ll	lm	ls	x	y	delta X(m)	delta Y(m)	Laikas UTC	Naud. pal. sk.
1	54	43	13,11	25	14	3,26	6065580,74	579514,56	0,71	1,00	07:50	7
2	54	43	13,15	25	14	3,30	6065581,99	579515,26	1,96	0,31	07:53	8
3	54	43	13,01	25	14	3,12	6065577,60	579512,11	2,42	3,45	07:56	6
4	54	43	13,11	25	14	3,77	6065580,74	579523,69	0,71	8,12	07:59	8
5	54	43	13,01	25	14	3,62	6065577,76	579521,06	2,27	5,49	08:02	8
6	54	43	13,01	25	14	3,52	6065577,76	579519,27	2,27	3,70	08:05	8
7	54	43	12,58	25	14	3,48	6065564,42	579518,79	15,60	3,22	08:08	10
8	54	43	12,83	25	14	3,37	6065572,12	579516,68	7,91	1,12	08:11	11
9	54	43	12,90	25	14	3,34	6065574,27	579516,11	5,75	0,54	08:14	10
10	54	43	12,79	25	14	3,62	6065570,96	579521,18	9,07	5,61	08:17	10
11	54	43	13,15	25	14	3,41	6065581,99	579517,23	1,96	1,66	08:20	11
12	54	43	13,08	25	14	3,84	6065579,99	579524,96	0,03	9,39	08:23	8
13	54	43	13,01	25	14	3,41	6065577,76	579517,23	2,27	1,66	08:26	11
14	54	43	13,01	25	14	3,30	6065577,76	579515,33	2,27	0,23	08:29	7
15	54	43	12,97	25	14	3,16	6065576,38	579512,85	3,65	2,72	08:32	9
16	54	43	13,04	25	14	3,44	6065578,63	579517,82	1,40	2,26	08:35	7
17	54	43	13,19	25	14	3,30	6065583,22	579515,33	3,20	0,23	08:38	9
18	54	43	13,19	25	14	3,23	6065583,20	579513,98	3,18	1,58	08:41	8
19	54	43	13,19	25	14	3,30	6065583,20	579515,33	3,18	0,23	08:44	7
20	54	43	13,08	25	14	3,52	6065579,99	579519,23	0,03	3,67	08:47	7
21	54	43	13,15	25	14	3,19	6065581,99	579513,29	1,96	2,28	08:50	8



3.26 pav. *TomTom* koordinatų nuokrypiai

Pagal matavimų duomenis ir gautus rezultatus buvo gauta:

TomTom v.7.450 navigacinė sistema.

Didžiausias nuokrypis – $15,60m$ (X ašies kryptimi) $0,03m$ (Y ašies kryptimi)

Mažiausias nuokrypis – $9,39m$ (X ašies kryptimi) $0,23m$ (Y ašies kryptimi)

TomTom vietos nustatymo vidutinės kvadratinės klaidos matuojant vieną tašką daugkartiniais nuolatiniais matavimais: $M_x=2,46m$ ir $M_y=1,87m$.

IŠVADOS

1. Tiriamojo darbo metu išanalizuotos dabar veikiančios navigacinės sistemos *NAVSTAR* ir *GLONASS* bei kuriama *GALILEO*. Pateikta informacija apie jų veikimo principą, dirbtinių Žemės palydovų signalų struktūrą ir numatomus modernizacijos žingsnius. Taip pat išanalizuota *A-GPS* (sąveikaujančioji GPS) ir *SBAS* sistemos. Nustatyta, kad modernizuojant palydovines sistemas, didinant jų skaičių, plečiant signalų skaičių ir gerinant kitus parametrus, navigacinių sistemų tikslumas didės ir jų panaudojimo sričių skaičius išaugs.
2. Darbe pateikta informacija apie mobiliųjų įrenginių navigacinių sistemų kartografinę medžiagą, duomenų bazių struktūrą, maršrutų skaičiavimo principus ir naudojamus algoritmus. Išsiaiškinta, jog šios sistemos puikiai naviguoja nežinomose vartotojui vietose ir padeda surasti kelią ne tik pagal adresą ar koordinates, bet ir pagal įvairius paieškos parametrus.
3. Išnagrinėtos trys navigacinės sistemos – *Nokia Navigation*, įdiegta mobiliajame telefone *Nokia 5230*, *Garmin Nuvi 1490* bei *TomTom v.7.450*. Aptartos jų galimybės, kartografinė medžiaga, pateikiama informacija, duomenų bazėje kaupiami duomenys. Išsiaiškinta, jog vietose, kur yra sudėtingas palydovų signalų priėmimas, pranašumą turi *Nokia Navigation*, naudojanti *A-GPS* funkciją.
4. Duomenų bazių valdymo programa *FoxPro* sukurta ir darbe panaudota programa *Koordanalize*, kuri skirta mobiliaisiais įrenginiais gautų duomenų apdorojimui – duomenų importavimui ir eksportavimui iš pasirinktų prietaisų bei tikslaus GNSS imtuvo, koordinatų perskaičiavimui, vidutinių kvadratinių klaidų apskaičiavimui ir gautų rezultatų analizei.
5. Atlikti eksperimentiniai matavimai naudojant *Nokia 5230* mobilųjį telefoną su *Nokia Navigation* programa. Bandymai atlikti dviem atvejais: pirmuoju – naudojant tik GPS technologiją, antruoju – *A-GPS*. Nustatyta, kad pozicija tiksliau apskaičiuojama išjungus *A-GPS* funkciją. Gauti rezultatai pirmuoju bandymu parodė, kad vietos nustatymo vidutinės kvadratinės klaidos yra $M_x=2,72\text{m}$ ir $M_y=1,66\text{m}$, antruoju - $M_x=9,54\text{m}$ ir $M_y=18,47\text{m}$. Nustatyta, jog sąveikaujanti GPS technologija padeda sumažinti laiko tarpą iki keleto sekundžių gaunant pirmą fiksuotą poziciją, tačiau blogina nustatomos vietos tikslumą. Ši navigacinė sistema apskaičiuoja vietos elipsoidinį aukštį, kai naudojama *A-GPS*. Aukščio nustatymo tikslumo vidutinė kvadratinė klaida $M_h=2,81\text{m}$.
6. Taip pat buvo matuojami 20 tiksliai koordinuotų taškų su dviem identiškais prietaisiais - *Garmin Nuvi 1490* su *Garmin* programine įranga. *Garmin Nuvi 1490* vietos nustatymo vidutinės kvadratinės klaidos: $M_x=2,37\text{m}$ ir $M_y=2,36\text{m}$ (Prietaisas A) ir $M_x=1,21\text{m}$ ir $M_y=2,85\text{m}$ (Prietaisas B). Šiais prietaisiais nustatomas pozicijos aukštis Baltijos aukščiu

sistemoje. Gauti rezultatai parodė, jog prietaisu A nustatyto aukščio tikslumo vidutinė kvadratinė klaida buvo $M_{h(A)}=3,49\text{m}$, o prietaisu B - $M_{h(A)}=5,19\text{m}$.

7. *TomTom* navigacija atliktas eksperimentas atliekant nuolatinius matavimus virš vieno koordinuoto taško, rezultatus išsaugant kas 3 minutes. Iš 21 fiksuoto rezultato gauti rezultatai parodė, jog vietos nustatymo vidutinės kvadratinės klaidos: $M_x=2,46\text{m}$ ir $M_y=1,87\text{m}$.
8. Gauti rezultatai parodė, jog šiuolaikinės navigacinės sistemos, skirtos civiliams vartotojams yra pakankamai tikslios ir gali teisingai naviguoti urbanizuotose teritorijose, kur yra sudėtingas kelių tinklas, užstatyta teritorija bei sudėtingas judėjimas. Vidutiniškai tiksliau nei 3 metrų tikslumu gaunama trimatė pozicija leidžia kontroliuoti judėjimą viadukais ar peraukštėjimais, miesto centre ar tankioje gatvių sistemoje. Ateityje, modernizuojant dirbtinių Žemės palydovų signalų struktūrą, tikslumas turėtų žymiai padidėti, o nuolat pildant ir tobulinant duomenų bazių struktūrą, žemėlapių kartografinė medžiaga užtikrins navigacinių sistemų panaudojimo sričių plitimą, pavyzdžiui neįgaliųjų žmonių ar robotizuotų prietaisų tiksliam judėjimui kontroliuoti.

LITERATŪRA

1. Sena, M.L. Cartographic presentation in Navigation and route guidance systems. *18th ICA/ACI International Cartographic Conference*, 2006, 2: 909-916.
2. Lee, J., J. Forlizzi and S. Hudson. Iterative Design of MOVE: A Situationally Appropriate Vehicle Navigation System. *International Journal of Human-Computer Studies*, Nr. 66 (3), 2008, p.198-215.
3. M. Sheleiby, M.R. Malek, A. Alesheikh and P. Amirian, Automatic Map Scaling in Car Navigation Systems Using Context-aware Computing. *World Applied Sciences Journal* Nr. 3 (1), ISSN 1818-4952, 2008, p.101-106.
4. Goran M. Djuknic and Robert E. Richton. Geolocation and Assisted GPS. *Computers*, Nr. 34 (2), Los Alamitos, CA, USA: 2001, p. 123-125;
5. Dr. Mohamed Abousalem, Dr. Sergei Lusin Mr. Oleg Tubalin, Mr. Javier de Salas. Performance Analysis of GPS Positioning Using WAAS and EGNOS Presented at GNSS 2000 Conference, Edinburgh, Scotland, UK, May 1-4, 2000.
6. F. Peyet, D. Bétaille, J. Laneurit, R. Toledo-Moreo Lane-level positioning for cooperative systems using EGNOS and enhanced digital maps ENC-GNSS (*European Navigation Conference – Global Navigation Satellite Systems*) Toulouse, April 2008.
7. Abbott E.; Powell D. Land-Vehicle Navigation Using GPS. *PROCEEDINGS OF THE IEEE*, Nr. 87(1), 1999, p. 145-162.
8. Brown A. K.; D'Arlyn Reed. Dynamic Reconfiguration in a GNSS Software Defined Radio for Multi-Constellation Operation. *Proceedings of ION GNSS*. Portland, USA:2011-09
9. C.E. White et al. Some map matching algorithms for personal Navigation assistants *Transportation Research Part C* 8, 2000, p.91-108.
10. Ashkenazi V. Geodesy and Satellite Navigation: A Lighthearted Look at a Strange Relationship. *Geodäsie und Geoinformatik der Universität Hannover* Nr. 258, 2006, p.5-9.
11. Geodesy and Datums. Chapter 2. 2013-05-01. Interneto prieiga:
http://msi.nga.mil/MSISiteContent/StaticFiles/NAV_PUBS/APN/Chapt-02.pdf
12. Dijkstra, BFS and A*Star algorithms. 2013-04-29. Interneto prieiga:
<http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/>
13. Fu, Mengyin, Li, Jie, Deng, Zhihong. A practical route planning algorithm for vehicle Navigation system. *Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, 2004, p. 5326-5329
14. Amit Motwani Adaptive and interval Kalman filtering techniques in autonomous surface vehicle Navigation: a survey. Technical Report MIDAS.SMSE.2012.TR.002

15. Ivanov R. Real-time GPS track simplification algorithm for outdoor *Navigation* of visually impaired. *Journal of Network and Computer Applications*.
16. Marcelo C. Santos et al. Next-Generation Algorithms for *Navigation*, Geodesy and Earth Sciences Under Modernized Global *Navigation* Satellite Systems (GNSS). *Observing our Changing Earth*, International Association of Geodesy Symposia 133, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009.
17. Seeber G. *Sattelite geodesy*. Berlin, New York, 2003.
18. Othman Maklouf et al. Cascade Kalman Filter Configuration for Low Cost IMU/GPS Integration in Car *Navigation* Like Robot. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Nr. 66 2012
19. Günther Retscher and Michael Thienelt. NAVIO – A *Navigation* and Guidance Service for Pedestrians. *Journal of Global Positioning Systems* Nr. 3(1-2), 2004, p.208-217
20. Skeivalas J. *Elektroniniai geodeziniai prietaisai*. Vilnius: Technika, 2010.
21. Skeivalas J. *GPS tinklų teorija ir praktika*. Vilnius: Technika, 2010.
22. Zakarevičius A. *Lietuvos geodezinių tinklų koordinacių sistemos ir jų ryšiai*. Vilnius: Technika, 1996.
23. Zakarevičius A. *Koordinacių sistema LKS 94*. Vilnius: Technika, 2000.
24. E. Paršeliūnas *Geoinformacinės sistemos: Technologija*. Vilnius: Technika, 2001.
25. E. Paršeliūnas *Geoinformacinės sistemos: duomenų bazės*. Vilnius: Technika, 2008.
26. Kolosovskis R.; Putrimas R. *Matavimų apdorojimas*. Vilnius: Technika, 2010.
27. Vilma Kriaučiūnaitė-Neklejonovienė. *Geodezija*, 2008.
28. Global Navigation Sattelite System GLONASS *Interface Control Document* Moscow, 2008.
29. Galileo. 2013-03-28. Interneto prieiga
http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/Galileo_a_constellation_of_30_navigation_satellites
30. *An introduction to using Garmin GPS with paper maps for land navigation*, USA, 2005.

PRIEDAI

Priedas Nr. 1 GPS imtuvu *GeoMax Zenith 20* matuotų taškų rezultatų failas

Taško nr., X (LKS-94), Y (LKS-94), Z, platuma, ilguma, aukštis (WGS-84), antenos aukštis, GPS ir *GLONASS* palydovų skaičius, RTK pozicija, data, laikas

20;6065573,897;579579,487;165,281;54 43 12,8518;25 14 06,8801;190,310;1,800;GPS:9 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:53 PM;
19;6065582,476;579537,263;165,799;54 43 13,1532;25 14 04,5297;190,828;1,800;GPS:9 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:52 PM;
18;6065540,804;579499,200;166,390;54 43 11,8273;25 14 02,3624;191,418;1,800;GPS:10 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:49 PM;
17;6065459,682;579494,559;166,943;54 43 09,2065;25 14 02,0234;191,970;1,800;GPS:8 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:45 PM;
16;6065451,853;579540,380;167,233;54 43 08,9273;25 14 04,5754;192,260;1,800;GPS:6 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:44 PM;
15;6065430,019;579534,468;167,848;54 43 08,2246;25 14 04,2237;192,875;1,800;GPS:8 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:43 PM;
14;6065433,197;579508,739;167,170;54 43 08,3420;25 14 02,7895;192,197;1,800;GPS:9 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:42 PM;
13;6065442,082;579488,810;167,005;54 43 08,6406;25 14 01,6850;192,032;1,800;GPS:9 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:40 PM;
12;6065458,312;579451,383;167,650;54 43 09,1868;25 13 59,6101;192,678;1,800;GPS:10 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:39 PM;
11;6065490,317;579439,346;167,311;54 43 10,2286;25 13 58,9690;192,339;1,800;GPS:10 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:37 PM;
10;6065537,899;579451,271;167,997;54 43 11,7606;25 13 59,6819;193,025;1,800;GPS:9 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:35 PM;
9;6065582,706;579463,950;168,451;54 43 13,2024;25 14 00,4343;193,480;1,800;GPS:9 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:33 PM;
8;6065593,863;579508,899;165,419;54 43 13,5376;25 14 02,9563;190,448;1,800;GPS:9 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:31 PM;
7;6065599,368;579525,936;165,364;54 43 13,7059;25 14 03,9135;190,393;1,800;GPS:9 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:30 PM;
6;6065596,251;579555,732;164,985;54 43 13,5882;25 14 05,5750;190,014;1,800;GPS:8 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:29 PM;
5;6065594,851;579581,024;164,387;54 43 13,5285;25 14 06,9866;189,416;1,800;GPS:9 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:27 PM;
4;6065588,312;579618,826;163,794;54 43 13,2955;25 14 09,0920;188,823;1,800;GPS:9 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:24 PM;
3;6065602,607;579621,456;163,913;54 43 13,7563;25 14 09,2530;188,942;1,800;GPS:9 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:23 PM;
2;6065613,843;579578,160;164,649;54 43 14,1443;25 14 06,8452;189,679;1,800;GPS:8 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:18 PM;
1;6065620,874;579544,074;165,298;54 43 14,3911;25 14 04,9479;190,327;1,800;GPS:9 GLS:0;RTK Fiks.,5/6/13;1:15 PM;

Priedas Nr. 2 *Garmin Nuvi 1490* matuotų taškų rezultatų failo fragmentas (prietaisas A)

nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 06T16:59:48Z	54,72 0589	25,23 4585	180 ,37	1 1	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43'14.1" E025°14'04.5"
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 06T16:59:48Z	54,71 9941	25,23 3312	168 ,6	1 0	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43'11.8" E025°13'59.9"
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 06T16:59:48Z	54,71 9534	25,23 3107	171 ,24	1 1	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43'10.3" E025°13'59.2"
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 06T16:59:48Z	54,71 9274	25,23 3272	175 ,57	1 2	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43'09.4" E025°13'59.8"
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 06T16:59:48Z	54,71 9083	25,23 377	170 ,04	1 3	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43'08.7" E025°14'01.6"
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 06T16:59:48Z	54,71 9013	25,23 4058	169 ,8	1 4	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43'08.4" E025°14'02.6"
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 06T16:59:48Z	54,71 8966	25,23 4419	168 ,84	1 5	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43'08.3" E025°14'03.9"
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 06T16:59:48Z	54,71 9139	25,23 4524	169 ,08	1 6	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43'08.9" E025°14'04.3"
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 06T16:59:48Z	54,71 9155	25,23 3896	171 ,96	1 7	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43'09.0" E025°14'02.0"
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 06T16:59:48Z	54,71 9888	25,23 3905	168 ,11	1 8	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43'11.6" E025°14'02.1"
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 06T16:59:48Z	54,72 0326	25,23 4453	171 ,24	1 9	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43'13.2" E025°14'04.0"
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 06T16:59:48Z	54,72 061	25,23 5196	171 ,72	2 2	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43'14.2" E025°14'06.7"
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 06T16:59:48Z	54,72 0305	25,23 5163	173 ,16	2 0	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43'13.1" E025°14'06.6"
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 06T16:59:48Z	54,72 0542	25,23 5842	174 ,12	3 3	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43'14.0" E025°14'09.0"

Priedas Nr. 3 *Garmin Nuvi 1490* matuotų taškų rezultatų failo fragmentas (prietaisas B)

nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 07T18:58:46Z	54,72 0652	25,23 4637	182 ,29	1	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43.239' E025°14.078'
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 07T18:58:46Z	54,71 9911	25,23 3235	162 ,59	1 0	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43.195' E025°13.994'
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 07T18:58:46Z	54,71 9492	25,23 3073	166 ,43	1 1	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43.169' E025°13.984'
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 07T18:58:46Z	54,71 9223	25,23 3268	174 ,36	1 2	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43.153' E025°13.996'
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 07T18:58:46Z	54,71 9054	25,23 3801	169 ,56	3 0	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43.143' E025°14.028'
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 07T18:58:46Z	54,71 8972	25,23 4086	167 ,63	1 4	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43.138' E025°14.045'
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 07T18:58:46Z	54,71 8915	25,23 4494	166 ,43	1 5	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43.135' E025°14.070'
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 07T18:58:46Z	54,71 9129	25,23 462	167 ,15	1 6	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43.148' E025°14.077'
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 07T18:58:46Z	54,71 924	25,23 4146	178 ,45	1 7	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43.154' E025°14.049'
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 07T18:58:46Z	54,72 0578	25,23 5103	173 ,88	2	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43.235' E025°14.106'
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 07T18:58:46Z	54,72 05	25,23 5874	171 ,24	3	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43.230' E025°14.152'
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 07T18:58:46Z	54,72 0353	25,23 5847	169 ,32	4	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43.221' E025°14.151'
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 07T18:58:46Z	54,72 0415	25,23 5314	166 ,19	5	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43.225' E025°14.119'
nūvi 1490	1, 1	http://www.Garmin.com	Garmin Internationa l	2013-05- 07T18:58:46Z	54,72 0412	25,23 4921	160 ,91	6	Wayp oint	Žemėlapiu taškai ir koordinatės	N 54°43.225' E025°14.095'

Priedas Nr. 4 *Nokia Navigation* matuotų taškų rezultatų failo fragmentas

1	54,71967	25,23434	Lietuva	Vilnius
2	54,72046	25,23540	Lietuva	Vilnius
3	54,72040	25,23573	Lietuva	Vilnius
4	54,72018	25,23579	Lietuva	Vilnius
5	54,72030	25,23544	Lietuva	Vilnius
6	54,72027	25,23486	Lietuva	Vilnius
7	54,72027	25,23486	Lietuva	Vilnius
8	54,72025	25,23421	Lietuva	Vilnius
9	54,72016	25,23313	Lietuva	Vilnius
10	54,71959	25,23470	Lietuva	Vilnius
11	54,72065	25,23474	Lietuva	Vilnius
12	54,71924	25,23327	Lietuva	Vilnius
13	54,71913	25,23388	Lietuva	Vilnius

Priedas Nr.5 „FoxPro“ programa *Koordanalize* koordinačių perskaičiavimo ir tikslumo skaičiavimo algoritmai

Elipsoidinių koordinačių transformavimo į LKS-94 koordinačių sistemą algoritmas

Lenteles sukurimas*

pav=thisformset.blrdb.text1.value

*READ

CREATE TABLE &pav (Tasko_Nr N(3), BL I(3), BM I(2), BS F(8,5), LL I(3), LM I(2), LS F(8,5), X N(12,4), Y N(11,4), Iranga C(20), XGPS N(12,4), YGPS N(11,4))

thisformset.blr.show

thisformset.blr.text15.Value=thisformset.blrdb.text1.value

thisformset.blr.text16.Value=thisformset.blrdb.text2.value

thisformset.blr.text17.Value =0

thisformset.blr.refresh

thisformset.blrdb.hide

IF thisformset.blr.text1.value>90 or thisformset.blr.text2.value>60 or
thisformset.blr.text3.value>60;
or thisformset.blr.text4.value>180 or thisformset.blr.text5.value>60 or
thisformset.blr.text6.value>60 THEN
thisformset.blr.label27.Visible= .T.

thisformset.blr.text1.value=0

thisformset.blr.text1.value=0

thisformset.blr.text2.value=0

thisformset.blr.text3.value=0

thisformset.blr.text4.value=0

thisformset.blr.text5.value=0

thisformset.blr.text6.value=0

thisformset.blr.text18.Value=0

thisformset.blr.text19.Value=0

*thisformset.blr.command1.Visible= .F.

ELSE

thisformset.blr.label27.Visible= .F.

BLN=thisformset.blr.text1.value

BMN=thisformset.blr.text2.value

BSN=thisformset.blr.text3.value

LLN=thisformset.blr.text4.value

LMN=thisformset.blr.text5.value

LSN=thisformset.blr.text6.value

skaiciavimai

L=(LLN+(LSN/60)+LMN)/60

B=(BLN+(BSN/60)+BMN)/60

A=6378137

L0=24

E=0.0818191910428110

E1=0.0820944381519123

M0=0.9998

RO=206265

C=A/(SQRT(1-E^2))

LR=(LLN+(LSN/60)+LMN)/60*PI()/180

BR=(BLN+(BSN/60)+BMN)/60*PI()/180

N=A/SQRT(1-E*E*SIN(BR)*SIN(BR))

I=L-L0

IR=I*PI()/180

T=TAN(BR)

N2=E1*E1*COS(BR)*COS(BR)

X2=(M0/(2*1^2))*N*COS(BR)*COS(BR)*T

X4=(M0/(24*1^4))*N*(COS(BR))^4*T*(5-T^2+9*N2)

X6=(M0/(720*1^6))*N*(COS(BR))^6*T*(64-58*T^2+T^4)

Y1=(M0/1)*N*COS(BR)

Y3=(M0/(6*1^3))*N*(COS(BR))^3*(1-T^2+N2)

Y5=(M0/(120*1^5))*N*(COS(BR))^5*(5-18*T^2+T^4+N2*(14-58*T^2))

E0=(C/1)*(1-(3/4)*E1^2+(45/64)*E1^4-(175/256)*E1^6+(11025/16384)*E1^8)

E2=C*((-3/8)*E1^2+(15/32)*E1^4-(525/1024)*E1^6+(2205/4096)*E1^8)

E4=C*((15/256)*E1^4-(105/1024)*E1^6+(2205/16384)*E1^8)

E6=C*((-35/3072)*E1^6+(315/12288)*E1^8)

SB=E0*BR+E2*(SIN(2*BR))+E4*(SIN(4*BR))+E6*(SIN(6*BR))

X0=M0*SB

```

XN=X0+X2*IR^2+X4*IR^4+X6*IR^6
YN=Y1*IR+Y3*IR^3+Y5*IR^5+500000

***tasko nr***
num=thisformset.blr.text17.Value
num=num+1
thisformset.blr.text17.Value=num

***isvedimas***
thisformset.blr.text9.value=BLN
thisformset.blr.text10.value=BMN
thisformset.blr.text11.value=BSN
thisformset.blr.text14.value=LLN
thisformset.blr.text12.value=LMN
thisformset.blr.text13.value=LSN

thisformset.blr.text7.value=XN
thisformset.blr.text8.value=YN

*****
Xg=thisformset.blr.text18.Value
Yg=thisformset.blr.text19.Value
*****
***pradiniu reiksmiu nulinimas***

thisformset.blr.text1.value=0
thisformset.blr.text1.value=0
thisformset.blr.text2.value=0
thisformset.blr.text3.value=0
thisformset.blr.text4.value=0
thisformset.blr.text5.value=0
thisformset.blr.text6.value=0
***
thisformset.blr.text18.Value=0
thisformset.blr.text19.Value=0

BLN=thisformset.blr.text9.value
bmN=thisformset.blr.text10.value
bsN=thisformset.blr.text11.value
lmN=thisformset.blr.text12.value
lsN=thisformset.blr.text13.value
llN=thisformset.blr.text14.value
xn=thisformset.blr.text7.value
yn=thisformset.blr.text8.value
ir=thisformset.blr.text16.value
pav=thisformset.blr.text15.value

INSERT INTO &pav (Tasko_Nr, BL, BM, BS, LL, LM, LS, X, Y, Iranga, Xgps, Ygps) VALUES (num, BLN, BMN,
BSN, LLN, LMN, LSN, XN, YN, IR, Xg, Yg)
endif

thisformset.blr.Refresh()

Importuotų duomenų tikslumo skaičiavimas

CREATE TABLE NokiaGPSImp (X1 N(12,4), Y1 N(11,4))
CLOSE tables
USE Nokiazrez.dbf
k=RECCOUNT()
i=1
DO WHILE i<=k
GO RECORD i
a=xn
b=yn
INSERT INTO NokiaGPSImp (x1,y1) VALUES (a,b)
i=i+1
ENDDO
CLOSE ALL
USE GPSrez.dbf
kiekis=RECCOUNT()
t=1
DO WHILE t<=kiekis
GO RECORD t

```

```

c=xgps
d=ygps
INSERT INTO NokiaGPSImp (x1,y1) VALUES (c,d)
t=t+1
enddo
CLOSE tables
CREATE TABLE Nokiatikslumas (X N(12,4), Y N(11,4), XGPS N(12,4), YGPS N(11,4))
CLOSE tables
USE import.dbf
q=RECCOUNT()
p=1
h=(q/2)+1
hh=q/2
w=1
DO WHILE w<=hh
GO RECORD p
xx=x1
yy=y1
GO RECORD h
xxgps=x1
yygps=y1
INSERT INTO Nokiatikslumas (X,Y,Xgps,Ygps) VALUES (xx,yy,xxgps,yygps)
p=p+1
h=h+1
w=w+1
enddo
CLOSE all

*****
thisformset.rez.show
thisformset.impduomtiksisk.Visible= .F.
DECLARE x1(100),y1(100),x2(100),y2(100),xvid(100),yvid(100),skx(100),sky(100)
sumax=0
sumay=0
USE Nokiatikslumas.dbf
go top
N=reccount()
go top
i=1
scan WHILE i<=N or not eof()
x1(i)=x
y1(i)=y
x2(i)=xgps
y2(i)=ygps
i=i+1
thisformset.rez.text6.Value=n
ENDSCAN
close databases
thisformset.rez.text5.Value='Nokia'
i=1
DO WHILE i<=N
xvid(i)=(x1(i)+x2(i))/2
skx(i)=(x1(i)-x2(i))*(x1(i)-x2(i))
yvid(i)=(y1(i)+y2(i))/2
sky(i)=(y1(i)-y2(i))*(y1(i)-y2(i))
sumax=sumax+skx(i)
sumay=sumay+sky(i)
i=i+1
enddo
mx=SQRT(sumax/(2*n))
mxv=mx/SQRT(2)
my=SQRT(sumay/(2*n))
myv=my/SQRT(2)
thisformset.rez.text1.Value =mx
thisformset.rez.text2.Value =mxv
thisformset.rez.text3.Value =my
thisformset.rez.text4.Value =myv

```