

VILNIAUS UNIVERSITETAS
MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ SISTEMŲ KATEDRA

Globalaus pozicionavimo sistemų duomenų tikslinimo tyrimas

Investigation of Global Positioning Systems Data Correction

Magistro baigiamasis darbas

Atliko: Tomas Lyčius (parašas)

Darbo vadovas: doc. dr. Sigita Dapkūnas (parašas)

Recenzentas: dr. Saulius Minkevičius (parašas)

Vilnius – 2009

Santrauka

Darbe yra analizuojama GPS veikimo principai nuo palydovų iki pat naudotojui pasiekiamų signalų. Nagrinėjant šiuos principus visur atsižvelgiama į galimas paklaidas ir tiriama koku būdu jos yra taisomos, siekiant sistemą padaryti kuo tikslesnę. Atlikus sistemos veikimo analizę daromas bandymas, siekiant nustatyti realiai gautų GPS duomenų paklaidą, matuojant taško poziciją. Taip pat tiriama skirtingų gamintojų GPS imtuvų tikslumo priklausomybė nuo imtuvo procesoriaus kanalų skaičiaus. Paaiškėja, jog rinkoje parduodami GPS imtuvai dirba labai panašiu tikslumu. Toliau darbe atliekama naudojamų GPS duomenų tikslinimo algoritmų analizė ir pasiūlomas judėjimo rastriniu žemėlapiu algoritmas pozicijos nustatymo paklaidų mažinimui bei judėjimo prognozavimui nutrūkus ryšiui su palydovais.

Raktiniai žodžiai: NMEA, GPS, duomenų tikslinimas, paklaidos, pozicionavimas.

Summary

This paper is a study of GPS operating principles from satellites to user-accessible signals. The examination is done by taking into account all the possible errors and how they are corrected in order to make the system more accurate. After system operation analysis tests of GPS data accuracy are made. The position of a point is measured using several GPS receivers. Those receivers are made by different manufacturers, so we can observe the dependency of accuracy according to manufacturer and different number of processor channels. It appeared that receivers have very similar errors. The work is continued by data accuracy improvement algorithms analysis. Finally an algorithm is suggested to improve positioning data precision moving on map and predict the event of a failure to communicate with satellites.

Keywords: NMEA, GPS, data correction, errors, positioning.

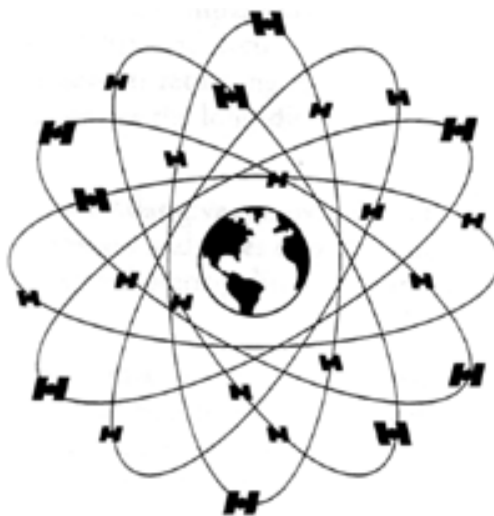
Turinys

Įvadas.....	6
1. Globalios navigacijos palydovų sistemos.....	8
1.1. GLONASS.....	8
1.2. Galileo	8
1.3. Beidou navigation system.....	9
1.4. GPS struktūra.....	9
1.4.1. Palydovų segmentas	10
1.4.2. Kontrolės segmentas.....	11
1.4.3. Naudotojų segmentas.....	12
1.5. GPS skaičiavimų pagrindas	13
1.5.1. Pozicijos skaičiavimas.....	13
1.5.2. Klaidų taisymas	14
1.5.3. Sagnac efektas	15
1.5.4. Reliatyvumas	15
1.5.5. Jonosferos korekcija	16
1.5.6. Troposferos korekcija.....	16
1.5.7. Aplinkos įvairialypiškumo korekcija.....	16
2. GPS gaunamų duomenų tyrimas	17
2.1. NMEA duomenys	17
2.2. GPS imtuvuose naudojami NMEA sakiniai	17
2.3. Atskaitos ir koordinatinių sistemų.....	19
2.3.1. Pasaulinė geodezinė sistema WGS 84.....	20
2.3.2. Lietuvos koordinatinių sistema LKS-94	20
2.3.3. UTM/UPS koordinatinių sistema.....	21
2.3.4. Apibendrinimas	22
2.4. Taško pozicijos matavimas ir rezultatų apdorojimo būdai.....	22
2.4.1. Programinė ir techninė įranga	23
2.5. Matavimo duomenų surinkimas	25
2.5.1. Asus A363N GPS imtuvas	25
2.5.1.1. Imtuvo aprašymas.....	25
2.5.1.2. Duomenų surinkimas ir jų trumpa analizė.....	26
2.5.2. Wintec G-Rays I GPS imtuvas	27
2.5.2.1. Imtuvo aprašymas.....	27
2.5.2.2. Wintec duomenų rinkimas ir trumpa analizė.....	28
2.5.3. Holux M-1000 GPS imtuvas	29
2.5.3.1. Imtuvo aprašymas.....	29
2.5.3.2. Holux siunčiamų duomenų rinkimas ir analizavimas.....	31
2.6. Tyrimo apibendrinimas	32
3. Duomenų apdorojimo algoritmų analizė	32
3.1. Duomenų vidurkio paieškos algoritmo tyrimas	33
3.2. „Fuzzy“ algoritmo analizė	34
3.3. Asistuojamas GPS	36
3.4. Kalmano filtras	38
3.5. Algoritmas judėjimui rastriniame žemėlapyje.....	38
3.5.1. Klaidų duomenyse aptikimas ir taisymas	40
3.5.2. Asistavimo galimybės	41
3.5.3. Duomenų palaikymas	41
3.5.4. Algoritmo apibendrinimas.....	42
Rezultatai ir išvados	44

Šaltinių sąrašas	46
Priedai.....	48

Įvadas

GPS (Globalaus pozicionavimo sistema) yra 24 palydovų sistema (1 pav.), skirta nustatyti žemėje esančio imtuvo poziciją. Sistemos palydovai skrieja orbitose taip, kad bet kuris imtuvas vienu metu gali „matyti“ bent keturis iš jų. Palydovai siunčia signalus, kuriuose užkoduotas išsiuntimo laikas bei palydovo pozicija erdvėje. Remiantis šiais duomenimis imtuvas gali paskaičiuoti savo poziciją. Šiuo metu GPS yra vienintelė pilnai funkcionuojanti globalios navigacijos palydovų sistema.



1 pav. 24 palydovai

Ši sistema tampa mūsų kasdienio gyvenimo dalimi, nes vis dažniau vietoj popierinio žemėlapio maršrutui susiplanuoti bei nuvykti į reikiamą tašką, mes pasinaudojame GPS pagalba įgyvendintomis navigacijos sistemomis. Šios sistemos plačiai naudojamos aviacijoje, laivyboje, o taip pat ir pirminio sistemos kūrimo tikslu – karo operacijose. Didelis sistemos pateikiamų duomenų tikslumas aktualus sporto šakose, tokiose kaip, karšto oro balionų varžybos, autosportas ir t.t.

GPS buvo sukurta Jungtinių Amerikos Valstijų Gynybos departamento kariniais tikslais, tačiau tapo atvira ir civiliams naudotojams. Ši sistema panaudojama navigacijoje, o taip pat sprendžiant įvairius agrarinius uždavinius, susijusius su teritorijų matavimu. Įmanomas panaudojimas verslo sistemose, kur svarbi darbuotojų ar darbo įrangos pozicija, pavyzdžiui, sistema įgyvendinta apsaugos sistemose bei stebint krovinių pervežimą, planuojant tvarkaraštį. GPS plačiai siejama su geografinėmis informacinėmis sistemomis [GIS07], nes gali būti panaudota, tiek žemėlapių kūrimui, tiek ir vėlesniems skaičiavimams atlikti. Eiliniam sistemos naudotojui, kuris įsigyja GPS imtuvą, yra svarbus tikslumas net ir tuomet, kai siekiama vien pasiekti tam tikrą tašką ar nuvykti kažkokiu adresu, nes mieste net ir penkiasdešimties ar dvidešimties metrų

paklaida gali reikšti ne tą sankryžą, kurioje reikia pasukti ar pravažiuoti tiesiai. Lygiai taip pat svarbus tikslumas ir įvairiuose atstumų matavimuose atliekamuose panaudojant Globalaus pozicionavimo sistemą bei kituose sistemos taikymuose.

Darbo tikslas yra atlikti Globalaus pozicionavimo sistemos veikimo analizę ir jos pagalba rasti galimybes pagerinti pozicijos nustatymą rastriniame žemėlapyje.

Darbe yra analizuojama GPS veikimo principai nuo palydovų iki pat naudotojui pasiekiamų signalų. Nagrinėjant šiuos principus visur atsižvelgiama į galimas paklaidas ir tiriama koku būdu jos yra taisomos, siekiant sistemą padaryti kuo tikslesnę. Naudotojui prieinama tik jam skirta sistemos dalis, be galimybės atlikti savo korekcijas aukštesnio sluoksnio duomenyse (t.y. negalime atlikti korekcijų signalo lygmenyje ar palydovų lygmenyje), tačiau darbe tyrinėjami sistemos kūrėjų naudojami metodai leidžia lengviau suprasti, iš kur atsiranda klaidos nustatant poziciją ir padeda priimti sprendimus apdorojant gaunamus duomenis.

Ištirus sistemos veikimo principus darbe yra tiriama realiai gaunama paklaida ir jos priklausomybė nuo GPS imtuvo. Analizuojami gaunami duomenys sekant taško pozicijos kitimą duomenyse (taškas yra vienas ir su nekintančia pozicija, kinta taško koordinatės matavimuose dėl paklaidų) ir nustačius paklaidas ieškoma būdų kaip jas mažinti. Taip pat atliekamas naujausių sistemos patobulinimų ir naudojamų duomenų tikslinimo algoritmų tyrimas bei pateikiamas judėjimo karšto oro balionu rastriniame žemėlapyje duomenų tikslinimo algoritmas. Atliekama pateikto algoritmo analizė.

Būtent tokio tipo algoritmo sudarymas ir analizė buvo pasirinkta siekiant nagrinėti judėjimą rastriniame žemėlapyje, kai nėra žinomas kelionės tikslas arba jis gali priklausyti nuo tam tikrų faktorių (pvz.: vėjo krypties, kito judančio objekto pozicijos kaitos ir pan.). Toks judėjimas yra vienas rečiausiai nagrinėjamų, kadangi dažniausiai GPS panaudojama keliauti nustatytais maršrutais vektoriniame žemėlapyje arba kokiems nors specifiniams uždaviniams spręsti.

1. Globalios navigacijos palydovų sistemos

Globalios navigacijos palydovų sistemos (angl. Global navigation satellite systems - GNSS) yra bendra sąvoka skirta apibūdinti visoms žemės palydovų pagalba veikiančioms pozicionavimo sistemoms, kurias sudaro žemėje esantys radijo bangų imtuvai, galintys nustatyti tikrą ilgumą, platumą bei altitudę, o taip pat žemės palydovai siunčiantys laiko signalus. Imtuvai taip pat gali būti naudojami preciziniam laiko nustatymui, su sąlyga, kad jie yra stacionarūs ir žinoma jų absoliuti pozicija. Toks imtuvų panaudojimas yra galimas atliekant įvairius mokslinius tyrimus.

NAVSTAR Globalaus pozicionavimo sistema (GPS aptariama šiame darbe) yra pasaulyje vienintelė šiuo metu pilnai funkcionuojanti GNSS. Tačiau ji nėra vienintelė tokia sistema apskritai. Rusija kuria ir plėtoja savo sistemą „GLONASS“. Ši sistema yra arčiausiai pilno funkcionavimo. Taip pat Europos sąjunga kuria savo sistemą „Galileo“. Ši sistema yra naujos kartos GNSS, turinti pradėti veikti 2013 metais. Kinija ketina savo lokalią navigavimo sistemą išplėsti iki globalios. Kinų sistema vadinasi „Beidou navigation system“. Egzistuoja ir kitos panašios sistemos, kurios vis dar kuriamos. [Int99]

1.1. GLONASS

Dar Sovietų Sąjungos sukurta navigacijos sistema skirta grynai kariniams tikslams. Po Sovietų Sąjungos iširimo sistema tapo pasiekiamą ir civiliams naudotojams, tačiau yra ribota ir nepilnai funkcionuojanti. Statistiniai skaičiavimai teigia, kad GPS ir GLONASS imtuvų pardavime 9 iš 10 pirkėjų yra civiliai sistemų naudotojai [Int99]. Ši sistema kaip ir GPS turi 24 žemės palydovus.

1.2. Galileo

Europos Sąjungos kuriama antros kartos navigacijos sistema. Šios sistemos pagalba tikimasi išgauti iki milimetro tikslumą, tačiau sistemą prognozuojama pradėti naudoti ne anksčiau kaip 2013 metais. Ši sistema turės 30 palydovų. Jie skries trejomis orbitomis, kuriose bus po devynis darbinis palydovus ir po vieną aktyvų atsarginį orbitos palydovą. Planuojama, kad imtuvai dirbs tiek su GPS tiek su Galileo palydovais, tokiu būdu suteikdami itin didelį precizinį tikslumą.

Europos sąjungos spaudos pranešimuose apie kuriamą „Galileo“ sistemą galima išveikti politinę sistemos kūrimo potekstę. Siekiama sukurti sistemą, kuri galėtų veikti ir karo metu, jei

staiga GPS ar GLONASS taptų nepasiekiamos arba pasiekiamos tik šalims kūrėjoms. Taigi panašu, jog ir dabartinėje situacijoje, kai išsivysčiusios šalys deklaruoja esančios prieš karą, vis dar dalis projektų turi karines potekstes, nors ir teigiama kitaip. [Int99]

1.3. Beidou navigation system

Tai yra Kinijos projektas. Jis kol kas nėra globalus ir turi gana ribotas veikimo zonas. Šiuo metu ši sistema turi 4 veikiančius palydovus. Planuojama praplėsti iki 35 palydovų. Veikimo seka [Bei02]:

- Nuotolinis terminalas siunčia signalą į dangų;
- Kiekvienas geostatinis palydovas priima signalą;
- Kiekvienas palydovas siunčia signalo gavimo laiką į žemėje esančią stotį;
- Žemės stotis skaičiuoja nutolusio terminalo ilgumą bei platumą bei pagal gautą rezultatą suranda vietovės aukštį iš žemėlapių;
- Žemės stotis siunčia rezultatus į palydovą;
- Palydovai transliuoja rezultatus į nutolusį terminalą.

1.4. GPS struktūra

GPS nėra vienintelė pozicionavimo sistema ir akivaizdu, kad ilgainiui gali tapti atgyvenusi. Tačiau faktas, jog šiuo metu tai yra vienintelė pilnai funkcionuojanti ir populiariausia iš visų veikiančių sistemų, skatina nenuvertinti jos galimybių. Tobulėjant technologijoms ši sistema taip pat turės keistis arba bus užmiršta. Planuojama sistemos integracija su Galileo sistema taip pat verčia nenuleisti rankų ir tobulinti esamą sistemą.

Pati sistema gali būti skaidoma į tris segmentus:

- Palydovų;
- Kontrolės;
- Naudotojų.

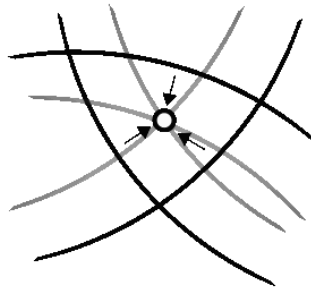
1.4.1. Palydovų segmentas

Palydovų segmentą sudaro 24 palydovai, skriejantys šešiose orbitose po keturis palydovus kiekvienoje. Dvidešimt vienas palydovas yra navigacinis, o likusieji trys atsarginiai. Šie palydovai skrieja orbitose esančioje 11000 jūrmilių aukštyje (t.y. maždaug 20200 km). Orbitos išdėstytos 60 laipsnių kampu viena kitos atžvilgiu. Toks palydovų išdėstymas leidžia visame pasaulyje bet kuriuo metu bet kurioje vietoje būti pasiektam bent penkių palydovų, ko pilnai pakanka normaliam funkcionavimui. Palydovų laikrodžiai yra itin tikslūs ir laiko paklaida juose neviršija trijų nanosekundžių. Palydovai siunčia sinchroninius laiko signalus ir žinutes, kuriuos gavę imtuvai gali iškoduoti ir skaičiuoti savo buvimo vietą. Laikas čia yra labai svarbus, kadangi jo dėka nustatoma kokį kelią nuo palydovo iki imtuvo nukeliavo signalas. [Ash03]

Palydovo žinutės sudarytos iš trijų dalių. Pirmojoje dalyje yra įrašytas laikas (savaitės laikas ir kuri tai savaitė) bei palydovo informacija. Antroji dalis vadinama „efemeride“. Trečioji dalis - „almanachas“. Žinutės siunčiamos paketais. Efemeridėje nurodomi palydovo orbitos duomenys. Šie duomenys yra atnaujinami kas dvi valandos ir yra aktualūs keturias valandas. Šių duomenų atnaujinimas yra labai svarbus tikslumui, nes jie koreguojami žemės stočių pagalba. Almanache yra koduojami orbitos duomenys. Šie duomenys atkeliauja per 25 freimus, taigi pilno almanacho surinkimas trunka 12,5 minutės. Senesni GPS imtuvai negalėdavo dirbti negavę pilno almanacho ir nesugebėdavo nustatyti pozicijos. Almanacho pagalba GPS imtuvai sugeba planuoti kada ir kokie palydovai bus matomi, norint laiku persijungti prie tinkamų palydovų žinučių ir tęsti darbą.

Yra du kodavimai: Coarse / Acquisition (C/A) ir Precise (P). Pirmasis yra skirtas viešajam naudojimui, o antrasis gali būti iškoduotas tik turint raktą. Jis skirtas kariniams tikslams.

Nemokamas ir laisvai prieinamas GPS signalas užkoduotas C/A kodavimu. Šio signalo duomenų tikslumas yra mažesnis nei privataus precizinio signalo. Kiekvieno palydovo siunčiamas signalas turi savo C/A šabloną, leidžiantį atpažinti palydovą. Šių šablonų duomenis imtuvai atrenka pagal almanacho duomenis. Tiek C/A, tiek P kodai yra siunčiami lygiagrečiai, tačiau C/A kodo dažnis yra mažesnis. Jis tesiekia 50Hz, kas reiškia signalo gavimą kas 20ms. P kodas siunčiamas kiekvieną milisekundę. [InS03] Apskaičiuojamas atstumas iki palydovo vadinamas pseudo atstumu. Pseudo atstumų susikirtimo taškas ir yra taškas, kuriame yra imtuvas (2 pav.)



2 pav. Pseudo atstumų susikirtimas

1.4.2. Kontrolės segmentas

Kontrolės segmentą sudaro penkios žemės stotys stebinčios palydovų buvimo vietas. Kontrolės segmentas yra stebėjimo sistema išdėstyta palyginti netoli ekvatoriaus (3 pav.)



3 pav. GPS žemės stotys. [Glo98]

Pagrindinė žemės stotis yra Falcon oro pajėgų bazėje Kolorado Springse, Kolorade.

Stebėjimo stotys matuoja palydovų signalus ir paskaičiavę orbitinius duomenis bei reikiamas laikrodžių korekcijas siunčia duomenis į pagrindinę stotį, kuri savo ruožtu nusiunčia palydovams reikiamų korekcijų duomenis. [Ash03]

1.4.3. Naudotojų segmentas

Šį segmentą sudaro visi GPS imtuvai, kurie gali būti tiek nešiojami, tiek integruoti į įvairias sistemas: automobilių, lėktuvų, kitų skraidančių, plaukiančių ar kitaip judančių aparatų navigacines sistemas, o taip pat ir įvairius įrenginius: nešiojamus, delninius kompiuterius ir t.t. GPS imtuvai gaudo palydovų siunčiamus signalus ir juos paverčia į pozicijos, greičio bei laiko duomenis. Imtuvas įrašinėja pozicijos duomenis ilgumos ir platumos pavidalu, tačiau gali perskaičiuoti į įvairias atskaitos ir koordinačių sistemas. [Ash03]

Pagrindinė GPS imtuvo dalis yra procesorius. Nuo procesoriaus priklauso imtuvo veikimo greitis, o taip pat, kas buvo itin jautri vieta su senesnių modelių GPS imtuvais, darbo pradžios laikas. GPS imtuvas vos įjungtas turi priimti jį pasiekiančius signalus iš jo buvimo vietoje matomų palydovų ir gavus informaciją nustatyti savo buvimo vietą bei pradėti navigaciją. Kaip buvo minėta palydovo žinutėmis pilnas almanachas atkeliauja tik per daugiau nei 12 minučių. Jei bent viena iš tų žinučių nepasiekia imtuvo arba jį pasiekia sugadinta – prisijungimo procesas pradedamas iš naujo. Tai yra naudotojo laiko gaišimas, galintis sukelti nepatogumų. Taigi akivaizdžiai kyla klausimai: kokie šiuo metu rinkoje laisvai parduodami GPS leidžia greičiau ir patogiau dirbti su sistema? Kokiu būdu pasiekiamas greitesnis prisijungimas?

Šiuos klausimus gali padėti atsakyti GPS imtuvų procesorių panagrinėjimas. Populiariausi procesoriai yra SIRF. Šiuo metu naujusias iš jų yra SIRF Star III. Teigiama, kad šis procesorius yra daug greitesnis nei jo pirmtakai.

Procesoriaus greičio paslaptis glūdi jo apdorojamų kanalų skaičiuje. Kanalų skaičius nurodo kiek palydovų vienu metu gali „gaudyti“ įrenginys. Iš pirmo žvilgsnio gali pasirodyti nelogiškas dvidešimties kanalų pasirinkimas, kai vienu metu bet kuriame taške praktiškai nebūna daugiau dešimties palydovų veikimo. Tačiau beprasmybė pradingsta pradėjus gilintis į pasijungimo procesą. Vos įjungtas imtuvas visų pirma iš eilės tikrina pirmuosius 12 palydovų, kurie tuo metu gali būti visiškai kitoje žemės rutulio pusėje. Tik negavęs signalo iš pirmųjų palydovų imtuvas tikrina kitus dvylika. Taigi yra gaištamas brangus naudotojo laikas. Turint galimybę dirbti iškart su 20 palydovų sumažėja iki minimumo tikimybė, kad nepavyks prisijungti pirma palydovų imtimi. Vėliau signalo stiprumui pagerinti žinoma bus tikrinami ir likusieji 4 palydovai, tačiau nereikia pamiršti, kad dalis jų atsarginiai. [Air07]

Taip pat mokslininkai dirba palydovų pasirinkimo algoritmų srityje. Atliekami tyrimai, kuriuos palydovus geriau pasirinkti, kaip geriausia gauti informaciją apie juos. Stebima ar verta dirbti su visais tuo metu prieinamais palydovais, ar geriau pasirinkti tik tuos, kurie yra geriausiai „matomi“, siekiant atmesti prastesnio signalo apdorojimą, kai galima geresnė alternatyva.

Nebūtinai arčiau esantis palydovas yra pats geriausias, nes jo „matomumo“ kampas gali būti toks, jog bus aprėpiama daugiau trikdžių turinčių zonų (kaip kad didesnis kelias jonosferoje ir pan.). Šioje srityje aktyviai dirba Stenfordo universiteto mokslininkai. [LNW+99]

1.5. GPS skaičiavimų pagrindas

GPS panaudojimas yra labai platus, tačiau jį būtų galima suskirstyti į dvi pagrindines grupes:

- GPS imtuvo vietos nustatymas;
- Palydovų vietos nustatymas.

Abu atvejai yra gana panašūs ir tiek pirmuoju, tiek antruoju atveju viskas atliekama pasitelkiant matematinį aparatą. Ypatingai šioje vietoje reikalingos geometrijos ir statistikos žinios. Pati sistema veikia trimatėje geometrinėje žemės paviršiaus bei palydovų orbitų erdvėje. Trimatės erdvės skaičiavimų transformavimas į dvimačius žemėlapių duomenis reikalauja daugybės projekcijos ir interpoliacijos skaičiavimų. Protingam sistemos panaudojimui taip pat būtina suvokti tikslumo ribotumą ir galimybes variacijų mažinimui.

Jei nebūtų signalo šaltinio lygio klaidų, tai pozicijos skaičiavimai taptų daug paprastesni, tikslesni ir greitesni. Būtų galima apsiriboti paprasta algebra bei sferine trigonometrija teturint du signalo šaltinius. Dabar netgi turint tris šaltinius GPS įrenginiai paprastai dirba mažu tikslumu ir teikia tik dvimačius skaičiavimus. Tuo tarpu „bendraudami“ su daugiau palydovų jie gali padėti nustatyti trimačius erdvės taškus (ilguma, platumą ir aukštis, o dvimatėje erdvėje, gauname projekciją į dvimatį žemėlapi be aukščio). [Tho98] GPS imtuvo pozicija nustatoma skaičiuojant laiko tarpą, kurį užima signalo kelionė nuo siųstuvo iki imtuvo. Tokio pobūdžio skaičiavimai vadinami trilateracija (angl. trilateration) yra artimi trianguliacijai (angl. triangulation). Skirtumas tik tas, kad skaičiavimams naudojamos trys tiesės vietoj trijų kampų. Matematiškai tai apima trijų lygčių sistemos sprendimą, paremtą Pitagoro teorema pritaikyta trimatei erdvei. Standartinės algebros bei geometrijos žinios reikalingos siekiant transformuoti palydovų teikiamą informaciją į tą koordinačių sistemą, kurioje yra dirbama. [Kop99]

1.5.1. Pozicijos skaičiavimas

Tarkime, turime 4 sinchronizuotus laikrodžius siunčiančius žinutes iš pozicijų r_j laikais t_j su indeksu $j = 1,2,3,4$ nurodančiu skirtingus siunčiančius elementus. Tie keturi signalai yra

sugaunami pozicijoje r laiko momentu t , tuomet paėmus šviesos greitį, lygų 299792458 m/s, galime sudaryti lygtis:

$$c^2 (t - t_j)^2 = |r - r_j|^2, j = 1,2,3,4.$$

Gautos keturios lygtys sudarius lygčių sistemą gali būti sprendžiamos siekiant rasti $\{r,t\}$ koordinates. GPS veikimas pagrįstas šviesos greičio pastovumo koncepcija. [Ash03]

1.5.2. Klaidų taisymas

Deja paprastas ir iš pirmo žvilgsnio idealus GPS duomenų apdorojimas neapsieina be klaidų, kurių šaltiniais gali būti:

- Siųstuvo ir imtuvo laikrodžių suderinimo klaidos;
- Gamtinių sąlygų pokyčio sukeltos klaidos;
- Pats palydovas gali būti ne būtent toje vietoje, kurią deklaruoja siųsdamas signalus;
- Dėl reliatyvumo veiksnių atsirandantys duomenų nukrypimai.

GPS siųstuvo ir imtuvo laikrodžių suderinimu rūpinasi siųstuvai. Vietoj pakankamų trijų, naudodami keturis palydovus vienu metu, imtuvai gali paskaičiuoti galimus laiko nuokrypius.

Kadangi duomenų klaidos, kylančios dėl atmosferinių sąlygų, yra sukeltos visam tam tikram regionui, o ne individualiai tam tikriems imtuvams, tai šių klaidų prevencija yra atliekama montuojant žemės stotis, kurios žino savo tikslią buvimo vietą ir, gavusios duomenis iš palydovų, gali paskaičiuoti duomenų nukrypimus ir pataisytus duomenis retransliuoti savo aptarnaujamoje teritorijoje. [Arp02]

Paskaičiuota, kad netaisant aukščiau išvardintų duomenų tikslumo gaunama maždaug 100 metrų paklaida, kuri ne visuomet gali būti priimtina. Pritaikius pataisymus, paklaida sumažinama iki 10 metrų ir mažiau. Civiliam panaudojimui tokia paklaida dažnai yra priimtina. Atlikti skaičiavimai parodė, jog vienos bilijonosios sekundės paklaida tampa vienos pėdos paklaida pozicijos skaičiavime.

Deklaruojamas standartinio pozicionavimo serviso (standartinis pozicionavimo servisas - visiems prieinami GPS signalai) tikslumas:

- 100 metrų horizontalus;
- 156 metrų vertikalus;
- 340 nanosekundžių laiko tikslumas.

GPS yra viena iš nedaugelio sistemų (išskyrus didelius energijų virsmus), kur susiduriama su reliatyvumo teorija. 1997 m. paleidus pirmąjį palydovą buvo pastebėta, kad dėl reliatyvumo

per parą būtų gaunama net 38000 nanosekundžių paklaida, todėl ir buvo įvestos korekcijos, kurios daromos nuolatos. Šiuo metu jau praktiškai neįmanoma pastebėti šių paklaidų.

Kadangi reliatyvumo sukeltos paklaidos yra itin svarbios ir moksliskai įdomios, tai šiek tiek išsamiau jos panagrinėtos 3.4 skyrelyje.

1.5.3. Sagnac efektas

Prancūzų fiziko Sagnac garbei pavadintas efektas daugiausia sutinkamas lazerinėje fizikoje.

Šis efektas pozicionavimo sistemose yra susijęs su žemės sukimusi apie savo ašį. Kadangi kaip žinome laikas gali būti paskaičiuojamas tam tikram žemės taškui tam tikru momentu, tai gaunamos paklaidos dėl to, kad yra signalo nuokrypiai. Nors jis ir siunčiamas tiesia trajektorija į tam tikrą tašką, tačiau dėl efekto ta trajektorija iškreipiama. Šis efektas kasdieniam gyvenime beveik nereikšmingas, tačiau GPS dirba su nanosekundėmis, kur imtuvo judesys atstumo paskaičiavimui pagal laiko momentą gali turėti sistemos netikslumą sukeliančių padarinių. [Ref04]

Šio efekto vengimu rūpinasi patys GPS imtuvai paskaičiuodami savo judėjimą ir pagal tai atlikdami duomenų korekciją.

1.5.4. Reliatyvumas

Reliatyvumo efektai palydovų laikrodžiams gali būti sprendžiami dviejų korekcijų pagalba. Visų pirma, vidutiniškas laikrodžių dažnio pokytis orbitose gali būti pataisomas mažinant dažnį 446,47 dalimis iš 10^{12} . Tokia pataisa yra paskaičiuojama panaudojant kelis reliatyvių efektų šaltinius: gravitacinio dažnio poslinkį sąlygoja žemės laikrodžių netikslumas dėl žemės planetos vienapoliariškumo ir keturpoliariškumo, gravitacinio dažnio poslinkiai palydovų laikrodžiuose, antros eilės Doplerio poslinkiai dėl palydovų ir fiksuotų žemės laikrodžių tarpusavio judesio. Antra korekcija reikalinga dėl palydovų orbitų ekscentriškumo, kuris sąlygoja kintantį gravitacinio ir judesio dažnių poslinkius, keičiantis palydovų atstumui nuo žemės paviršiaus. Ši korekcija yra periodinė ir yra proporcinga orbitos ekscentriškumui. 0.01 eilės ekscentriškumui pokyčio amplitudė yra 23 nanosekundės. Ankstyvose GPS gyvavimo stadijose dėl palydovų kompiuterinių resursų ribotumo buvo nuspręsta, kad ši korekcija turėtų būti atliekama imtuvuose. Tai korekcija, kuri turi būti pritaikyta atsižvelgiant į esamą signalo siuntimo laiko momentą ir

paskaičiuotas laiko nuokrypis atsižvelgiant į žinutėje užkoduotą palydovo orbitos nuotolį signalo siuntimo metu.

1.5.5. Jonosferos korekcija

Jonosfera yra viršutinis jonizuotas atmosferos sluoksnis, esantis virš stratosferos (~60km) ir besitęsiantis iki 500km aukščio. Šiame sluoksnyje esančios dujos yra jonizuotos saulės ultravioletinių bei rentgeno spindulių ir dalelių srauto. Dėl jonizacijos susidaro laisvųjų elektronų debesys, kurie pristabdo GPS signalus ir gaunamas tų signalų vėlavimas. Didžiausia problema yra, kad laisvųjų elektronų kiekis yra kintamas ir priklauso nuo paros laiko bei saulės intensyvumo. Signalo uždelsimas gali siekti nuo 0.5m iki 50m paklaidą imtuvo gaunamuose duomenyse. Šio tipo paklaidos yra taisomos panaudojant Klobučaro modelį, kuris skirtas paskaičiuoti elektronų kiekiai tam tikru metu. GPS imtuvui pateikiama reikiama laiko korekcija, kuri leidžia sumažinti paklaidą mažiausiai 50%. [Gus05]

1.5.6. Troposferos korekcija

Troposferinė korekcija yra skirta troposferoje atsirandančiai paklaidai likviduoti. Troposfera yra apatinis atmosferos sluoksnis, kuriama GPS signalui pagrindinę įtaką daro klimato drėgmė. Sausos aplinkos korekcija yra paprasta, tačiau drėgna aplinka gali sudaryti skirtingas paklaidas, priklausomai nuo drėgmės kiekio. Panaudojus Hopfieldo modelį atliekama troposferos korekcija. [Gus05]

1.5.7. Aplinkos įvairialypiškumo korekcija

Aplinkos įvairialypiškumo koregavimas yra gana sunkiai pasiekiamas, nes gana sunku nustatyti kuris GPS signalas yra tiesiogiai gaunamas iš palydovo, o kuris yra atspindėtas nuo kokio nors pastato ar kito aplinkos objekto. Signalo atspindys nuo objekto paprastai yra nukeliavęs ilgesnį kelią nuo palydovo, taigi ir ilgiau užtrukęs. Sugaištas laikas įvelia klaidų į pozicijos skaičiavimo. Šio efekto galima išvengti tuomet, kai įmanoma pasirinkti vietą navigavimui be signalus atspindinčių objektų. Taip pat problema sprendžiama kuriant tam tikru kampu veikiančias GPS imtuvo antenas, sugebančias gaudyti signalus, kurie atkeliauja tik galimu

palydovui kampu. Taip pat tokio pobūdžio klaidas galima koreguoti jei dirbama su didesniu kiekiu palydovų ir lyginamos skirtingos tų palydovų kombinacijos, kurių dėka atmetami to palydovo signalai, kurie duoda nuokrypį lyginant su kitais. [Gus05]

2. GPS gaunamų duomenų tyrimas

2.1. NMEA duomenys

NMEA yra Nacionalinės Jūrinės Elektronikos Asociacijos (angl. National Marine Electronics Association) trumpinys, kuris taip pat naudojamas ir pagal šios asociacijos standartus pateikiamiems duomenims pavadinti. Šiems duomenims naudojama ASCII koduotė, juos siunčiant serijiniais portais. NMEA duomenų specifikacija naudojama ne vien GPS duomenų apsigėitimui su kompiuterine įranga, o taip pat ir echolotų, anemometrų, girokompasų, autopilotų ir kitų įranginių duomenims perduoti. Duomenų bodo dažnis (angl. Baud rate) yra nuo 4800, 8 bitų duomenys, be analogijos ir pasisveikinimo su vieno ar daugiau bitų stabdymu.

NMEA žinučių sandara:

- Žinutės pradamos dolerio ženklu „\$“;
- Sekantys penki simboliai identifikuoja žinutės tipą;
- Visi leidžiami žinutės laukai atskiriami kableliais;
- Duomenų sakinio pabaigos simbolis yra žvaigždutė „*“;
- Sakinio ilgis užrašomas iškart po žvaigždutės. Šie simboliai gali būti pasirinktinai pagal poreikį, nes tikrinimas nėra privalomas;
- Taip pat yra sakinio pabaigos žymės <CR><LF>.

NMEA duomenų standartas yra nuolatos atnaujinamas ir yra galimos kelios jo versijos, tačiau esminė sakinių sintaksė yra nekeičiama. [Nat08]

2.2. GPS imtuvuose naudojami NMEA sakiniai

Kuriant programinę įrangą neretai pasirenkama apdoroti NMEA sakinius, kuriuos gali į kompiuterį siųsti daugelis šiuolaikinių GPS įrenginių. Svarbu žinoti, kuriuos sakinius derėtų apdoroti ir kaip juos teisingai interpretuoti siekiant gauti kuo tiksliau su duomenimis dirbančią programinę įrangą.

Kai kurie GPS įrenginiai leidžia pasirinkti ir siųsti tik reikiamus sakinius, tokiu būdu sumažinant duomenų srautą į programinę įrangą ir optimizuojant gaunamų duomenų apdorojimą.

Anksčiau minėtas po sakinio pabaigos einantis skaičius nurodo nuskaityto sakinio ilgį. Jei nuskaityto sakinio ilgis nesutampa su šiuo skaičiumi, tai galima daryti išvadą, kad gauti sugadinti duomenys ir apdoroti toliau einantį sakinį.

Pagrindiniai sakiniai naudojami GPS imtuvuose išvardinti ir paaiškinti žemiau. Visi šie sakiniai turi prefiksą „GP“ reiškiantį, kad NMEA sakinytis yra skirtas GPS imtuvui [Sir05]:

- AAM – atvykimo į tašką aliarmas;
- ALM – almanacho duomenys;
- APA – autopiloto A sakinytis;
- APB – autopiloto B sakinytis;
- BOD – reikalinga kryptis;
- BWC – kryptis naudojant didžiojo rato kursą;
- DTM – naudojama atskaitos sistema;
- GGA – pozicijos informacija;
- GLL – ilgumos platumos duomenys;
- GRS – GPS paklaida;
- GSA – bendra palydovo informacija;
- GST – GPS pseudo paklaidos triukšmų statistika;
- GSV – detali palydovo informacija;
- MSS – signalo imtuvo statuso informacija;
- RMA – rekomenduojami Lorano (tolimojo veikimo radionavigacijos sistemos) duomenys;
- RMB – rekomenduojami navigacijos duomenys GPS imtuvui;
- RMC – rekomenduojami minimalūs duomenys GPS imtuvui;
- RTE – kurso žinutė;
- TRF – persiuntimo pataisymo duomenys;
- STN – daugialypių duomenų ID;
- VBW – dvilypis Žemė/Vanduo greitis;
- VTG – vektorinis kelias ir greitis žemės paviršiuje;
- WCV – taško artėjimo greitis (kai keliaujama teisingu maršrutu);
- WPL – taško vietos informacija;
- XTC – kelio kirtimo klaida;
- XTE – kelio kirtimo skaičiavimo klaida;
- ZTG – Zulu (UTC) laikas ir laikas iki kelionės tikslo;
- ZDA – data ir laikas.

2.3 NMEA versijoje atsirado duomenų indikatoriai: A = autonominis, D = diferencialinis, E = apytikris (angl. Estimated), N = negaliojantis, S = simuliuojamas. Kartais galima ir NULL reikšmė. Tik A ir D reikšmės nurodo aktyvų ir patikimą sakinį. Tokie reikšmių indikatoriai galimi RMC, RMB, VTG, ir GLL sakiniuose, o pasirinktinai ir keliuose kituose, pvz. BWC bei XTE sakiniuose.

Įvairūs GPS imtuvai gali formuoti šiek tiek skirtingas NMEA sakinių sekas, kadangi skirtingi gamintojai turi skirtingą požiūrį į tam tikrų sakinių reikalingumą. Tarkim, dalis gamintojų gali manyti, jog kelio klaidos pranešimai yra nebūtinai naudotojo programinei įrangai, nes tuos sakinius ignoravus nauji signalai tiesiog užglaistys blogų duomenų srautą ir darbas nesutruks. Kiti šiuo atveju pateiks klaidos pranešimą ir paliks programinės įrangos kūrėjams teisę spręsti, ar tokius pranešimus verta apdoroti ir kaip programinė įranga į juos turi reaguoti. [NMEA03]. Praktiškai nei vienas GPS imtuvas neapsieina be šių sakinių:

- \$GPGGA;
- \$GPGSA;
- \$GPGSV;
- \$GPRMC.

Dalis gamintojų leidžia programinės įrangos (pateikiamos su imtuvu) pagalba patiems nustatyti, kuriuos sakinius atvaizduoti, o kuriuos tiesiog ignoruoti.

2.3. Atskaitos ir koordinačių sistemos

Atskaitos ir koordinačių sistemos yra geografiniai terminai leidžiantys dirbti su žemėlapiais, juose naviguoti. Mokyklos kurse mokiniai yra supažindinami su globalia koordinačių sistema, kurios atskaitos taškas yra Grinviče esanti nulinė ilgumos koordinatė ir žemės pusiaujaus. Ši sistema yra globali ir vienareikšmiškai nurodo taško vietą žemės rutulyje, tačiau tuo pačiu ši sistema yra nepatogi naudojantis topografiniais žemėlapiais, kadangi plokščioje projekcijoje gaunamos koordinačių linijos ant žemėlapiro nėra tiesės, o tai apsunkina atstumų skaičiavimus. Dar sudėtingiau tampa ašigaliuose, nors juose naviguojama rečiau nei kituose regionuose. Siekiant išvengti panašių problemų yra kuriamos tiek lokalias tiek ir globalios koordinačių sistemos, nurodančios kaip žemė turi būti atvaizduojama plokštumoje, kad visi atstumai būtų pamatuojami liniuote ir padauginus iš mastelio būtų gaunamas pakankamai tikslus rezultatas be tolimesnių interpretacijų.

Daugelis šalių turi savo valstybės valdymo organų priimtas sistemas naudojamas geodeziniuose matavimuose, žemėtvarkoje. Tokią sistemą turi ir Lietuva – tai LKS-94. LKS –

Lietuvos koordinacių sistema. Pasaulyje gana plačiai paplitusi UTM/UPS koordinacių sistema. Ši sistema yra patogi tuo, kad pačios koordinatės atspindi atstumus metrais. Šios sistemos pagrindu sukurta ir LKS. Kaimyninės Lenkijos pietuose naudojami žemėlapiai, kurie parengti pagal Pulkovo koordinacių sistemą.

2.3.1. Pasaulinė geodezinė sistema WGS 84

Koordinacių sistema nėra vienintelis dalykas apsprendžiantis žemėlapių atvaizdavimą. Antras ne mažiau svarbus dalykas yra atskaitos sistema. Plačiausiai naudojama WGS 84 sistema. (angl. WGS – World Geodetic System)

Geodezinė sistema yra svarbi atskaitai, kadangi žemė nėra ideali sfera ir galimi įvairūs nukrypimai. Pasaulinė geodezinė sistema yra svarbi kaip ir kiekvienas pasaulinis standartas tuo, kad padeda suderinti įvairias naudojamas sistemas, joms pritaikant tam tikras korekcijas.

WGS 84 paskutinį kartą inspektuota 2004 metais ir ši inspekcija galioja iki 2010 metų. Tokie tikrinimai yra atliekami periodiškai, kadangi iš vienos pusės šiek tiek kinta žemės paviršius, o kitas dalykas, tobulėjančios technologijos, kurios leidžia vis kitaip pažvelgti į senus visiems žinomus skaičiavimus ir juos patikslinti.

WGS 84 šiuo metu nustatytas nulinis meridianas yra maždaug 100m į rytus nuo Grinvičo meridiano esančio Jungtinėje Karalystėje.

Ši sistema nėra vienintelė tiek globaliu, tiek ir lokaliu atžvilgiu. WGS 84 pirmtakė WGS 72 pasirodžiusi 1972 metais buvo naudojama iki 80-ųjų, kai tapo aišku, kad jos tikslumas nepakankamas. [EI98]

2.3.2. Lietuvos koordinacių sistema LKS-94

LKS-94 yra oficiali Lietuvos Respublikos koordinacių sistema patvirtinta Lietuvos Respublikos Žemės ūkio ministro 2004 m. liepos 16 d. įsakymu. Šios sistemos naudojimas paskelbtas pagrindiniu valstybiniu ir tik pagal šią sistemą atlikti skaičiavimai yra laikomi galiojančiais, išskyrus tarptautinius susitarimus. [Lie04] Kadangi ši sistema yra vidinė šalies sistema ir pritaikyta būtent valstybės poreikiams, tai ji neturi atskirų regionų, kaip kad toliau aptariama UTM/UPS sistema. LKS-94 regionas yra Lietuvos Respublikos teritorija. Lietuvoje georeferencinius duomenis tvarko valstybės įmonė Distancinių tyrimų ir geoinformatikos centras „GIS-Centras“.

2.3.3. UTM/UPS koordinačių sistema

Šių globalių koordinačių sistemų sąjunga yra universali koordinačių sistema. (UTM – Universal Transversal Mercator. UPS - Universal Polar Stereographic.) Ji pasaulį padalina į regionus, kurie turi savo pavadinimus pagal ilgumą ir platumą, kurioje atsiduria. [Wha04]



4 pav. UTM/UPS koordinačių sistema

Paveikslėlyje matosi, kad ilguma, dalinant regionais, žymima skaičiais, o platumą raidėmis. Lietuva šioje sistemoje patenka į keturių regionų susikirtimo zoną. Teritorijos esančios regionų susikirtimo zonose šiek tiek apsunkina darbą su duomenimis, nes esant reikalui nurodyti tašką koordinatėmis GPS imtuvui tenka nurodinėti ir kitą regioną, nei šiuo metu naudojamas. Dėl paprasčiausio užmaršumo įvestas taškas gali pasirodyti esąs už tūkstančių kilometrų. Žinoma, užmaršumas yra užmiršusiojo bėda, tačiau sistemos yra kuriamos tam, kad jų naudotojai galėtų išnaudoti teikiamas galimybes su minimaliomis pastangomis. Tai bene pagrindinė priežastis, kodėl dauguma šalių yra susikūrę ir pripažinę savo šalies koordinačių sistemas, apimančias visą valstybės teritoriją.

GPS įrenginiai puikiai dirba šioje sistemoje ir be didesnių problemų iš vieno regiono persijungia į kitą. Su didesnėmis problemomis susiduriama dirbant su popieriniais žemėlapiais arba kuriant programinę įrangą (kuri šiuo atveju turi panašumo į darbą su popieriniu žemėlapiu),

kai konvertavimus iš vieno regiono tenka naudotojui ar programuotojui konvertuoti atliekant skaičiavimus, taikant turimas žinias.

2.3.4. Apibendrinimas

Šiame skyrelyje aptartos pasaulyje šiuo metu populiariausios atskaitos bei koordinacių sistemos, kurios sutinkamos daugumoje programinės įrangos jei ne kaip sistemos pagal nutylėjimą, tai bent jau kaip pasirenkamos. Taip pat trumpai aprašyta šiuo metu Lietuvoje oficiali koordinacių sistema pritaikyta šalies poreikiams. Šių sistemų supratimas ir gebėjimas konvertuoti iš vieno į kitas yra labai svarbus dirbant su skaitmeniniais žemėlapiams.

2.4. Taško pozicijos matavimas ir rezultatų apdorojimo būdai

Su duomenimis tenka dirbti visose informacinėse sistemose. Tų duomenų apdorojimas ir yra svarbiausioji sistemų užduotis. Tam yra sugalvota daugybė įvairių algoritmų ir taisyklių padedančių darbą atlikti kuo greičiau ir kokybiškiau, išvengiant klaidų. Dideli duomenų kiekiai, kurie privalo būti apdoroti realiu laiku kelia daugiausia problemų, todėl plačiai ieškoma sprendimų. Viena iš sričių, kurioje tiriama duomenų tarpusavio sąsaja ir apdorojimo galimybės yra duomenų sintezė (angl. Data fusion) [HL97]. Nors tai ir platesnė nei darbe nagrinėjama sritis, tačiau joje tiriamos giminingos problemos. Vienas paprasčiausių duomenų sintezės pavyzdžių yra žmonių suvokimas. Mes turime kelis jutimo organus ir sugebame vienu metu apdoroti visą gaunamą informaciją ir elgtis pagal situaciją, t.y. jei kažką gerai girdime, tačiau nematome, vadovaujamės klausia, o taip pat galime pasinaudoti lytėjimu. Taip pat gauname ir nevienalyčius duomenis, kai vieni jutimo organai renka vieno tipo informaciją, o kiti papildo. Tai yra svarbu multisensorinėse sistemose, kurios dirba su keliais sensoriais ir jų siunčiamus duomenis tenka apdoroti kaip vientisą informaciją. Panagrinėjus metodus galima išvelgti panašumų su GPS imtuvų gaunamais duomenimis, nors pats imtuvas ir vienas, tačiau jis apdoroja keleto siųstuvų duomenis ir juos pateikia dideliu srautu, kuris turi iškraipymų. Duomenų sintezė leidžia pritaikyti duomenų išrankos metodus ir vienalyčiams duomenims, juk nėra taip svarbu ar duomenų šaltiniai yra keli, jei ir vienas šaltinis (mūsų atveju GPS imtuvas) geba parūpinti dideliu kiekiu duomenų, kurie nėra tiek tikslūs, kiek norima. Išskiriamos dvi architektūros duomenų sintezei: vietovės informacijos sintezė ir parametrinių duomenų sintezė. Yra keli sintezės būdai: centralizuota, autonominė ir hibridinė sintezė.

Be plačiai pritaikomų mokslo šakų, kaip duomenų sintezė, yra kuriami ir labiau pritaikyti metodai GPS pozicionavimui: geometriniai metodai, sąlyginės tikimybės metodai bei kiti. Žinoma visi šie mokslai kartais nejučiomis gali ir persipinti bei gali būti sunku pasakyti, kuriai konkrečiai sričiai derėtų priskirti algoritmą.

Darbe tyrimo atlikimui buvo pasitelkti trys skirtingi GPS imtuvai, kurių pagalba buvo penkias minutes fiksuojamas vienas ir tas pats taškas. Stebėjimas vyko nuosekliai, t.y. surinkus duomenis vienu imtuvu, toliau buvo renkama kitu. Taškų duomenys buvo įrašomi į tekstinį failą. Surinkus duomenis buvo parašyta taikomoji programa skirta jų apdorojimui:

- Maksimaliai nutolusių taškų suradimui;
- Atstumo tarp taškų suradimui;
- Taškų išsidėstymo erdvėje atvaizdavimui.

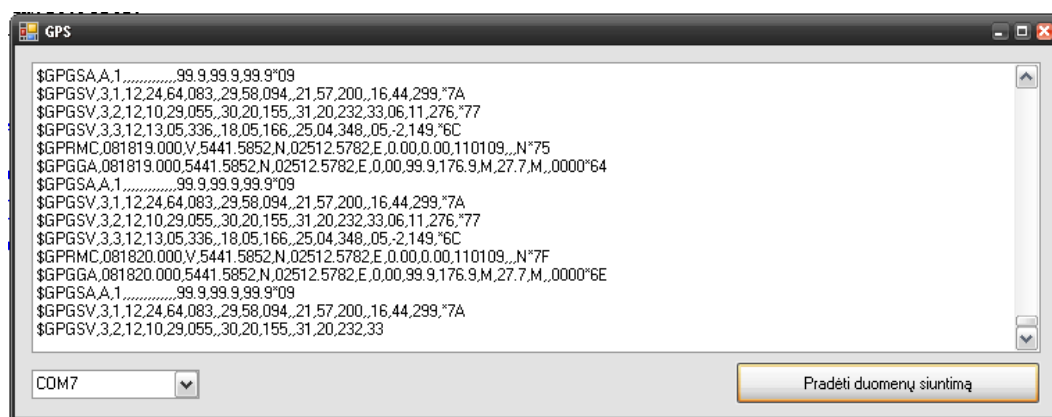
Atlikus šią trumpą analizę, toliau darbe nagrinėjami galimi panaudoti algoritmai, kurių pagalba būtų galima sumažinti pozicijos duomenų paklaidas. Be algoritmų analizės, dar atliekamas bandymas: imami kiekvieno GPS imtuvo pateikti duomenys ir ieškomi vidurkiai tarp gretimų taškų. Šis metodas parodė, kad paklaida sumažėja, ir visi taškai pasislenka link dominuojančiųjų.

2.4.1. Programinė ir techninė įranga

Pradedant darbą su GPS visų pirma tenka išsiaiškinti, koku būdu imtuvas duomenis pateikia naudotojo programinei įrangai. Šioje vietoje sistema yra pilnai sutvarkyta ir duomenys yra pilnai struktūrizuoti nei standartizuoti. Duomenys siunčiami NMEA formatu [Nat08]. NMEA yra duomenų struktūra (standartas), kurio viena iš paskirčių yra vienareikšmiškai interpretuoti iš GPS gaunamus duomenis. Šio duomenų srauto gavimas yra vienas pirmųjų žingsnių kuriant GPS programinę įrangą, kuri skirta darbui realiu laiku su GPS duomenimis. Kiekvienas GPS imtuvų gamintojas be šio duomenų tipo dažniausiai dar naudoja vidinį imtuvo duomenų valdymo standartą. Šie duomenų apsikeitimo ir įrenginio valdymo standartai paprastai skirti arba duomenis renkantiems bei saugantiems įrenginiams (angl. Loggers), arba savyje programinę įrangą turintiems imtuvams, kurie standartiškai dirba su koordinatėmis neatsižvelgiant į žemėlapius. Antrieji įrenginiai dažniausiai skirti aviacijai ar navigacijai miškuose, vandens telkiniuose, kur paprastai nėra konkrečių kelių arba keliai yra vietinės reikšmės. Trečia įrenginių rūšis yra tiesiog imtuvai, savyje neturintys nei programinės įrangos, nei valdymo interfeiso. Jie sugeba „gaudyti“ siųstuvų siunčiamus duomenis ir juos perduoti tretiesiems įrenginiams – kompiuteriams, išmaniesiems telefonams, kišeniniams bei delniniams kompiuteriams ir pan. Šiame darbe vidiniai

GPS įrenginių valdymo ir komunikacijos standartai nėra nagrinėjami. Darbe nagrinėjami iš palydovų siunčiami duomenys, kurie jau yra apdoroti GPS imtuvo procesoriaus ir pateikiami naudotojui kaip NMEA sakiniai.

Dauguma imtuvų bendravimui su kompiuterine įranga turi kokį nors interfeisą. Dažniausiai jungiami USB arba Bluetooth pagalba, emuliuojant COM portą. Žinant kuris COM portas yra panaudotas bendravimui su GPS imtuvu gana nesudėtinga parašyti programėlę, kuri galėtų atvaizduoti šiuos duomenis. Panaudojus Microsoft Visual Studio 2005 ir keletą standartinių bibliotekų (System.IO.Ports, System.Data ir pan.) galima sukurti nedidelės apimties programėlę (5 pav.), gebančią iš GPS imtuvo priimti NMEA duomenis.



5 pav. Programėlė NMEA duomenų rinkimui.

Bandymams buvo panaudoti trys GPS imtuvai:

- ASUS A363N delninio kompiuterio vidinis GPS imtuvas su SIRF III 20 kanalų GPS procesoriumi [Sir05];



6 pav. Delninis kompiuteris ASUS A363N.

- Wintec G-Rays I GPS imtuvas su 16 kanalų GPS procesoriumi;



7 pav. Wintec G-Rays I GPS imtuvas

- Holux M-1000 GPS imtuvas su 32 kanalų GPS procesoriumi.



8 pav. HOLUX M-1000 GPS imtuvas

Visi trys imtuvai turi skirtingus procesorius, todėl galima daryti objektyvesnias išvadas apie duomenų svyravimus nepriklausomai nuo konkretaus imtuvo procesoriaus tipo.

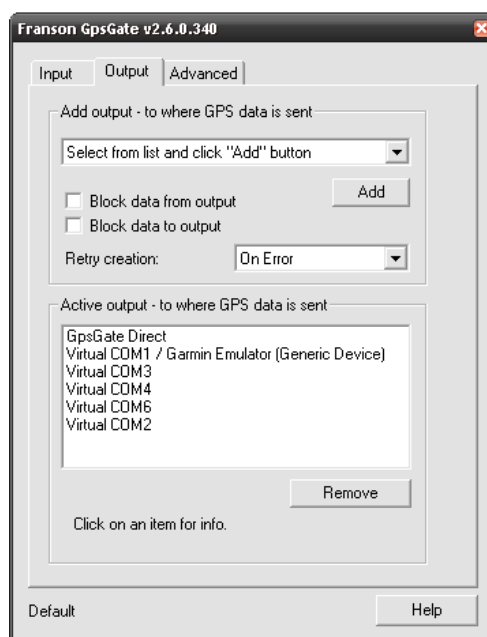
2.5. Matavimo duomenų surinkimas

Atliekant duomenų tikslumo tyrimą buvo pasitelkti trys skirtingi GPS imtuvai, siekiant nustatyti, ar imtuvo modelis taip pat turi įtakos gaunamų duomenų tikslumui. Skiriasi ne vien imtuvų procesoriai, o taip pat ir sąsaja su programine įranga. Visi šie imtuvai palaiko tą patį NMEA duomenų standartą.

2.5.1. Asus A363N GPS imtuvas

2.5.1.1. Imtuvo aprašymas

Siekiant prisijungti prie ASUS delninio kompiuterio vidinio GPS imtuvo teko panaudoti papildomą programinę įrangą, kadangi duomenys buvo renkami personaliniu kompiuteriu. Papildoma programinė įranga buvo „Franson GPSGate 2,6“. Tai yra viena iš laikinai nemokamų programėlių skirtų darbui su GPS imtuvais gaunamais NMEA duomenimis. Ji buvo parsisiūsta iš gamintojo puslapio ir puikiai tiko darbui su turimu delninuku. Šios programėlės dėka (tiksliau dviejų programėlių: viena skirta personaliniam kompiuteriui, o kita delninukui) delninukas imituoja išorinį GPS. Tai padaro serverinę „GPSGate“ dalis įrašoma į delninuką ir leidžianti pasirinkti koku būdu perduoti GPS NMEA duomenis, pradedant ActiveSync, baigiant COM portų emuliacijomis. Atitinkama klientinė programėlė personaliniame kompiuteryje leidžia priimti iš delninuko siunčiamus signalus ir panaudoti gaunamus GPS NMEA duomenis (9 pav.).



9 pav. Franson GPSGate programinė įranga.

Imtuvas nuolatos siunčia keturių tipų NMEA sakinius (darbe naudojamų NMEA sakinių paaiškinimas pateikiamas 1 priede):

- \$GPGGA;
- \$GPGSA;
- \$GPGSV;
- \$GPRMC.

2.5.1.2. Duomenų surinkimas ir jų trumpa analizė

Delninuko Sirf III GPS procesorius apdorojęs palydovų signalus formuoja tokius NMEA sakinius:

```
$GPRMC,121408.000,A,5441.5741,N,02512.5771,E,0.00,,110109,,A*75
$GPGGA,121409.000,5441.5741,N,02512.5771,E,1,03,6.8,230.0,M,27.7,M,,000
0*5E
$GPGSA,A,2,03,06,22,,,,,,,,,6.9,6.8,1.0*36
$GPGSV,3,1,12,22,70,105,22,19,60,280,27,03,58,199,40,06,52,178,36*7B
$GPGSV,3,2,12,18,41,062,,14,19,146,18,21,12,094,,11,09,281,20*79
$GPGSV,3,3,12,15,05,023,,28,05,342,,09,00,066,,08,00,315,*76
```

Peržvelgus visus penkių minučių sakinius matosi, kad tie duomenys nėra tokie nuoseklūs, kaip kitų dviejų GPS imtuvų pateikiami duomenys. Sakinių eiliškumas nėra griežtai išlaikomas. Kaip matyti iš aukščiau pateiktų duomenų NMEA standartus jie atitinka ir taip pat puikiai gali būti naudojami pozicijos nustatymui bei kitiems pozicijos bei judėjimo skaičiavimams.

Su savo programėle, kurią pasirašiau duomenų išrankai, apdorojęs šio įrenginio duomenis pastebėjau, kad koordinatės keitėsi:

- Nuo 5441,5665 iki 5441,5808 Šiaurės platumos;
- Nuo 02512,5650 iki 02512,5947 Rytų ilgumos.

Platumos skirtumas yra 0,143 minutės, kas lygu:

- 26,48 metro.

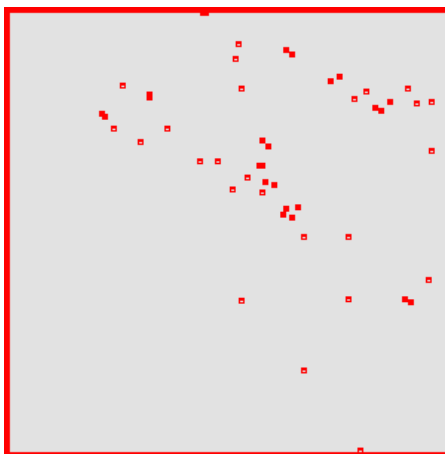
Ilgumos skirtumas yra 0,297 minutės, kas lygu:

- 31,79 metro.

Atstumai paskaičiuoti panaudojus 2 priede pateikiamas formules.

Daugiausia per šį laikotarpį imtuvas „matė“ 12 palydovų.

Koordinatinių kaita atvaizduota grafiškai (buvo užfiksuota 90 tinkamų taškų) (10 pav.).



10 pav. ASUS koordinatinių kaitos grafikas

2.5.2. Wintec G-Rays I GPS imtuvas

2.5.2.1. Imtuvo aprašymas

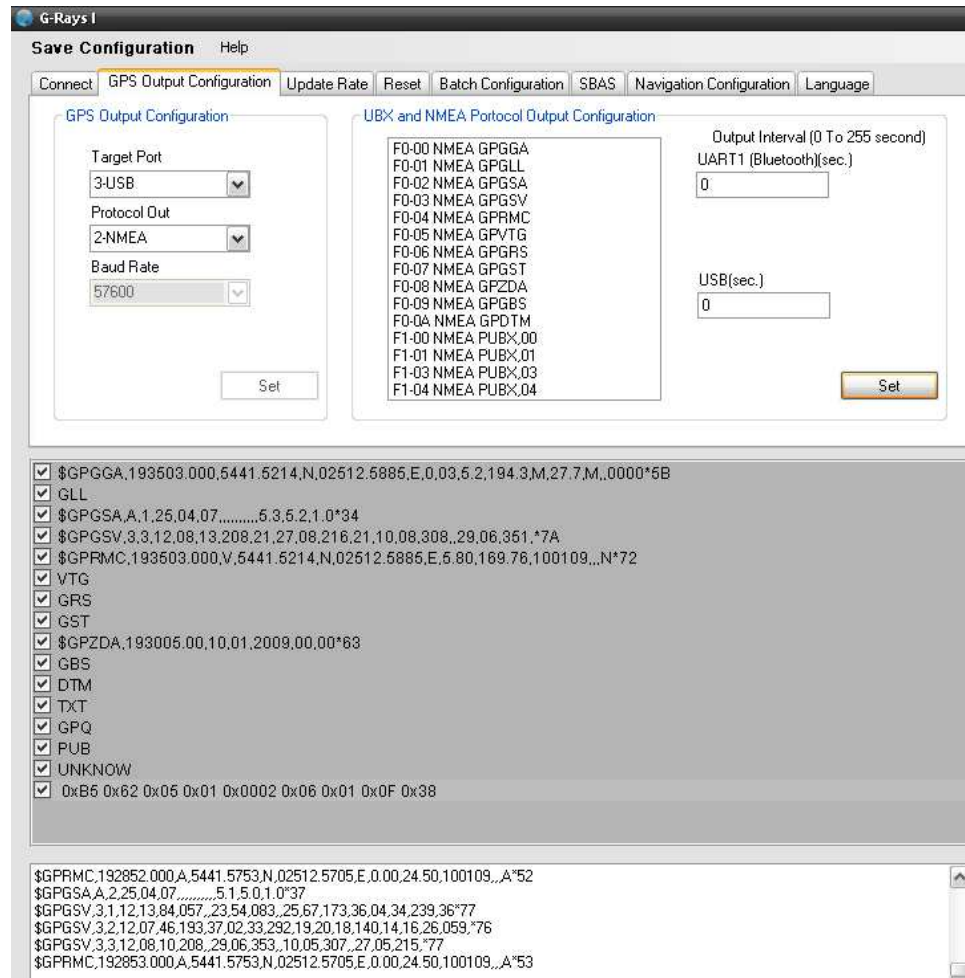
Standartiškai Wintec GPS imtuvas nuolat siunčia keturių tipų NMEA sakinius:

- \$GPGGA;
- \$GPGSA;
- \$GPGSV;
- \$GPRMC.

Daugeliu atvejų tai yra pakankami duomenys siekiant kurti su GPS susijusią programinę įrangą, kadangi turime koordinates, jų tikslumą, aukštį, netgi žinome palydovus, kurie einamuoju momentu siunčia duomenis, taigi galime tiek atvaizduoti turimų palydovų ryšį grafiškai (dauguma

taikomųjų programų pateikia galimybę pamatyti kiek ir kokių palydovų šiuo metu siunčia duomenis į turimą imtuvą).

Kartu su GPS imtuvu komplektuojama programinė įranga leidžia turėti dar keletą sakinių (11 pav.), tereikia nurodyti koku intervalu juos norite gauti (kas sekundę ar kelias) ir jie tampa automatiškai pateikiami su kitais duomenimis. Tai leidžia kurti specifinę programinę įrangą, kuri neapsiriboja vien pozicijos trimatėje erdvėje paskaičiavimu.



11 Pav. Su G-Rays komplektuojama programinė įranga

2.5.2.2. Wintec duomenų rinkimas ir trumpa analizė

Iš GPS imtuvo kas sekundę gaunamas toks duomenų rinkinys:

```
$GPRMC,115006.000,V,5441.5780,N,02512.5850,E,0.00,0.00,110109,,,N*7F
$GPGGA,115006.000,5441.5780,N,02512.5850,E,0,00,99.9,175.4,M,27.7,M,,00*60
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,99.9,99.9,99.9*09
$GPGSV,4,1,13,22,70,140,,03,67,219,,06,64,187,,19,52,292,*78
$GPGSV,4,2,13,18,51,069,,21,22,089,,15,13,030,,14,09,151,*71
$GPGSV,4,3,13,16,07,200,,26,02,012,,11,01,278,,08,05,324,*7F
```

Duomenys nuolatos šiek tiek kinta, nes GPS siųstuvų signalas nėra idealus, o skaičiavimai yra vykdomi nuolat. Per penkias minutes gaunama trys šimtai tokių sakinių rinkinių. GPS imtuvas visą tą laiką buvo vienoje vietoje, nė kiek nejudinamas. Su programėle apdorojus duomenis paaiškėjo, kad koordinatės keitėsi:

- Nuo 5441,5780 iki 5441,6038 Šiaurės platumos;
- Nuo 02512,5838 iki 02512,6097 Rytų ilgumos.

Platumos skirtumas yra 0,258 minutės, kas lygu:

- 47,78 metro.

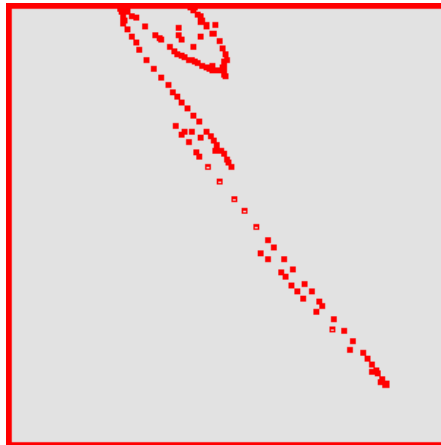
Ilgumos skirtumas yra 0,136 minutės, kas lygu:

- 27,72 metro.

Atstumai paskaičiuoti panaudojus 2 priede pateikiamas formules.

Daugiausia per šį laikotarpį imtuvas „matė“ 14 palydovų.

Koordinatėjų kaita atvaizduota grafiškai (buvo užfiksuota 300 tinkamų taškų) (12 pav.).



12 pav. G-Rays koordinatėjų kaitos grafikas

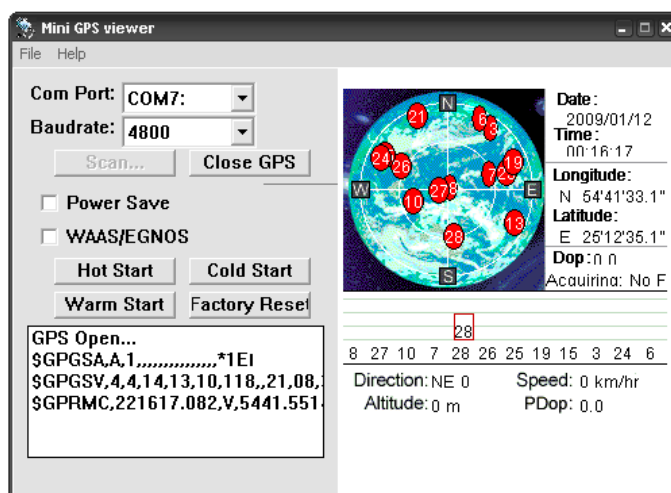
2.5.3. Holux M-1000 GPS imtuvas

2.5.3.1. Imtuvo aprašymas

Holux M-1000 GPS imtuvas buvo su daugiausia kanalų turinčiu GPS procesoriumi. Kanalų skaičius nurodo kiek GPS siųstuvų signalų procesorius gali apdoroti vienu metu. Kadangi palydovų viso yra tik 24, o iš jų nuolatos veikia 20 (kiti 4 yra atsarginiai) [Air07], tai akivaizdu, kad kanalų skaičiaus daugiau nei pakanka. Kita vertus kanalų skaičiaus ir aktyvių palydovų skaičių skirtumą dar didina tai, jog palydovai skrieja aplink žemę ir vienu metu visi negali būti matomumo zonoje. Padidintas kanalų skaičius leidžia imtuvui greičiau startuoti. Išskiriami trys

darbo su imtuvu pradžios atvejai: šaltasis, šiltasis ir karštasis. Šaltasis startas reiškia, jog išjungus imtuvą buvo pakeista geografinė padėtis, bei pakito praktiškai visi matomi palydovai. Tokiu atveju turi būti parsisiunčiamas pilnas almanachas ir šis procesas užtrunka. Šiltas startas reiškia, kad GPS imtuvas buvo išjungtas ne ilgą laiko tarpą ir esamas almanachas bent dalinai atitinka paskutinį kartą naudotąjį. Karštas startas yra kelių minučių intervale išjungto imtuvo pakartotinis įjungimas, šis startavimo metodas yra pats greičiausias ir almanachas pilnai atitinka reikiamą, todėl iš naujo siųstis nereikia.

Su šiuo imtuvu taip pat yra pateikiama šioji tokia programinė įranga, kuri leidžia matyti, kad GPS imtuvas veikia ir atvaizduoja pagrindinius duomenis (13 pav.).



13 pav. su Holux imtuvu komplektuojama programinė įranga.

Didelis kanalų skaičius akivaizdžiai turi pranašumų, nes kiek teko išbandyti imtuvus sugeba veikti ir patalpose (su tam tikrais apribojimais, t.y. sugeba dirbti per vieną ar dvi sienas, tačiau ne visiškai izoliavimo sąlygomis), ir greičiau pradedamas darbas nei su kitais dviem tyrinėjtais GPS imtuvais. Kita vertus reikia pastebėti, jog gautų duomenų tikslumas buvo gana panašus į su kitais imtuvais surinktus duomenis.

Šis imtuvas nuolatos siunčia penkių tipų NMEA sakinius:

- \$GPGGA;
- \$GPVTG;
- \$GPGSA;
- \$GPGSV;
- \$GPRMC.

Taigi standartiškai imtuvas siunčia dar ir vektorinį kelią bei greitį žemės paviršiuje. Šie parametrai gali būti paskaičiuojami ir iš kitų turimų sakinių, tačiau iškart gaunami duomenys gali sumažinti skaičiavimų kiekį, kas yra svarbu kuriant programinę įrangą ir stengiantis panaudoti kuo mažesnius resursus skaičiavimams.

2.5.3.2. Holux siunčiamų duomenų rinkimas ir analizavimas

Duomenų rinkinys:

```
$GPRMC,120006.000,A,5441.5822,N,02512.5784,E,3.54,158.14,110109,,A*6B
$GPVTG,158.14,T,,M,3.54,N,6.55,K,A*30
$GPGGA,120007.000,5441.5816,N,02512.5789,E,1,4,3.13,302.9,M,27.7,M,,*5E
$GPGSA,A,3,06,22,03,19,,,,,,,,,3.29,3.13,1.00*07
$GPGSV,4,1,14,22,71,127,36,03,64,210,40,06,60,183,37,19,56,289,17*78
$GPGSV,4,2,14,18,47,066,,37,27,184,,21,18,091,,14,13,149,*75
$GPGSV,4,3,14,15,10,027,,11,04,279,,16,03,199,,08,03,320,*7C
$GPGSV,4,4,14,27,02,332,,28,01,346,*73
```

Apdorojus šiuo imtuvu surinktus duomenis paaiškėjo, kad jie svyravo:

- Nuo 5441,5553 iki 5441,5822 Šiaurės platumos;
- Nuo 02512,5740 iki 02512,5958 Rytų ilgumos.

Platumos skirtumas yra 0,269 minutės, kas lygu:

- 49,82 metro.

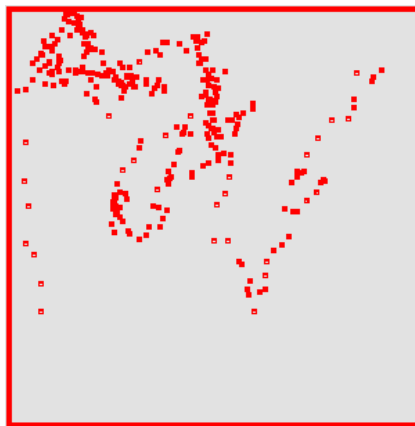
Ilgumos skirtumas yra 0,218 minutės, kas lygu:

- 23,34 metro.

Atstumai paskaičiuoti panaudojus 2 priede pateikiamas formules.

Daugiausia per šį laikotarpį imtuvas „matė“ 14 palydovų.

Koordinacių kaita atvaizduota grafiškai (buvo užfiksuota 304 tinkami taškai) (14 pav.).



14 pav. Holux koordinacių kaitos grafikas

2.6. Tyrimo apibendrinimas

Surinkus duomenis ir juos susisteminius paaiškėjo, kad šiuolaikiniai GPS imtuvai, nepriklausomai nuo procesoriaus tipo, dirba su labai panašiomis paklaidomis. Vienoje vietoje pastatyti GPS imtuvai sugebėjo pasiekti maždaug 50 metrų tikslumą. Išanalizavus visus surinktus taškus ir juos atvaizdavus grafiškai galima pamatyti, kad tam tikri plotai taškų turi tendenciją kartotis ir tam tikros zonos yra labiau užpildytos nei kitos. Tai leidžia daryti išvadą, jog taškai su didesniu nukrypimu pasitaiko rečiau nei tikslesnieji. Kuriant programinę įrangą būtina į tai atsižvelgti.

Taip pat pastebėta, kad nors GPS duomenų perdavimui yra skirta per dvidešimt skirtingų NMEA sakinių, tačiau praktiškai visi imtuvai pagal nutylėjimą dirba tik su keturiais ar penkiais iš jų. Tai rodo, kad nuolat populiarėjant GPS imtuvams dauguma gamintojų laiko tokį duomenų rinkinį pakankamu eiliniams navigavimo uždaviniams spręsti ir taip sumažina duomenų srautą į juos apdorojančius įrenginius.

Peržvelgus gautų taškų atvaizdavimą grafiškai ir panagrinėjus paklaidas paaiškėjo, kad GPS imtuvai tiksliau skaičiuoja ilgumą nei platumą, o taip pat galima įžiūrėti, kad taškų išsidėstymas yra gana panašus, nors visi trys imtuvai savo duomenų dalį siuntė į programą skirtingu laiku. Matosi koordinacių svyravimo dėsninumai.

Pirma taisyklė, kurią norisi pritaikyti darbui su GPS duomenimis yra nekurti universalių sistemų, o atsižvelgti į konkretų panaudojimą, nes tai kas universalu, paprastai netinka niekam arba tinka tik labai bendriems atvejams. Negalima tiesiog pažvelgti į duomenis ir pasakyti, kad jei taip ir taip pakoreguosim, tai tiks visiems gyvenimo atvejams ir galėsime pamiršti apie paklaidas. Tuose duomenyse nėra konkretaus dėsninumo, kaip jie yra netikslūs, nesimato netgi ir aiškios tendencijos kaip juos vienareikšmiškai būtų galima koreguoti, taigi reikia stebėti aplinką, kurioje bus naudojama programinė įranga ir jos savybes pritaikyti tos įrangos tobulinimui bei GPS siunčiamų duomenų korekcijai.

3. Duomenų apdorojimo algoritmų analizė

Šioje darbo dalyje yra analizuojami algoritmai skirti GPS gaunamų duomenų tikslinimui kuriant programinę įrangą. Būtent tokie algoritmai pasirinkti, nes jie yra universalieji ir dažniausiai sutinkami tokio tipo korekcijose. Jie leidžia suprasti, kas bendruoju atveju daro didžiausią įtaką pozicijos nustatymo tikslumui ir nurodo pagrindines idėjas to tikslumo didinimui. Taip pat šių algoritmų analizė padeda nustatyti jų teigiamas ir neigiamas savybes, kurios gali būti

panaudotos kaip kriterijai pasirenkant tinkamiausią algoritmą sprendžiant pozicionavimo uždavinius.

3.1. Duomenų vidurkio paieškos algoritmo tyrimas

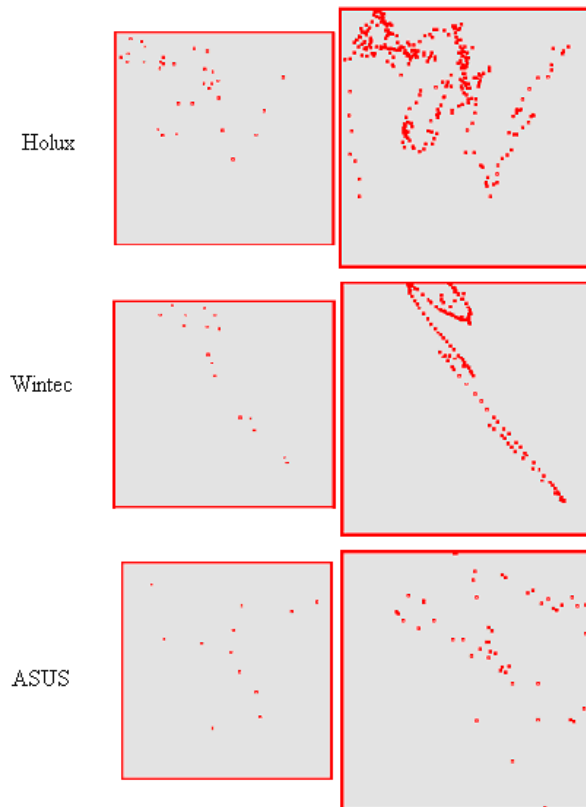
Jeigu GPS naudojamas agrariniams tikslams ir matuojamas konkretus nejudantis taškas, pvz.: bandoma nustatyti tam tikros teritorijos ribas, kraštinius taškus, tai galbūt laikas nėra svarbus faktorius, ir galime tiesiog parašyti programėlę, kuri penkias ar dešimt minučių fiksuoja GPS koordinates ir vėliau, jas apdorodama, visiškai atmeta pavienius taškus ir atrenka daugiausia pasikartojančius. Galima rinkti tik panašius taškus, su tam tikra paklaida ir ieškoti jų vidurio. Sakykim jei gaunamos dvi gana nutolusios taškų grupės, tai galima ieškoti vidurkio tarp jų, tą vidurkį šiek tiek paslenkant link to taško, kuris turėjo daugiau atitikimų. Visiškai kitaip nei nejudančiose sistemose tenka atsižvelgti į laiką kai dirbama su judesiu, kur duomenų šviežumas yra raktas į teisingą sistemos veikimą. Tačiau švieži duomenys nebūtinai yra teisingi duomenys.

Jau vien pritaikius duomenų vidurkio paiešką tikslumas padidėja, nors taip sumažiname aktyvių taškų skaičių. Tai akivaizdžiai matyti sulyginus visų tyrimams naudotų GPS duomenų grafikus po duomenų vidurkio paieškos (pav. 15). Buvo imami surinkti duomenys ir ieškomi kelių iš eilės gautų taškų tarpusavio vidurio taškai. Tokiu būdu pavyko sumažinti labiausiai išsišokančių iš bendro vaizdo taškų ribas, o tuo pačiu ir padidinti tikslumą. 16 paveikslėlio kairėje pusėje pateikiami duomenys po korekcijos, o dešinėje palyginimui pavaizduoti tiesiogiai iš GPS gauti duomenys išlaikant mastelį.

Holux imtuvo duomenų svyravimai po duomenų koregavimo – platumos: 0,236 minutės (43,71 metro), ilgumos 0,236 minutės (25,27 metro).

Wintec imtuvo duomenų svyravimai po duomenų koregavimo – platumos: 0,231 minutės (42,78 metro), ilgumos: 0,178 minutės (19,06 metro).

ASUS imtuvo duomenų svyravimai po duomenų koregavimo – platumos: 0,1 minutės (18,52 metro), ilgumos: 0,115 minutės (12,31 metro).



15 pav. pakoreguotų duomenų atvaizdas.

Šio paprasto metodo trūkumas, kad jis tinkamas tik nejudančio taško paieškai, o ne tiesioginei realaus laiko navigacijai, nes realaus laiko navigacijoje taškų vidurkio paieška privers atsilikti nuo tikrosios pozicijos. Mes dirbsime ne vien su „klajojančiais“ vienoje vietoje duomenimis, o taip pat ir su realiu poslinkiu.

3.2. „Fuzzy“ algoritmo analizė

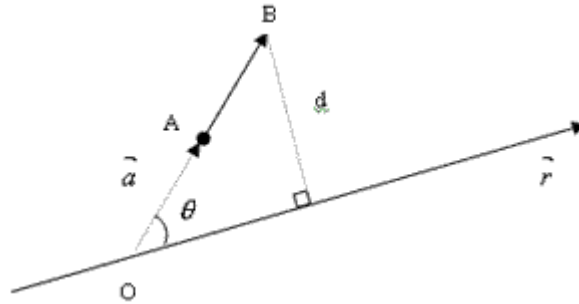
Kadangi rinkoje šiuo metu su GPS susiję prekės dažniausiai yra navigacijos sistemos, skirtos nuvykti tam tikru adresu, tad ši sritis ir yra labiausiai išvystyta, na gal neskaitant karinių taikymų, kurie yra visiškai viešai neaptarinėjami dėl visiem suprantamų priežasčių. Kiti taikymai nėra tokie populiarūs, todėl ir jų tyrimu mažai kas užsiima. Algoritmai gerinti duomenų kokybei dažniausiai nėra viešai skelbiami. Tiesiog reklaminio pobūdžio užuominos apie „nuostabius“ naujus algoritmus padedančius pasiekti norimą vietą ar tiesiog sužinoti kur esi dar greičiau ir kokybiškiau.

Neretai dirbdami su NMEA duomenimis mes turime dar pagalbinių priemonių. Viena iš jų galėtų būti vektorinis žemėlapis ir žinojimas koks maršrutas yra suplanuotas. Šios žinios leidžia koreguoti GPS imtuvo siunčiamus duomenis į labiau tikėtinus ir taip padeda pataisyti ne vien GPS paklaidas, bet ir žemėlapio kalibravimo problemas.

Yra daugybė geometrinių taško kelyje radimo metodų ir praktiškai visi jie ieško kelio esančio arčiausiai momentiniu laiku gaunamo pozicijos taško. Tai tam tikrais atvejais yra nekorektiška, o be to vektorinio žemėlapiu nuolatinis apdorojimas ir atstumų paieška yra nemažai kompiuterinių resursų reikalaujantis darbas. Taigi mes privalome turėti arba itin greitą techninę įrangą arba susiduriame su vėlavimo problema, kuri realaus laiko navigavime yra neatleistina klaida.

Pastebėjus geometrinių metodų gremėzdiškumą buvo pradėta naudoti sąlyginės tikimybės algoritmai. Šie metodai geri tuo, kad greitai padengia neteisingą pozicijos skaičiavimą, tačiau sunaudoja nemažai resursų nukeliamos trajektorijos saugojimui ir jos parametrų skaičiavimui, kadangi naudoja daug atminties buvusio kelio parametrų saugojimui.

Vienas greičiausių ir tiksliausių algoritmų taško skaičiavimui vektoriniame žemėlapyje yra „Fuzzy“ algoritmas [ARE04]. Yra skaičiuojama gaunama pozicija, reikiama pozicija ir nuokrypis:



16 pav. fuzzy algoritmo parametrų apibrėžimas. [ARE04]

16 pav. pavaizduota Q reiškia nuokrypį nuo reikiamo kelio krypties, d yra dabartinis atstumas nuo trajektorijos, kuria teoriškai turėtume judėti kelyje. A ir B naujai gauti taškai. r reikiamos krypties vektorius. Vektorius a yra nuokrypio vektorius. Turimi duomenys yra konvertuojami, kad jiems būtų galima pritaikyti taisykles.

$$Q = \cos^{-1} \frac{\vec{a}\vec{r}}{|\vec{a}||\vec{r}|} \quad d = |\vec{a}| \sin Q$$

17 pav. duomenų konvertavimas. [ARE04]

Toliau algoritmas turi 17 taisyklių bazę (18 pav.).

LP	SP	ZE	SN	LN	d θ
-	-	LP	LP	LP	LN
-	-	SP	SP	LP	SN
SN	SN	ZE	SP	SP	ZE
LN	SN	SN	-	-	SP
LN	LN	LN	-	-	LP

18 pav. taisyklės. [ARE04]

Taisyklių bazėje yra penkių tipų duomenys ir jų sankirta. LN – didelis neigiamas nuokrypis. SN – mažas neigiamas nuokrypis. ZE – nulinis nuokrypis. SP – mažas teigiamas nuokrypis. LP – didelis teigiamas nuokrypis.

$$w_i = \text{Min}(\mu_{Ai1}(\theta), \mu_{Ai2}(d))$$

$$\theta' = \frac{\sum_{i=1}^{i=17} \theta^{i-1} \cdot w_i}{\sum_{i=1}^{i=17} w_i}$$

19 pav. pakoreguotos koordinatės. [ARE04]

17 taisyklių pagalba pakoreguojamos koordinatės (19 pav.). Praktiškai algoritmas parodė, kad paklaida vidutiniškai sumažinama nuo 25 metrų iki 1,5 metro. Tai yra tikrai stulbinantis ir geras rezultatas. Mano nuomone šio algoritmo trūkumas yra tas, kad jis yra skirtas jau suplanuoto maršruto sekimo gerinimui. Duomenų koregavimas atliekamas atsižvelgiant į turimus papildomus duomenis, tokius kaip vektoriniame žemėlapyje suplanuotas kelionės maršrutas.

Toks algoritmas netinka navigacijai rastriniame žemėlapyje, kur neturime jokių duomenų apie žemės paviršių, kuriuo ar virš kurio judame. Šioje situacijoje vienintelis galimas pagalbininkas jau turimi NMEA duomenys ir nuolatos gaunami atnaujinti.

Tačiau žinodami „fuzzy“ algoritmo tikslumą galime pasistengti iš jo pasiimti pačias geriausias idėjas ir pabandyti pritaikyti kituose NMEA duomenų panaudojimuose.

Kitas „Fuzzy“ algoritmo trūkumas yra tas, kad žmonės yra klystantys ir toks algoritmas nepateisins lūkesčių tais atvejais, kai pasirenkamas kelias nepriklausantis maršrutui arba kelias, kuriuo turime važiuoti uždarytas, o vietoj jo esame priversti važiuoti visiškai kitu keliu. Tokiu atveju geometrinis skaičiavimas arba sąlyginės tikimybės kur kas greičiau suras sprendimą ir supras, kad nuklydome nuo maršruto bei bus galima duoti komandą sudaryti naują maršrutą.

Kai esame neprišti prie jokio maršruto tiesiogiai negalime panaudoti „Fuzzy“ ar kito maršrutui koreguoti tinkamo algoritmo. Maršruto duomenys ir galimybė atsižvelgti į vektorinį žemėlapi yra esminės automobilinių navigacijos sistemų teikiamo tikslumo priežastys.

3.3. Asistuojamas GPS

A-GPS yra technologija, kurioje pozicijos korekcijos yra atliekamos pasitelkiant išorinius sensorius. Tai yra asistuojamas GPS (angl. Assisted GPS). Asistavimui tinkami duomenys yra:

- Fiksuotas laiko momentas. Tokį laiko momentą įmanoma panaudoti tuomet, kai papildomas sensorius kreipdamasis į savo stotį (pvz.: GSM bokštą) gauna informaciją per kiek laiko nukeliauja signalas ir šios informacijos dėka galima paskaičiuoti atstumą nuo fiksuotą poziciją turinčios stoties iki imtuvo;
- Apytikslė pozicija. Kai žinoma, kad tam tikri objektai yra vienas nuo kito ne toliau nei tam tikras atstumas ir sensoriaus pagalba pamatavus gauti atstumai netelpa į turimas ribas. Galima daryti išvadas, jog gauname klaidingus GPS duomenis ir atlikti atitinkamas korekcijas;
- Efemeridės. Efemeridžių informacija gauta pavyzdžiui interneto pagalba gali padėti nustatyti palydovų esamos vietos nuokrypius nuo deklaruojamų ir aptikti klaidas;
- Palydovų laikrodžių korekcijos. Taip pat tinklo pagalba gali būti gaunama palydovų laikrodžių esamo momento paklaidų informacija, leidžianti koreguoti GPS duomenis.

[ABB+02]

Šiuo metu vienas populiariausių A-GPS panaudojimo būdų yra GSM tinklų panaudojimas, kai navigavimui naudojami išmanieji telefonai su GPS funkcija. Taip yra todėl, kad GSM tinklas yra vienas prieinamiausių ir itin plačiai žemę dengiančių tinklų. Galimas ir palydovinio mobiliojo tinklo, o taip pat ir kitų aiškias pozicijas turinčių sistemų panaudojimas, tačiau tokie taikymai gali būti itin brangūs, todėl panaudojami tik išskirtiniams uždaviniams spręsti.

A-GPS padeda spręsti du pozicijos nustatymo uždavinius. Pirmasis yra GPS imtuvo greitas prisijungimas prie palydovų, kuris įgyvendinamas apytiksliai žinant imtuvo buvimo vietą (tam tikrai teritorijai įmanoma sužinoti „matomus“ palydovus su esamom jų pozicijos korekcijom) ir tinklo pagalba parsisiunčiant signalų efemerides bei almanachus. Tinklas užtikrina greitesnę duomenų persiuntimą ir yra atsparesnis klaidoms, kadangi sugadintų duomenų segmentą galima pakeisti teisingu nesiunčiant visų segmentų iš naujo. Lygiagrečiai dirbdamas GPS imtuvas gali siųstis tikrąjį almanachą, gaunamą iš palydovų ir tuo pat metu dirbti su dirbtinai gautuoju. Taigi iki minimumo sumažinamas prisijungimo prie palydovų ir navigacijos pradžios laikas.

Antrasis GPS uždavinys, kurį palengvina asistuojantys sensoriai, yra pozicijos nustatymas ir paklaidų mažinimas. Viena dalis yra galimybė nuolatos tinklo pagalba gauti korekcijas, palydovų orbitoms ir signalų iškraipymams, reikalingas pozicijos paskaičiavimui, o kita – galimybė nustatyti tikslią ar bent jau sąlyginę imtuvo poziciją, kuri leidžia tikrinti GPS poziciją ir eliminuoti per didelį nukrypimą turinčius pozicijos taškus arba koreguoti jų poziciją atsižvelgiant į papildomus duomenis.

Tam tikri asistavimo metodai gali padėti nuspėti judėjimą reikiama kryptimi net tuomet, kai GPS duomenys yra visiškai nepasiekiami, t.y. nutrūksta duomenų gavimas (uždarose vietovėse, tuneliuose ir pan.). Tokio pobūdžio problemoms spręsti taip pat gali būti pasitelkiamos vaizdo

kameros, kurios sugeba atskirti ir sutapatinti turimo žemėlapiu duomenis su gaunamu vaizdu. Prie šių sensorių prijungus greičio parodymus galima suskaičiuoti pozicijos pokytį ir atvaizduoti naudotojui. Tokios sistemos bandomos diegti automobilinėse navigavimo sistemose.

3.4. Kalmano filtras

Kalmano filtras yra rekursinis filtras skirtas nusakyti tiesioginio dinaminio objekto būseną erdvėje, kai tie matavimai yra gaunami su triukšmu. Šis filtras yra aprašytas ir paskelbtas dar 1960 metais Rudolfo E. Kalmano. Tuomet tokie filtrai galėjo būti pritaikomi siekiant paskaičiuoti automobilio greitį atsižvelgiant į spidometro parodymus, nuvažiuotą kelią, greitėjimą ir laiką, taip pat kitiems judėjimo uždaviniams spręsti. Šis filtras yra panaudojamas asistuojamo GPS imtuvo pozicijos rezultatams koreguoti, todėl tampa įmanoma sulieti kelių matavimų rezultatus į tikslesnį pozicijos nustatymą. Taip pat šis filtras panaudojamas ir GPS imtuvų gamintojų, kurie turėdami galimybę tiesiogiai dirbti su C/A kodu mažina pačio signalo nukrypimus. Kalmano filtras turi kelis praplėtimus, kurių dėka gali būti filtruojamos ir ne vien trivalios sistemos. Filtras padeda nustatyti tikslesnę poziciją, kai netikslūs duomenys yra koreguojami prognozuojamos pozicijos duomenimis. [RW00]

3.5. Algoritmas judėjimui rastriniame žemėlapyje

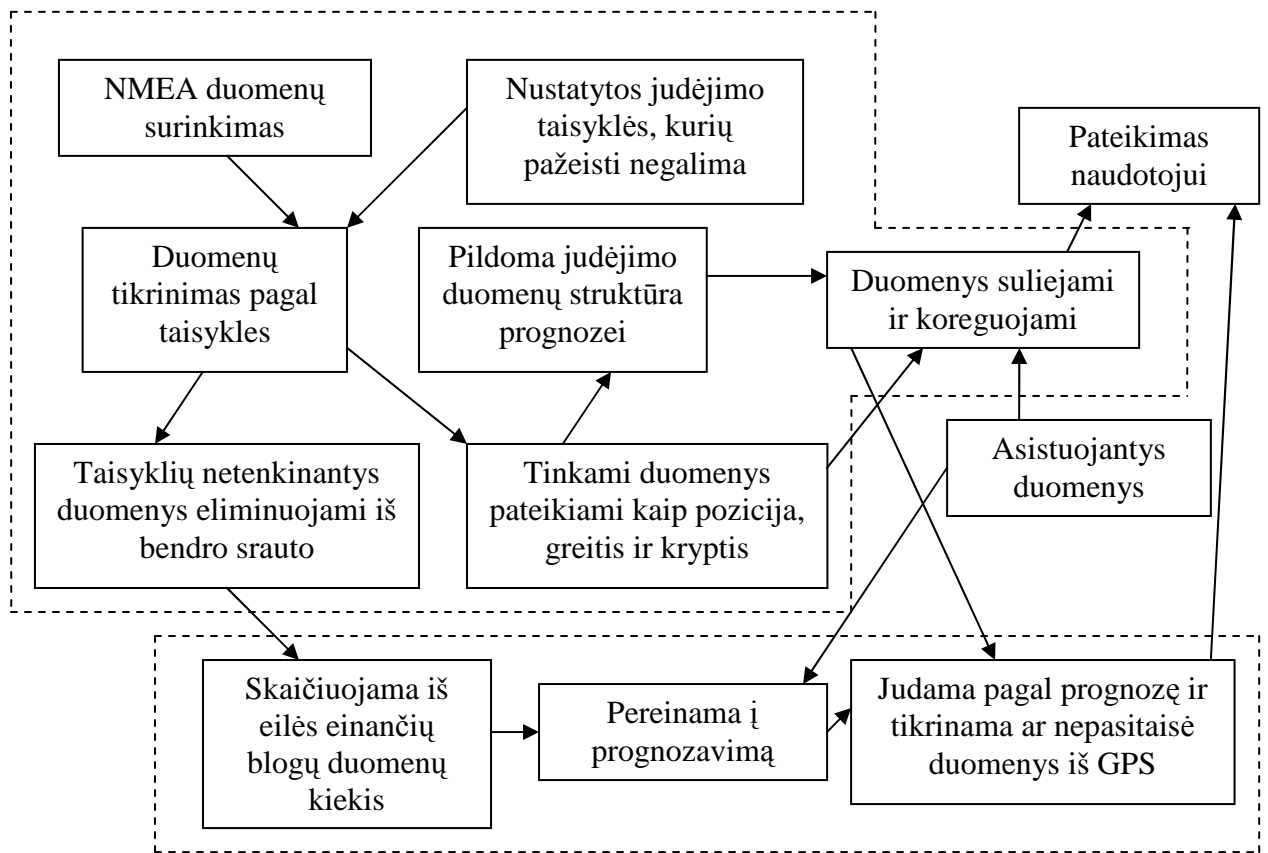
Asistuojamo GPS imtuvo technologija yra bendro pobūdžio patobulinimas GPS ir skirta visų tipų pozicionavimo uždaviniams spręsti, t.y. duomenys nėra ribojami judėjimo specifiškumo taisyklėmis, o tiesiog siekiama didesnio tikslumo pasitelkiant papildomus duomenis, gaunamus iš kitų šaltinių. Technologijos panaudojimas daugeliu atvejų tampa papildomai mokamas, kadangi reikalingas interneto ryšys pasiekiamas judant bei brangesnė techninė įranga.

Uždaviniuose, kur judama rastriniame žemėlapyje, asistuojančiais duomenimis negali būti žemėlapis kaip kad automobilių navigacijos sistemose. Siekiant našiau dirbti su rastriniu žemėlapiu reikia nagrinėti tokio judėjimo savybes ir jų pagalba gerinti pozicijos nustatymo kokybę.

Egzistuoja keletas programų, kurios yra skirtos naviguoti rastriniame žemėlapyje bei vėliau analizuoti judėjimo metu gautus duomenis, tačiau, kiek teko nagrinėti tokių programų (viena iš jų Oziexplorer), jos visos tiesiog atvaizduoja tuos duomenis, kuriuos gauna iš GPS imtuvo ir net nebando atlikti jokių korekcijų. Jei turime sugadintą išsaugotą kelią, tai tokį jį ir matome. Tai verčia domėtis būtent šia sritimi, nes ji yra mažai ištirta ir joje galimi algoritmų taikymai

duomenų tikslinimui. Tai vienas pagrindinių argumentų, kodėl buvo pasirinktas būtent tokio pobūdžio judėjimas. Kita tokio pasirinkimo priežastis yra domėjimasis karšto oro balionų skrydžių specifika.

Ieškant sprendimo yra stengiamasi pasiremti ir asistuojamo GPS idėjomis, taigi reikia pastebėti, jog pirmasis A-GPS uždavinys (greitesnė darbo pradžia su imtuvu) yra neįgyvendinama, nes tai yra labiau imtuvų gamintojų kompetencijoje, o taip pat nėra tokio didelio poreikio, kadangi pasiruošimas skrydžiui trunka ne mažiau 15 minučių, tad GPS imtuvo navigacijos pradžios laikas nėra toks aktualus. Visi skrydžiai yra planuojami ir pasiruošimas pilotui yra aiški rutina, nustatoma tiek savomis taisyklėmis, tiek ir aviacijos teisės aktais.



20 pav. Judėjimo koregavimas

20 pav. siūlomas algoritmas susideda iš dviejų tarpusavyje susijusių dalių:

- Klaidų duomenyse aptikimas ir taisymas;
- GPS duomenų visiško nutrūkimo situacijos sprendimas prognozuojant judėjimą.

Šių dalių sąveika realizavus algoritmą turi vykti automatiškai, t.y. duomenys nuolatos taisomi pasitelkiant algoritme įgyvendintas priemones, o pradingus ryšiui su palydovais arba atsiradus nepataisomiems trikdžiams gaunamuose duomenyse, turi automatiškai įsijungti duomenų palaikymo režimas.

Kiekvienas algoritmas, kuris apdoroja duomenis apkrauna kompiuterį papildomais skaičiavimais. Dėl šios priežasties verta pagalvoti apie griežtą apdorojamų NMEA sakinių kiekį, t.y. vertėtų esant galimybei GPS imtuvo valdymo programa atjungti tų sakinių siuntimą į juos apdorojantį kompiuterį, kurie yra neapdorjami programoje. Tokiu būdu bus sumažintas duomenų srautas nedarant įtakos skaičiavimų tikslumui.

3.5.1. Klaidų duomenyse aptikimas ir taisymas

Kadangi iš dalies pasitelkiama A-GPS idėjomis, tai klaidų aptikimui siūloma susidaryti taisykles, kurios padėtų atmetinėti arba taisyti klaidingus duomenis. Karšto oro baliono skrydis turi keletą jam būdingų savybių:

- Vėjo greitis prie žemės ir praktiškai iki 100 metrų negali viršyti 7,5 m/s greičio, kitaip yra pažeidžiama oro teisė. Skrendant su keleiviais greitis gali būti ne didesnis nei 5m/s. Esant tokiam paviršiniam vėjui aukštesniuose sluoksniuose (iki ~3km) vėjo greitis gali būti iki 15 m/s. Čia svarbu nepamiršti, kad tai yra horizontalus greitis, o GPS pateikiamas greityje įskaičiuojamas ir kritimo/kilimo greitis, tad reikia atsižvelgti į vertikalų greitį;
- Vertikalus kilimas negali viršyti 10m/s, nes net specialiai sportui skirti aptakesnės formos nedidelio tūrio aerostatų kupolai fiziškai negali greičiau kilti. Atsidaro viršutinis karšto oro išleidimo vožtuvas nuo sukuriama jam slėgio;
- Vertikalus kritimas taip pat negali viršyti maždaug 10m/s, nes arba oro balionas greičiau tiesiog nekrenta arba, jei jis atšaldomas per daug, užsigniaujama apatinė anga ir tampa neįmanoma jo pašildyti. Tai avarinė situacija, kurios kiekvienas pilotas stengiasi išvengti. Taigi kur kas dažniau tai bus klaida duomenyse, o ne reali situacija;
- Turint pozicijos duomenis bei greitį, galima apskaičiuoti ar realu nuskristi tokį atstumą, koks gaunamas išskaičiavus iš NMEA duomenų.

Vertikalaus judėjimo parametrai dar gali priklausyti ir nuo varžybų organizatorių pateikiamų ribojimų siekiant varžybas padaryti saugiomis, nes varžybose, kur dalyvauja 100 ir daugiau oro balionų, kyla pavojus nespėti išvengti susidūrimų ore.

Galimi du pateiktų taisyklių pažeidimo atvejai:

- Tai duomenų paklaidos;
- Nenumatytos situacijos.

Duomenų paklaidas taisyti ir yra algoritmo darbas, o esant nenumatytiems atvejams, navigavimas prietaisų pagalba tampa šalutiniu, nes privaloma skristi pagal vizualių skrydžių taisykles ir ieškoti artimiausios tinkamos nusileidimo vietos.

3.5.2. Asistavimo galimybės

Lėktuvų skrydžiai yra valdomi, visuomet galima pasirinkti skridimo kryptį ir nusileidimo vietą. Taip pat lėktuvai skrenda kryptimi, kuri daugmaž sutampa su lėktuvo nosimi (atsižvelgiant į vėjo kryptį ir stiprumą kryptis koreguojama vairu), taigi pagalbiniai krypties matavimo prietaisai turi atskaitos tašką. Skrendant karšto oro balionu atskaitos taško nėra (tiksliau jis yra kintamas), kadangi oro balionas sukasi aplink savo ašį kylant, leidžiantis arba keičiantis vėjo kryptis. Tai vyksta be aiškaus dėsningumo. Aerostatų formos skirtumai neleidžia apskaičiuoti kaip suksis aplink savo ašį visi oro balionai net ir tuomet, kai žinomos vėjo kryptys visuose aukščiuose ir žinomi kilimo ar leidimosi greičiai. Visi šie faktoriai apsunkina krypties nustatymą naudojant kokius nors kitus prietaisus išskyrus GPS imtuvus, kurio pagalba atskaitos taškas gali būti kintančios imtuvo koordinatės. Taigi krypties asistavimas nėra įmanomas.

Praktiškai kiekvieno karšto oro baliono gondoloje yra variometras, kuris gali būti panaudotas kaip asistuojantis sensorius kritimui, kilimui, esamam aukščiui nustatyti. Esant reikalui dauguma jų dar gali rodyti temperatūrą lauke ir kupolo viduje. Dažnai šis prietaisas turi interfeisą komunikacijai su kompiuteriu, todėl yra galimybė gaunamus duomenis panaudoti kaip išorinį sensorių.

3.5.3. Duomenų palaikymas

Skrydžio duomenų kaupimas nustatytoje struktūroje leistų išlaikyti duomenų vientisumą nutrūkus NMEA duomenų perdavimui į programinę įrangą. Rekomenduojama duomenų struktūra paskutiniai skrydžio metu fiksuoti:

- Greitis;
- Aukštis;
- Kryptis.

Į šią struktūrą galima žiūrėti kaip į krypties kitimo įvairiuose aukščiuose lentelę.

Tokiu būdu bėgant laikui ir turint paskutinį pozicijos tašką remdamiesi variometro parodymais galime generuoti NMEA sakinius reikalingus atvaizduoti skrydžio trajektorijai. Tai

žinoma bus tik spėjama trajektorija, nes einant laikui vėjo kryptis skirtinguose sluoksniuose kinta, tačiau toks duomenų panaudojimas yra geresnis variantas nei visiškas duomenų neturėjimas. Jis leistų orientuotis erdvėje apytiksliai.

Šie duomenys turi būti kaupiami realiu laiku visą skrydį tam, kad būtų kuo šviežesni, kadangi vėjo kryptis nuolatos kinta. Kaupimas turi vykti perrašymo būdu, o ne papildymo, nes senesni duomenys nėra naudingi, tik užimtą vietą atmintyje.

Neturint duomenų asistavimo iš variometro galima skaičiuoti vyraujančią kryptį, kuri skridimo metu leis nuspėti skridimą.

3.5.4. Algoritmo apibendrinimas

Algoritmas yra atviras papildomų taisyklių įvedimui. Taisyklės gali būti ir specifinės tam tikriems rajonams. Tarkim skrydžiuose Alpėse (kur galimos didesnės paklaidos dėl nuo kalnų atspindėtų GPS signalų) yra tam tikri vėjo krypties dėsningumai. Tai yra tarp kalnų nuolatos yra skersvėjai, kurie neleidžia drastiškai keistis vėjo kryptims. Oro srautai juda dėsningai. O virš kalnų srauto kryptis gali visiškai keistis. Šioje vietoje reikėtų žinoti kalnų aukštį, tam kad žinoti, nuo kokio aukščio galimi stiprūs krypties pokyčiai.

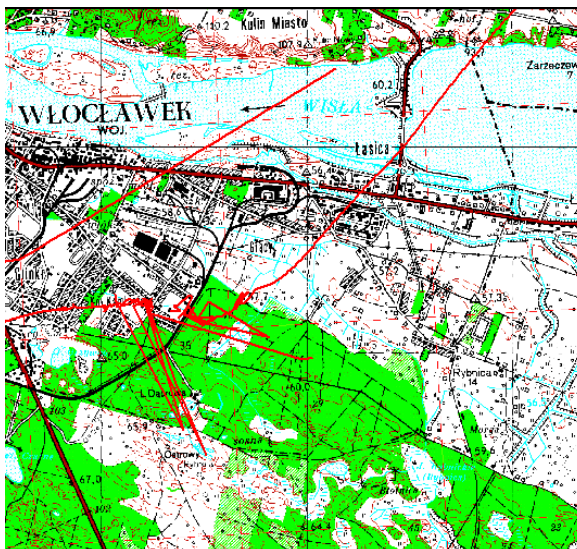
Beje iki minimumo mažėja terminių vėjų įtaka (kuri galėtų trukdyti algoritmui mažinti duomenų paklaidas), kadangi karšto oro balionams dėl galimų pavojų neleidžiama skristi tuo paros metu, kai terminiai vėjai yra aktyvūs (pvz.: vasaros metu dieną).

Galimi algoritmo realizavimo sudėtingumo pasirinkimai. Priklausomai nuo siekiamo tikslumo galima tiesiog atmetinėti nerealius duomenis ir nekoreguoti į taisyklių rėmus patenkančių duomenų. Norint pilnai realizuoti algoritmą derėtų naudoti Kalmano filtru duomenų korekcijai pagal prognozuojamą trajektoriją ir turimas taisykles.

Kaip rodo praktika, GPS imtuvai gali reaguoti į įvairius aplinkos veiksnius: radijo bangas, metalus, esančius šalia ir pan. Tai nenuostabu, kadangi duomenys perduodami aukšto dažnio radijo bangomis, o joms, kaip žinia, aplinka gan lengvai daro įtaką, jas iškraipo. Pavyzdžiui skrendant karšto oro balionu radijo ryšio pagalba tenka bendrauti su žemės komanda. Jei GPS imtuvas būna arčiau nei per 0,5 metro nuo radijo ryšio stotelės (kurios galia iki 5W), tai tiek pokalbio metu, tiek vėliau nagrinėjant skrydžio duomenis matomos paklaidos.

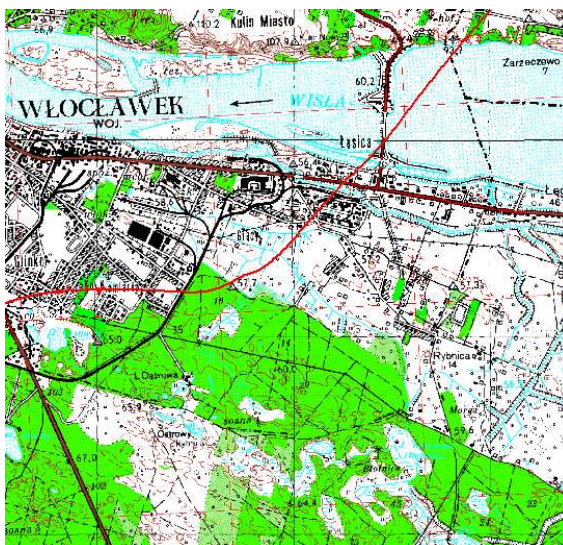
Dėl ryšio stotelės trukdžių poveikio akivaizdžiai galima įsitikinti pažiūrėjus 2008 metų vasarą Wloclawek mieste Lenkijoje vykusio karšto oro baliono skrydžio atvaizdą žemėlapyje pasitelkiant su GPS imtuvo pagalba įrašytus duomenis (21 pav.). Paveikslėlyje matoma, kaip

buvęs vientisas maršrutas staiga tampa labiau panašus į kardiogramą nei į oro baliono skrydžio trajektoriją.



21 pav. Karšto oro baliono skrydis Włocławek mieste Lenkijoje 2008m.

Algoritmą galima pritaikyti ne vien darbui su realiu laiku gaunamais duomenimis, o taip pat ir apdoroti surinktus duomenis, siekiant pašalinti įvairias anomalijas. Realizavus algoritmo prognozuojančią ir neteisingus duomenis atmetančią dalį gauta 21 pav. pateikta trajektorija.



22 pav. Pakoreguoti skrydžio duomenys.

Kaip matoma pavyzdyje trajektorija šiek tiek iškreipta, tačiau neliko nelogiškų duomenų.

Praktinis darbas rodo, kad dažniausiai tenka konvertuoti koordinates į turimus žemėlapius atitinkančias koordinačių sistemas. Šis darbas turi būti atliekamas itin kruopščiai ir atsargiai, kad nebūtų pakenkiama duomenų tikslumui.

Rezultatai ir išvados

Darbe ištirtas GPS veikimas ir išsiaiškinta kokio pobūdžio klaidos sistemoje daro įtaką duomenų tikslumui. Šis tyrimas leido toliau gilintis į duomenų taisymo algoritmus bei programinės įrangos kūrimo sprendimus.

Atliekant bandymą surinkti GPS pozicijos duomenys, iš trijų skirtingų GPS imtuvų. Penkias minutes buvo matuojama vieno taško pozicija. Apdorojus gautus duomenis paskaičiuotos jų paklaidos. Įvertinus paklaidas ir išanalizavus rezultatus buvo pritaikytas vienas iš algoritmų duomenims. Algoritmo dėka paklaidas pavyko sumažinti.

Tikslumo tyrimas parodė, kad yra galimybė taisyti duomenis. Tą įrodo atliktas duomenų koregavimo bandymas, ir visa teorinė algoritmų analizė. Realiai įmanoma pritaikyti visus žinomus algoritmus ir statistinius skaičiavimus beveik visose panaudojimo srityse, nors GPS technologijos komercinių paskatų dėka kryptingai linksta link navigacinių kelio paieškos sistemų. Tokią kryptį nurodo masinis visuomenės judėjimas autotransportu. Kitos sritys yra mažiau išvystytos ir dažniausiai vystomos gana uždurai pagal specifiką, todėl informacijos rasti yra gana sudėtinga. Savo sritį tenka plėtoti remiantis labiau ištirtų sričių analize.

Vykdamas gaunamų duomenų tikslumo tyrimą panaudoti GPS imtuvai dirba labai panašiu tikslumu ir greitumu. Pats prisijungimo procesas gali trukti ilgiau ar trumpiau priklausomai nuo imtuvo procesoriaus kanalų skaičiaus, tačiau darbas po prisijungimo vyksta gana panašiai su visais įrenginiais. Tai rodo, kad nėra didelio skirtumo koks imtuvas bus naudojamas kuriamoje programinėje įrangoje ir į jį atsižvelgti verta nebent dėl sąsajos patogumo. (ar tai bus USB, ar Bluetooth, ar dar kažkokia kita sąsaja.).

Pozicijai nustatyti pakanka vos vieno NMEA sakinio, tačiau kiti standartiškai siunčiami sakiniai padeda geriau stebėti palydovų būseną, o taip pat ir pateikia papildomą informaciją, kurią būtų galima paskaičiuoti iš pozicijos, bet tai pareikalautų resursų. Nuolatos stengiamasi mažinti navigavimui skirtų įrenginių dydį, dėl to dažnai panaudojami lėtesni/mažesni procesoriai, mažiau darbinės atminties. Resursų taupymas tampa svarbus kaip ir tuomet, kai kompiuterinės technologijos dar negalėjo pasiūlyti tokių darbo greičių kaip dabar.

Atlikus pasirinktos srities analizę pasiūlytas sprendimas karšto oro baliono skrydžio trajektorijos stebėjimui ir koregavimui rastriniame žemėlapyje. Algoritmas yra skirtas konkrečiam uždaviniui spręsti, atsižvelgiant į galimas numatyti aplinkybes. Lankstumas yra viena iš algoritmo savybių, kadangi galimas ir tik dalinis jo įgyvendinimas, o taip pat ir plėtimas atsižvelgiant į augančius poreikius. Kadangi algoritmo veikimas paremtas jau praktikoje kitose srityse

naudojamų algoritmų savybėmis, tai galima daryti išvadą, kad jis atspindi tų algoritmų duomenų tikslinimo galimybes, o taip pat yra papildytas dalykinės srities specifiškumu.

Šaltinių sąrašas

- [ABB+02] N.Agarwal, J.Basch, P.Beckmann, P.Bharti, S.Bloebaum “Algorithms for GPS operation indoors and downtown”
[žiūrėta 2009-03-14] Prieiga per internetą:
<http://www.eecs.berkeley.edu/~sahai/Papers/GPS_article.pdf>
- [Air07] Air Force Link
[žiūrėta 2007-12-10] Prieiga per internetą:
<<http://www.af.mil/factsheets/factsheet.asp?fsID=119>>
- [ARE04] A Real-Time Precise Fuzzy Algorithm for Map Matching via GPS
[žiūrėta 2008-12-10] Prieiga per internetą:
<http://www.gisdevelopment.net/technology/gps/me05_058a.htm>
- [Arp02] C.Arpin „Global positioning system (GPS) errors & limitations for vehicle tracking“
[žiūrėta 2007-11-14] Prieiga per internetą:
<http://www.mobile-vision.com/Resources/GPS_whitepaper.pdf?fuseaction=display&article_id=358&issue_id=82004>
- [Ash03] Neil Ashby „Relativity in the Global Positioning System“, 2003
- [Bei02] Beidou navigation test satellite
[žiūrėta 2008-04-23] Prieiga per internetą:
<<http://www.cast.cn/CastEn/Show.asp?ArticleID=17414>>
- [EI98] European Organization for the Safety of Air Navigation, Institute of Geodesy and Navigation „WGS 84 IMPLEMENTATION MANUAL“
[žiūrėta 2008-04-23] Prieiga per internetą:
<<http://www.icao.int/pbn/docs/eurocontrolwgsman24.pdf>>
- [GIS07] GIS Development
[žiūrėta 2007-11-23] Prieiga per internetą:
<<http://www.gisdevelopment.net/tutorials/tuman004.htm>>
- [Glo98] Global Positioning System
[žiūrėta 2008-04-23] Prieiga per internetą:
<<http://physics.syr.edu/courses/PHY312.03Spring/GPS/GPS.html>>
- [Gus05] P.Gustavson “Developing of a Matlab-based GPS Constellation Simulation for Navigation Algorithm Developements”
[žiūrėta 2009-04-27] Prieiga per internetą:
<<http://epubl.ltu.se/1402-1617/2005/117/LTU-EX-05117-SE.pdf>>
- [HL97] D.L.Hall, J.Llinas. An Introduction to Multisensor Data Fusion. In: Proceedings of The IEEE, v. 85, Nr. 1, 1997, pp. 6-23.

- [InS03] In Simple Terms, How does GPS works?
[žiūrėta 2008-05-03] Prieiga per internetą:
<<http://gge.unb.ca/Resources/HowDoesGPSWork.html>>
- [Int99] International Federation of Air Traffic Controllers' Association „A beginner's guide to GNSS in Europe“
[žiūrėta 2008-03-12] Prieiga per internetą:
<<http://www.ifatca.org/docs/gnss.pdf>>
- [Kop99]. V.G.Kopytoff "18 Wheels, G.P.S., and Radar." New York Times, 1999
- [LCH06] R.Lilley, G.Church, M.Harrison „GPS Backup For Position, Navigation and Timing“
[žiūrėta 2007-11-23] Prieiga per internetą:
<<http://www.loran.org/news/GPS-Backup-Released.pdf>>
- [Lie04] Lietuvos teritorijos Georeferencinio pagrindi naudojimo ir tvarkymo taisyklės
[žiūrėta 2008-04-23] Prieiga per internetą:
<http://www.zum.lt/min/index.cfm?fuseaction=displayHTML&attributes.file=File_1821.cfm&langparam=LT>
- [LNW+99] J.Li, A.Ndili, L.Ward, S.Buchman “GPS Receiver Satellite/Antenna Selection Algorithm for the Stanford Gravity Probe B Relativity Mission”
[žiūrėta 2009-04-18] Prieiga per internetą:
<http://einstein.stanford.edu/content/sci_papers/papers/LiJ_1999_75.pdf>
- [Nat08] National Marine Electronics Association „Approved 0183 Manufacturer's Mnemonic Codes“
[žiūrėta 2008-04-23] Prieiga per internetą:
<<http://www.nmea.org/pub/2000/NMEA0183MFGCodes.pdf>>
- [NME03] NMEA data
[žiūrėta 2008-04-23] Prieiga per internetą:
<<http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>>
- [Tho98] R.B.Thompson "Global Positioning Systems: The Mathematics of GPS Receivers." Mathematics Magazine 71:4, 1998
- [Ref04] Reflections on relativity. 2.7 Sagnac effect
[žiūrėta 2008-04-23] Prieiga per internetą:
<<http://www.mathpages.com/rr/s2-07/2-07.htm>>
- [RW00] J.A.Rios, E.White “Fusion Filter Algorithm Enhancements For a MEMS GPS/IMU”
[žiūrėta 2009-04-18] Prieiga per internetą:
<http://www.xbow.com/Support/Support_pdf_files/Fusion_Filter_Algorithm.pdf>
- [Sir05] SiRF Technology, Inc. „NMEA Reference Manual“
[žiūrėta 2008-04-23] Prieiga per internetą:
<<http://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/NMEA Reference Manual1.pdf>>
- [Wha04] What is UTM/UPS?
[žiūrėta 2008-04-23] Prieiga per internetą:
<<http://gpsinformation.net/main/utm-faq.html>>

Priedai

1 priedas.

NMEA sakinių aiškinimas. [NME03]

Pagrindinis pozicijos sakiny $\$GPGGA$:

$\$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47$

Šiame sakinyje pateikiama informacija:

- \$ - sakinio pradžia;
- GP – duomenys skirti GPS;
- GGA – sakinio paskirties prefiksas, reiškiantis, kad tai pozicijos duomenys;
- 123519 – UTC laikas 12:35:19;
- 4807.038 – platumos koordinatė;
- N – Šiaurės platumas;
- 01131.000 – ilgumos koordinatė;
- E – Rytų ilguma;
- 1 – signalo kokybė:
 - 0 – blogas signalas,
 - 1 – GPS tinkamas,
 - 2 – DGPS ,
 - 3 – PPS,
 - 4 – realaus laiko kinematinis,
 - 5 – realusis RTK,
 - 6 – apytikris,
 - rankinis,
 - simuliuojamas.
- 08 – matomų palydovų skaičius;
- 0.9 – horizontalus pozicijos silpninimas;
- 545.4 – aukštis nuo jūros lygio;
- M – aukščio matavimo vienetai (metrai);
- 46.9 – geoido aukštis;
- M – matavimo vienetai (metrai);
- * - sakinio pabaiga;
- 47 – kontrolinis simbolių skaičius.

$\$GPGSA$ sakiny, reiškiantis palydovo statusą:

$\$GPGSA,A,3,04,05,,09,12,,,,,24,,,,,2.5,1.3,2.1*39$

Sakinio teikiama informacija:

- \$ - sakinio pradžia;
- GP – duomenys skirti GPS;
- GSA – sakinio paskirties prefiksas, reiškiantis, kad tai palydovo statusas;
- A – automatiškai parenkama 2D ar 3D matavimai (M – rankinis parinkimas);

- 3 – trimatis matavimas:
 - 1 – nematuojama,
 - 2 – dvimatis,
 - 3 – trimatis.
- 04,05,,09,12,,,24 – naudojami palydovai. Vietos yra 12 geriausiai matomų. Daugiau vienu metu realiai nematoma, o jei būtų, tai naudotų 12 geriausių signalą siunčiančių;
- 2.5 – tikslumo silpninimo koeficientas;
- 1.3 – horizontalus tikslumo silpninimo koeficientas;
- 2.1 – vertikalus tikslumo silpninimo koeficientas;
- * - sakinio pabaiga;
- 39 – kontrolinis simbolių skaičius.

\$GPRMC sakiny - rekomenduojami minimalūs duomenys GPS imtuvui:

\$GPRMC,120006.000,A,5441.5822,N,02512.5784,E,3.54,158.14,110109,,*6B

Sakinio teikiama informacija:

- \$ - sakinio pradžia;
- GP – duomenys skirti GPS;
- RMC – sakinio paskirties prefiksas;
- 120006.000 – Laiko momentas UTC laiku;
- A – sakinio galiojimas (A-galioja, V-negalioja);
- 5441.5822 – platumos koordinatė;
- N – Šiaurės platumas;
- 02512.5784 – ilgumos koordinatė;
- E – Rytų ilgumas;
- 3.54 – greitis mazgais;
- 158.14 – tikrasis kursas;
- 110109 – data;
- Tuščias – Variacija;
- Tuščias – Rytų/Vakarų variacija (galimos raidės E/W);
- * - sakinio pabaigos simbolis;
- 6B – kontrolinis simbolių skaičius.

\$GPVTG sakiny - vektorinis kelias ir greitis žemės paviršiuje:

\$GPVTG,162.19,T,,M,3.26,N,6.05,K*34

Sakinio teikiama informacija:

- \$ - sakinio pradžia;
- GP – duomenys skirti GPS;
- VTG – sakinio paskirties prefiksas;
- 162.19 – tikroji kryptis;
- T – konstanta reiškianti tikrosios Šiaurės atskaitą;
- Tuščias – magnetinė kryptis;
- M – konstanta reiškianti, magnetinės Šiaurės atskaitą;

- 3.26 – greitis mazgais;
- N – konstanta reiškianti greičio matavimo vienetus (mazgus);
- 6.05 – greitis kilometrais per valandą;
- K – konstanta reiškianti greičio matavimo vienetus (km/h);
- * - sakinio pabaigos simbolis;
- 34 – kontrolinis simbolių skaičius.

\$GPGSV sakiniai - detali palydovo informacija:

\$GPGSV,4,1,14,22,71,127,36,03,64,210,40,06,60,183,37,19,56,289,17*78

\$GPGSV,4,2,14,18,47,066,,37,27,184,,21,18,091,,14,13,149,*75

\$GPGSV,4,3,14,15,10,027,,11,04,279,,16,03,199,,08,03,320,*7C

\$GPGSV,4,4,14,27,02,332,,28,01,346,*73

Sakinio teikiama informacija:

- \$ - sakinio pradžia;
- GP – duomenys skirti GPS;
- GSV – sakinio paskirties prefiksas;
- 4 – GSV sakinių skaičius žinutėje;
- 1 – šios žinutės numeris;
- 14 – „matomų“ palydovų skaičius;
- 22 – palydovo numeris;
- 71 – aukštis laipsniais (max.: 90);
- 127 – azimutas, laipsniai nuo tikrosios šiaurės. (nuo 000 iki 359);
- 36 – SNR;
- 03 – antrojo palydovo numeris;
- 64 – aukštis laipsniais (max.: 90);
- 210 – azimutas, laipsniai nuo tikrosios šiaurės. (nuo 000 iki 359);
- 40 – SNR;
- 06 – trečiojo palydovo numeris;
- 60 – aukštis laipsniais (max.: 90);
- 183 – azimutas, laipsniai nuo tikrosios šiaurės. (nuo 000 iki 359);
- 37 – SNR;
- 19 – ketvirtojo palydovo numeris;
- 56 – aukštis laipsniais (max.: 90);
- 289 – azimutas, laipsniai nuo tikrosios šiaurės. (nuo 000 iki 359);
- 17 – SNR;
- * - sakinio pabaigos simbolis;
- 78 – kontrolinis simbolių skaičius.

Kiti trys sakiniai iššifruoja atitinkamai kaip ir šis.

Atstumo tarp dviejų taškų skaičiavimas.

Tarp dviejų GPS imtuvu gautų taškų esantis atstumas paskaičiuojamas panaudojant šias formules:

```
a = PI / 180;  
lat1 = lat1deg * a;  
lat2 = lat2deg * a;  
lon1 = lon1deg * a;  
lon2 = lon2deg * a;  
t1 = sin(lat1) * sin(lat2);  
t2 = cos(lat1) * cos(lat2);  
t3 = cos(lon1 - lon2);  
t4 = t2 * t3;  
t5 = t1 + t4;  
rad_dist = ctg(-t5/sqrt(-t5 * t5 + 1)) + 2 * ctg(1);  
Atstumas = rad_dist * 6366832.9383716631328393804536;
```