

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Jūrų technikos fakultetas

Informatikos inžinerijos katedra

Pozicionavimo variklių nuotolinio valdymo posistemės kūrimas

Development of Remote Control Subsystem for the Positioning Motors

Techninių informacinių sistemų inžinerijos specialybės
(valstybinis kodas 621E15004)
Magistro baigiamasis darbas

Autorius	TMISI-12gr. stud. Kęstutis Ruibys
Vadovas	prof. dr. Arūnas Andziulis
Konsultantas	lekt. dokt. Darius Drungilas

Klaipėda, 2014

ANOTACIJA

Radio teleskopas RT-32 Irbenėje, Latvijoje yra labai svarbus radio astronomijos instrumentas Baltijos jūros regionui. Kol kas radio teleskopas yra valdomas vietoje, įvedant komandas rankiniu būdu. Norint leisti naudotis tokiu svarbiu instrumentu platesniam mokslininkų ratui, būtina sukurti nuotolinio valdymo posistemę, leidžiančią tiksliai kaip vietoje valdyti radio teleskopo antenos pozicionavimą. Taip pat labai svarbi grafinė vartotojo sąsaja, kuri palengvintų radio teleskopo valdymą. Šiame darbe aprašomas radio teleskopo RT-32 pozicionavimo variklių nuotolinio valdymo posistemės kūrimas. Pateikiami nagrinėjamos srities mokslininkų atlikti tyrimai bei jų rezultatai. Nustatomi kuriamos posistemės funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai. Sukuriamas bendras architektūros modelis, duomenų srautų diagrama aprašanti duomenų srautus tarp sukurtos pozicionavimo variklių nuotolinio valdymo posistemės procesų. Nuotolinio valdymo posistemė realizuojama National Instruments LabVIEW programine įranga, kuri leido sukurti virtualaus instrumento blokinę diagramą ir grafinę vartotojo sąsają. Sukurtas virtualus instrumentas, leidžiantis tiksliai nuotoliniu būdu valdyti radio teleskopo pozicionavimo variklius, gauti valdymo parametrus ir juos įrašyti į tekstinį failą, bei gautus valdymo parametrus atvaizduoti sukurtoje grafinėje vartotojo sąsajoje. Panaudojant gautus valdymo duomenis buvo atliktas tyrimas, kuris parodė, kad atsisukimo į užduotą koordinatę trukmės prognozavimo uždaviniui galime taikyti radialinių bazinių funkcijų neuroninius tinklus.

PAGRINDINIAI ŽODŽIAI: nuotolinis valdymas, radio teleskopas, LabVIEW, duomenų gavimas, grafinė vartotojo sąsaja, valdymas, virtualus instrumentas.

ABSTRACT

Radio telescope RT-32 located in Irbene, Latvia is a very important instrument for radio astronomy in the Baltic Sea region. Radio telescope is operated locally and manually entering commands. In order to allow such an important instrument to use for wider circle of scientists, it is necessary to create a remote control subsystem, which will allow to control radio telescope in the same accuracy as local control. Also, antenna positioning subsystem should have a graphical user interface to simplify control. This paper describes development of the radio telescope RT-32 remote positioning motor subsystem. Firstly, there is analyzed scientific researches, and their results. Secondly, there is identified functional and non-functional requirements for the subsystem. Thirdly, there was developed a common architecture model, data flow diagrams, which describes the data flows between the developed remote positioning engine control subsystem processes. Subsystem was implemented with National Instruments LabVIEW software, which allowed to create virtual instrument for graphical user interface. The developed virtual instrument allows precise remote control of radio telescope positioning motors, to get the control parameters and save them to text file and display the received parameters using the created graphical user interface. Finally, there is performed data analysis, which showed that radial basis function neural networks could be used to predict the turn time to set position.

KEY WORDS: remote control, radio telescope, LabVIEW, data acquisition, interface, control, virtual instrument

SANTRUMPŲ ŽODYNĖLIS

SSH (angl. *Secure shell*) – saugus tinklo protokolas, aprašantis apsaugotą kliento prisijungimą prie serverio aplinkos ir komandų vykdymą.

NI – National Instruments

SSL (angl. *Secure Sockets Layer*) – kriptografinis protokolas, skirtas siunčiamos internete informacijos apsaugojimui, šifruojant.

VIRAC (angl. *Ventspils International Radio Astronomy Center*) – Ventspilio tarptautinis radijo astronomijos centras.

DAQ(angl. *data acquisition*) – duomenų gavimas.

VI (angl. *Virtual Instrument*) – virtualus instrumentas (prietaisas).

DFD(angl. *Data Flow Diagram*) – duomenų srautų diagrama.

RBFN (angl. *Radial Basis Function Network*) – radialinių bazinių funkcijų neuroninis tinklas.

QFT(angl. *Quantitative-Feedback-Theory*) – kiekybinė-grįžtamojo ryšio-teorija.

dll (angl. *dynamic link library*) – dinaminių saitų biblioteka.

DSD (angl. *Data Structure Diagram*) – duomenų struktūros diagrama.

TERMINŲ ŽODYNĖLIS

A

Algoritmas (angl. *algorithm*) – tai tam tikra veiksmų seka, kurią būtina atlikti norint pasiekti užsibrėžtą tikslą.

D

Dirbtinis neuroninis tinklas (angl. *artificial neural network*) – tarpusavyje sujungtų dirbtinių neuronų grupė. Ši technologija mėgdžioja žmogaus galvos smegenų darbą – tiksliau neuronų veikimą.

Dekomponavimas „iš viršaus žemyn“ (angl. *Top-down Approach*) – sistema modeliuojama pradant nuo sąveikų su aplinka, nuosekliai skaidant sistemą į vis smulkesnes dalis (ar procesus) tiek kartų, kiek yra prasminga modeliavimo tikslo požiūriu.

Duomenų perdavimo protokolas (angl. *Transmission Control Protocol, TCP*) – tai vienas iš pagrindinių protokolų, esančių internetinių protokolų rinkinyje.

F

Funkcija (angl. *function*) – tam tikra veiklos rūšis, kuri nukreipta įvykdyti tam tikrą užduotį (sukurti produktą ar paslaugą), siejama su tikslu, asmeniu, padaliniu, įrenginiu (daiktu) ar organizacine sistema.

I

Interneto protokolas (angl. *Internet Protocol, IP*) – tai taisyklių visuma, apibrėžianti duomenų mainų būdą tarp dviejų kompiuterinių sistemų.

J

Jutiklis (angl. *sensor*) – techninės įrangos komponentas, galintis teikti kompiuteriui informaciją apie kompiuterio vietą, aplinką, įrenginių būseną ir kt.

L

Linux (angl. *Linux*) – tai atvirojo kodo operacinė sistema.

M

Metodas (angl. *method*) – veiksmų seka, kuri turi būti atlikta norint rasti atsakymą į kokios nors srities mokslinį klausimą. Moksliniai metodai sąlyginai yra skirstomi į racionalius - paremtus abstrakčiu „grynuoju teoriniu mąstymu“ - dedukcija, bei empirinius, kai į pirmą vietą iškyla ne teorinis modelis, o empiriniai eksperimentų ar matavimų duomenys, kuriais remiantis daromi apibendrinimai - indukcijos būdu.

Modeliavimas (angl. *modelling*) – bendruoju atveju tai realaus pasaulio objektų ar reiškinių atvaizdavimas (matematinų lygčių rinkiniu, grafinių modelių rinkiniu).

Modelis (angl. *model*) – modelis yra aiški (detali) išraiška, kuria kažkas apibūdina savo supratimą apie sistemą ar situaciją (ISO/ANSI, 1994:11).

Monitoringas (angl. *monitoring*) – sistemingas tam tikro svarbaus reiškinių stebėjimas, renkant informaciją, reikalingą sistemos valdymui, reiškinių paieška ir aptikimas.

P

Parametras (angl. *parameter*) – dydis, apibūdinantis proceso, reiškinių, sistemos savybes.

Programinė įranga (angl. *software*) – tai kompiuterio vykdomų instrukcijų seka, skirta tam tikriems veiksmams atlikti. Dažniausiai tokia įranga sukuriamą naudojant programavimo kalbas, o vėliau kompiliuojant ar interpretuojant kodą.

Prototipas (angl. *prototype*) – kokio nors daikto pirminė versija, bandomasis objektas.

Procesas (angl. *process*) – iš anksto apibrėžta konkrečios programos arba kokios nors jos dalies vykdymo metu įvykstančių įvykių seka.

Programinis kodas (angl. *program code*) – taisyklių, nurodančių ką turi daryti kompiuteris, rinkinys, parašytas kokia nors programavimo kalba.

S

Sąsaja (angl. *interface*) – tam tikras susitarimas tarp dviejų programinių ar techninių įrenginių. Sąsajos yra skirtos abstrakčiai aprašyti apsikeitimą duomenimis tarp atitinkamų sistemos komponentų, kad vienam komponentui nereikėtų žinoti nieko daugiau apie kitą komponentą. Komponentu gali būti įrenginys, programos modulis, programa, klasės objektas.

T

Techninė įranga (angl. *hardware*) – informacijos apdorojimo sistemos fizinių komponentų visuma arba tos visumos dalis.

Testavimas (angl. *test*) – signalų rinkinys arba paprogramės, programos skaičiavimo blokų, mazgų, programinės įrangos veikimui tikrinti (kontrolinis), gedimo vietai nustatyti (diagnostinis).

V

Verifikacija (angl. *verification*) – autentiškumo patvirtinimas, hipotezės ar teorijos teisingumo nustatymo procedūra.

Valdiklis (angl. *controller*) – tai mikroprocesorius ir jam priklausančių įrenginių sistema, skirta pramonės procesų automatizavimui.

TURINYS

TERMINŲ ŽODYNĖLIS	5
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS	9
ĮVADAS	10
1. ANALITINĖ DALIS	12
1.1. Radijo teleskopo valdymo ir pozicionavimo sistemų analizė.....	12
1.2. Radijo teleskopų valdymas ir pozicionavimas	19
1.3. Dirbtinių neuroninių tinklų taikymas variklių valdymo sistemose.....	20
2. PROJEKTINĖ DALIS.....	25
2.1. Funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai	25
2.2. Projektuojamos nuotolinio valdymo posistemės architektūra	26
2.3. Duomenų srautų modelis	27
2.4. Nuotolinio valdymo posistemės veikimo algoritmas	30
3. METODINĖ DALIS	32
3.1. Radijo teleskopas RT-32.....	32
3.2. LabVIEW programinė įranga	35
3.3. Nuotolinio valdymo prisijungimo protokolai	37
4. EKSPERIMENTINĖ DALIS	40
4.1. Radijo teleskopo RT-32 valdyme naudojamos komandos	40
4.2. Sukurti nuotolinio valdymo posistemės NI LabVIEW virtualūs instrumentai.....	41
4.3. Sukurta grafinė vartotojo sąsaja.....	46
4.4. Radialinių bazinių funkcijų neuroninių tinklų taikymas gautiems radijo teleskopo RT-32 valdymo duomenims.....	51
IŠVADOS	56
LITERATŪRA	57

PRIEDAI:

1. Mokslinių publikacijų sąrašas
2. Straipsnis „Application of predictive control methods for Radio telescope disk rotation control“
3. Straipsnis „Predictive control of radio telescope using multi-layer perceptron neural network“
4. Straipsnis „Radijo teleskopo RT-16 variklių valdymo monitoringo posistemės, skirtos pozicionavimo sistemai, naudojant CompactRIO 9073 platformą, kūrimas“
5. Straipsnis „Development of distributed real time data acquisition system for radio telescope monitoring“
6. Straipsnis „Žmogaus fiziologinių parametru duomenų rinkimo sistemos kūrimas“
7. Straipsnis „Research on ship autonomous steering control for shortsea shipping problems“
8. Straipsnis „Jūrinių intelektinių mechatroninių sistemų valdymo prototipo reikalavimų specifikavimas ir modeliavimas“
9. Straipsnis „Matematinis modeliu grindžiamas intermodalinio konteinerių terminalo krovos mazgo išmaniosios valdymo sistemos kūrimas“
10. Straipsnis „RT-16 radijo teleskopo virtualaus modelio kūrimas ir prototipo gamyba naudojant 3D spausdintuvą“
11. Mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtos projekto „Lietuvos jūrinio sektoriaus technologijų ir aplinkos tyrimų plėtra“ poveiklės „Jūrinių intelektinių mechatroninių sistemų valdymo prototipo kūrimas“ pristatymas
12. Sukurto virtualaus instrumento grafinė vartotojo sąsaja ir blokinė diagrama
13. Radialinių bazinių funkcijų neuroninių tinklų realizavimas Python programavimo kalba
14. Duomenų srautų diagramų notacija
15. Kompaktinė plokštelė

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav.	SACE aukšto lygio architektūros diagrama [5].....	12
2 pav.	Supaprastinta architektūros koncepcija [2]	13
3 pav.	Būsenos apdorojimo diagrama [6]	13
4 pav.	Paskirstyta radijo teleskopo nuotolinio valdymo sistema naudojant debesų kompiuteriją [3]	14
5 pav.	RT-32 elektros pavaros funkcinė monitoringo ir valdymo sistemos schema [8].....	15
6 pav.	Paskirstytos realaus laiko duomenų gavimo sistemos struktūra [10].....	16
7 pav.	Uždaro ciklo variklio valdymo sistema su sinchronizavimu [11].....	17
8 pav.	Programos operacijų algoritmas [12]	18
9 pav.	Radijo teleskopo dinaminis modelis [16].....	19
10 pav.	Radio teleskopo konstrukcijos defektai dėl gravitacijos(a) ir radio bangų išlenkimas dėl atmosferinių lūžių(b) [16].....	20
11 pav.	Prisitaikančio neuroninio-neraiškaus tinklo architektūra [19]	22
12 pav.	Radialinių bazinių funkcijų neuroninio tinklo struktūra [21].....	23
13 pav.	Intelektualaus maksimalios galios sekimo metodo blokinė diagrama [24].....	24
14 pav.	Bendra pozicionavimo variklių nuotolinio valdymo posistemės architektūra	26
15 pav.	Nuotolinio valdymo posistemės kūrimo metu naudota tinklo schema.....	27
16 pav.	Aukščiausio lygmens duomenų srautų diagrama	27
17 pav.	Nulinio lygmens duomenų srautų diagrama.....	28
18 pav.	I-ojo lygmens DFD (funkcijos „Duomenų gavimas“)	28
19 pav.	I-ojo lygmens DFD (funkcijos „Duomenų talpinimas“)	28
20 pav.	I-ojo lygmens DFD (funkcijos „Duomenų nuskaitymas“).....	29
21 pav.	I-ojo lygmens DFD (funkcijos „Duomenų įrašymas ir perteikimas“)	29
22 pav.	Funkcijų (procesų) hierarchijos modelis	30
24 pav.	Virtualaus instrumento pagindinis veikimo algoritmas.....	31
25 pav.	Radijo teleskopas RT-32	32
26 pav.	Radijo teleskopo RT-32 antena	33
27 pav.	Radijo teleskopo RT-16 scheminis brėžinys [27]	33
28 pav.	Sukimo mechanizmo dalis	34
29 pav.	LabVIEW programos valdymo sąsajos (angl. <i>front panel</i>) langas	35
30 pav.	LabVIEW programos blokinės diagramos (angl. <i>block diagram</i>) langas	35
31 pav.	Tuneliavimas [32].....	38
32 pav.	Minimali blokinė diagrama reikalinga telnet klientui	42
33 pav.	Minimalus Telnet kliento langas	42
34 pav.	Blokinė diagrama skirta prisijungimui prie Linux serverio ir valdymo programos paleidimo jame	43
35 pav.	Blokinė diagrama skirta nustatyti koordinatas, kur turi suktis radijo teleskopas	43
36 pav.	Blokinė diagrama skirta programos(koord.) paleidimui Linux serveryje	43
37 pav.	Blokinė diagrama skirta išskaidyti gautą duomenų eilutę į atskirus skaičius	44
38 pav.	Blokinės diagramos fragmentas skirtas sukurti grafinės vartotojo sąsajos indikatorius	44
39 pav.	Blokinės diagramos dalis skirtas gaunamos eilutės apdorojimui	44
40 pav.	Blokinės diagramos fragmentas skirtas telnet kliento parametrams nustatyti	45
41 pav.	Blokinės diagramos fragmentas skirtas terminalo slankiklio išlaikymui apačioje.....	45
42 pav.	Blokinės diagramos fragmentas skirtas išvalyti terminalą kas 2000 ciklų.....	45
43 pav.	Sukurto VI pagrindinis valdymo skydelis	46
44 pav.	Sukurto VI grafinės vartotojo sąsajos skydelis skirtas terminalui	47
45 pav.	Sukurto VI antraeilio svarbumo komandų valdymo skydelis	47
46 pav.	Grafinės vartotojo sąsajos fragmentas skirtas komandoms „Zenitas“ ir „Linux programa“	48
47 pav.	Grafinės vartotojo sąsajos fragmentas rodantis klaidų indikatorius.....	48
48 pav.	Grafinės vartotojo sąsajos fragmentas rodantis skaitines parametrų reikšmes	49
49 pav.	Iškylantys „pop up“ komandų paaiškinimai.....	49

50 pav. Papildomi dvikalbiai komandų paaiškinimai	50
51 pav. Verifikacijos metu gautų duomenų fragmentas.....	50
52 pav. Radijo teleskopo valdymo sistemos abstraktus modelis	51
53 pav. Konceptinė pozicionavimo variklių valdymo sistema.....	52
54 pav. RBFN struktūros skirtos atsisukimo į užduotą koord. trukmei prognozuoti architektūra ...	52
55 pav. Atsisukimo trukmių į užduotą vertikalią poziciją ($\Delta\alpha=3^\circ$) prognozių paklaidų pasiskirstymas, atlikus 10000 prognozių	53
56 pav. Atsisukimo trukmių į užduotą horizontalią poziciją ($\Delta\beta=3^\circ$) prognozių paklaidų pasiskirstymas, atlikus 10000 prognozių	54
57 pav. Pirmo bandymo realių ir prognozuotų atsisukimo trukmių į užduotą horizontalią poziciją ($\Delta\alpha=3^\circ$) prognozių pasiskirstymas testavimo duomenų sekoje	55
58 pav. Prognozuotos (Δt_v) ir realios (Δt_r) atsisukimo trukmės, kai $\Delta\alpha=x^\circ$	55

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Pagrindiniai ssh parametrai [32].....	39
2 lentelė. RBFN atsisukimo trukmių į užduotą poziciją ($\Delta\alpha, \beta = 3^\circ$) prognozavimo bandymų duomenys.....	54

ĮVADAS

Kosmoso veiklos ekonominio ir socialinio poveikio analizė rodo, kad pastaruoju metu ši veikla intensyviai plečiasi už savo tradicinių ribų, palaipsniui apimdama kasdieninio naudojimo produktų gamybą ir paslaugų teikimą praktinėje veikloje, pavyzdžiui, palydovinio ryšio (telefoninio ryšio, interneto tiekimo, televizijos transliavimo), palydovinės navigacijos (transporto valdymo ir kontrolės, vietos nustatymo, laiko ir dažnio tarnybų veiklos, gynybos) bei žemės stebėjimo (meteorologijos, aplinkosaugos, saugumo, gynybos, išteklių ir krizių valdymo) srityse. Kosmoso veikla turi praktiškai neribotas plėtros perspektyvas ir yra svarbus žinių ekonomikos variklis [1]. Viena iš didžiausių potencialą turinčių sričių yra radioastronomija. Tobulinant radijo teleskopus atrandamos naujos galimybės radijo astronomiją panaudoti kasdieniame žmogaus gyvenime. Siekiant pritraukti kuo platesnį ratą mokslininkų dirbti šioje srityje bei siekiant populiarinti mokslą, reikalinga sukurti nuotolinio valdymo sistemas, kad su radijo teleskopais galėtų dirbti ir toli gyvenantys mokslininkai, tyrėjai ir studentai [2]. Nuotolinio valdymo posistemės kūrimas ypač aktualus Klaipėdos universitetui įgyvendinant tarptautinį bendradarbiavimo per sieną projektą, siekiant apjungti Ventspilio ir Klaipėdos universitetų radioastronomijos techninius resursus bei mokslinį potencialą. Latvijos radijo teleskopų nuotolinis valdymas būtinas jungiant juos į stebėjimų tinklą, kurio kūrime gali būti panaudota *National Instruments LabVIEW* programinė ir techninė įranga [3, 4].

Pozicionavimo variklių nuotolinio valdymo posistemei būtina integruoti duomenų išsaugojimo funkciją, kad būtų galima atlikti valdymo tyrimus, nejungiant tiesiogiai radijo teleskopo. Taip pat labai svarbi greitai suprantama grafinė vartotojo sąsaja, kuri leistų lengviau suprasti gaunamus duomenis, bei greičiau siųsti valdymo komandas, lyginant su rankiniu būdu įvedamomis komandomis. Ne gana to, sąsaja turėtų užtikrinti, kad nebūtų išsiųstos atsitiktinės valdymo komandos, taip užtikrinant radijo teleskope esančių darbuotojų saugumą. Nuotolinio valdymo posistemei sukurti reiktų pasitelkti *NI LabVIEW*, nes ši programinė įranga yra moderni ir inovatyvi, leidžianti lengvai tobulinti ir adaptuoti sukurtas sistemas. Panaudojant gautus duomenimis būtina atlikti tyrimus atsisukimo į užduotą koordinatę trukmei nustatyti uždavinio sprendimui. Šios trukmės prognozavimas labai svarbus tiksliam kosmoso objektų sekimui dangaus skliaute, kai radijo teleskopo antenos dinaminis pozicionavimas atliekamas elektromechaninėmis pavaromis.

Šio darbo tikslas – sukurti pozicionavimo variklių nuotolinio valdymo posistemę, leidžiančią nuotoliniu būdu tiksliai valdyti radijo teleskopo RT-32 anteną.

Tikslui pasiekti keliami šie uždaviniai:

- 1) Atlikti tiriamos srities literatūros analizę.
- 2) Sukurti radijo teleskopo RT-32 antenos pozicionavimo variklių valdymo posistemės

bendrą architektūros modelį, bei sudaryti posistemės duomenų srautų diagramą atvaizduojančią posistemės procesų duomenų srautus.

- 3) Sukurti virtualius instrumentus *National Instruments LabVIEW* programavimo aplinkoje, skirtus: duomenų gavimui, įrašymui į failą, nuotoliniam valdymui, gautų duomenų atvaizdavimui.
- 4) Verifikuoti sukurtą radijo teleskopo RT-32 pozicionavimo variklių nuotolinio valdymo posistemę.
- 5) Naudojant gautus duomenims patikrinti radialinių bazinių funkcijų neuroninių tinklų tinkamumą antenos atsisukimo trukmei į užduotą poziciją prognozavimui.

Mokslinių publikacijų sąrašas pateikiamas 1 priede.

Tyrimo metodika

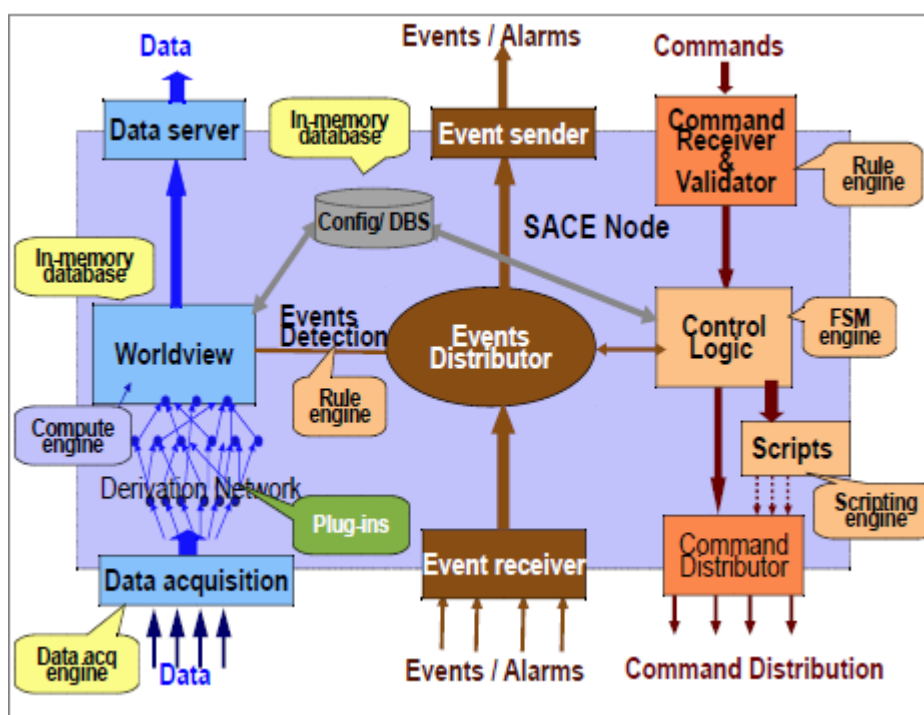
Analizuojant mokslinius ir eksperimentinius pasiekimus radijo teleskopo ir pozicionavimo valdymo sistemų kūrimo srityse buvo naudoti informacijos paieškos, sisteminimo, analizės, lyginamosios analizės ir apibendrinimo metodai. Posistemės įvertinimui naudojamas eksperimentinio tyrimo (angl. experimental research) metodas. Remiantis eksperimentinio tyrimo metodu, atlikta statistinė tyrimų rezultatų analizė, kurios rezultatams įvertinti naudotas apibendrinimo metodas.

1. ANALITINĖ DALIS

Pastaruoju metu publikuota daug mokslinių straipsnių variklių valdymo, duomenų gavybos, apdorojimo ir išsaugojimo srityse, tačiau trūksta tyrimų, kuriuose būtų analizuojamos didžiųjų radijo teleskopo pozicionavimo variklių valdymas ir jo tobulinimo galimybės, ypač naudojant modernų ir inovatyvų *National Instruments LabVIEW* programinį paketą. Šiame skyriuje pateikiami mokslininkų atlikti tyrimai, kuriant ir tobulinant pozicionavimo sistemas.

1.1. Radijo teleskopo valdymo ir pozicionavimo sistemų analizė

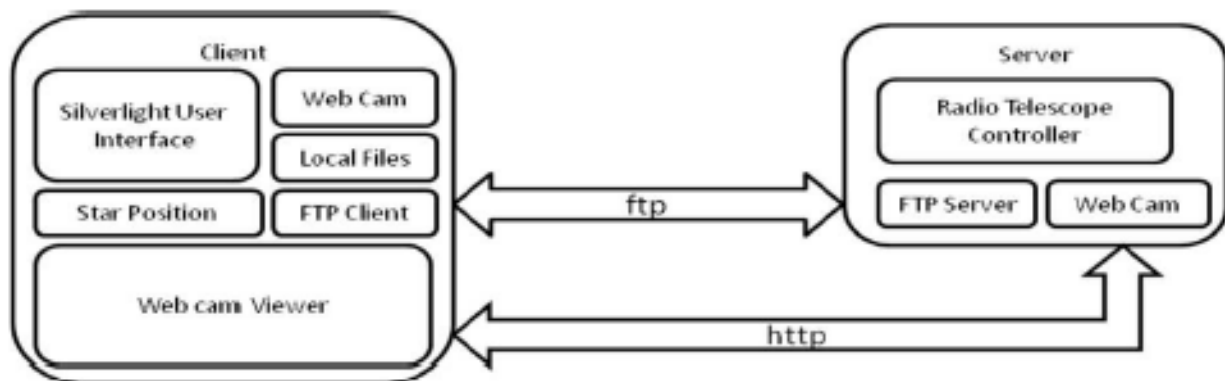
Mokslininkas J. Kodilkar ir kt. straipsnyje „Developments of next generation monitor and control systems for Radio Telescopes“ pristato radijo teleskopo stebėjimo ir valdymo sistemos prototipą skirtą GMTR observatorijos 15 m. antenai. Prototipas sukurtas panaudojant SACE mazgus, kurio aukšto lygio architektūros diagrama pavaizduota 1 paveiksle. Sistema gali veikti heterogeninėje operacinėje sistemoje, gali būti valdoma ir stebima WEB puslapyje nuotoliniu būdu. Taip pat, autoriai kaip sistemos privalumus įvardina lankstumą, panaudojamumą ir pigumą, kurie būtų labai naudingi labai didelių radijo teleskopų stebėjimo ir valdymo sistemoms [5].



1 pav. SACE aukšto lygio architektūros diagrama [5]

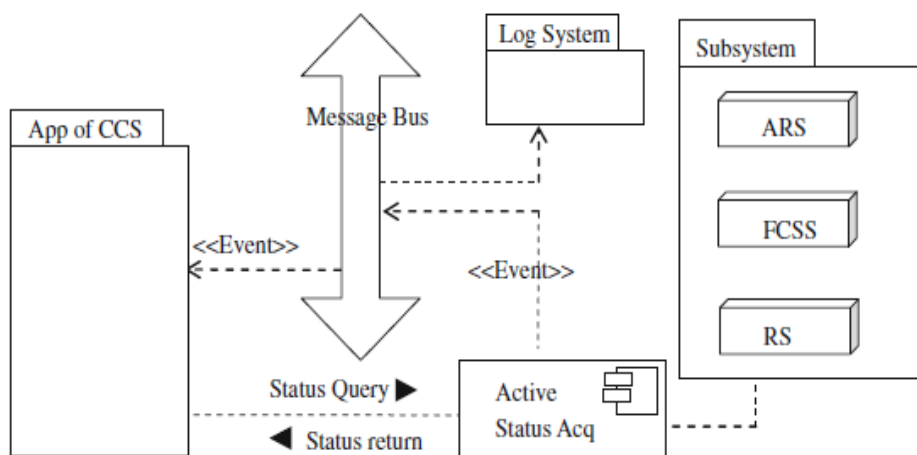
Blackrock pilyje Korke, Airijoje yra interaktyvi mokslo paroda ir astronomijos observatorija. Pagrindinis objekto tikslas yra didinti visuomenės sąmoningumą apie mokslo svarbą šiuolaikinėje visuomenėje. Čia tyrimus atliekantis Niall Smith aprašo savo patirtį apie robotų ir nuotolinių teleskopų panaudojimą organizacijos tikslui pasiekti. Jo komandos sistema nebuvo kuriama sukurti itin aukštas technologijas, bet buvo siekiama, kad kuo daugiau žmonių galėtų pasinaudoti siūloma

paslauga [2]. Sukurtos sistemos koncepcija pateikiama 2 paveiksle.



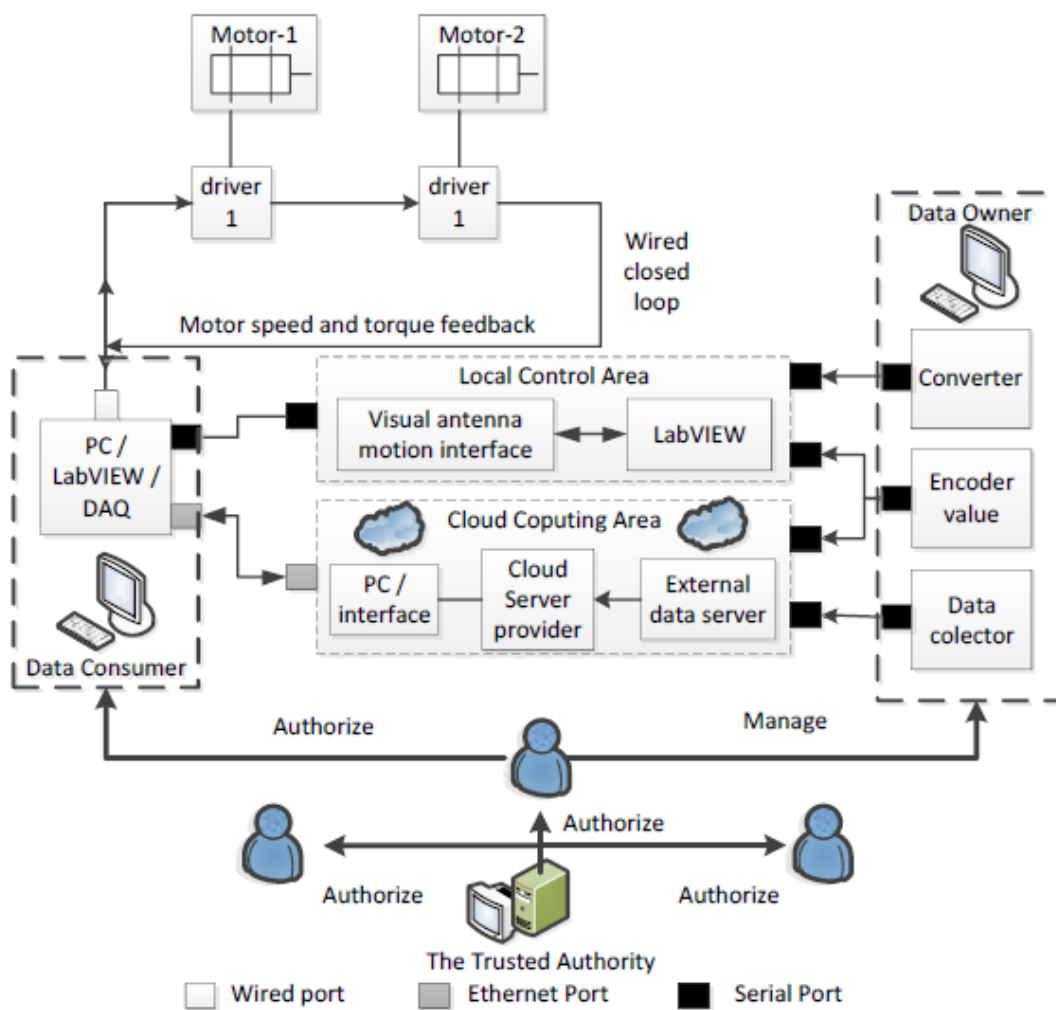
2 pav. Supaprastinta architektūros koncepcija [2]

FAST (Penkių šimtų metrų apertūrinis sferinis radijo teleskopas), yra statomas ir bus didžiausias vienos lėkštės radijo teleskopas pasaulyje. Analizuojant centrinės kontrolės sistemą panaudojant faktinius teleskopo veikimo ir stebėjimo tyrimus buvo sudarytas fizinis modelis inžinieriams ir stebėtojams, centrinės valdymo sistemos architektūra, pagrindiniai paramos moduliai ir būtinos sąsajos. Mokslininkai Jian Wang ir kt. imitavo stebėjimo (angl. *observation*) valdymo procesą ir teleskopo monitoringo ir valdymo procesą. Šioje sistemoje jie panaudojo „Active“ reflektoriaus sistemą kaip posistemio pavyzdį, kad užbaigti valdymo sistemos projektą (angl. *design*), o įgyvendinimui panaudojo EPICS (angl. *Experimental Physics and Industrial Control System*), ši sistema buvo pirmą kartą panaudota didelio teleskopo valdymui. Sukurtos sistemos tyrimas parodė, kad sistema yra lanksti, lengvai plečiama, lengvai panaudojama, gali atlikti veiksmus savalaikiškai, lengva vystymo specifikacija. Veikiant FAST, atsiranda labai daug informacijos perduodamos į centrinę valdymo sistemą, įskaitant prietaisų statusą, vykdymo būseną ir t.t. [6]. Kai centrinė valdymo sistema gauna šią informaciją, būsenos sistema apdoros juos, kad būtų galima atvaizduoti, analizuoti ar saugoti juos į diską panaudojant duomenų saugojimo sistemą, kaip parodyta 3 paveiksle.



3 pav. Būsenos apdorojimo diagrama [6]

Tyrėjai savo moksliniame darbe pateikia svarbiausius kompleksinio nuotolinio radijo teleskopo valdymo komponentus. Modeliuojant nuotolinio valdymo prototipą antenos pozicionavimui buvo pasiūlyti pagrindiniai debesų kompiuterijos sistemos, skirtos pusiau automatiškam ir nuotoliniam valdymui elementai, kurie pateikiami 4 paveiksle. Taip pat, buvo išanalizuotos National Instruments techninės ir programinės įrangos inovatyvaus panaudojimo radijo teleskopų valdymui galimybės. Analizė parodė, kad ši įranga yra tinkama tokių sistemų kūrimui [3].



4 pav. Paskirstyta radijo teleskopo nuotolinio valdymo sistema naudojant debesų kompiuteriją [3]

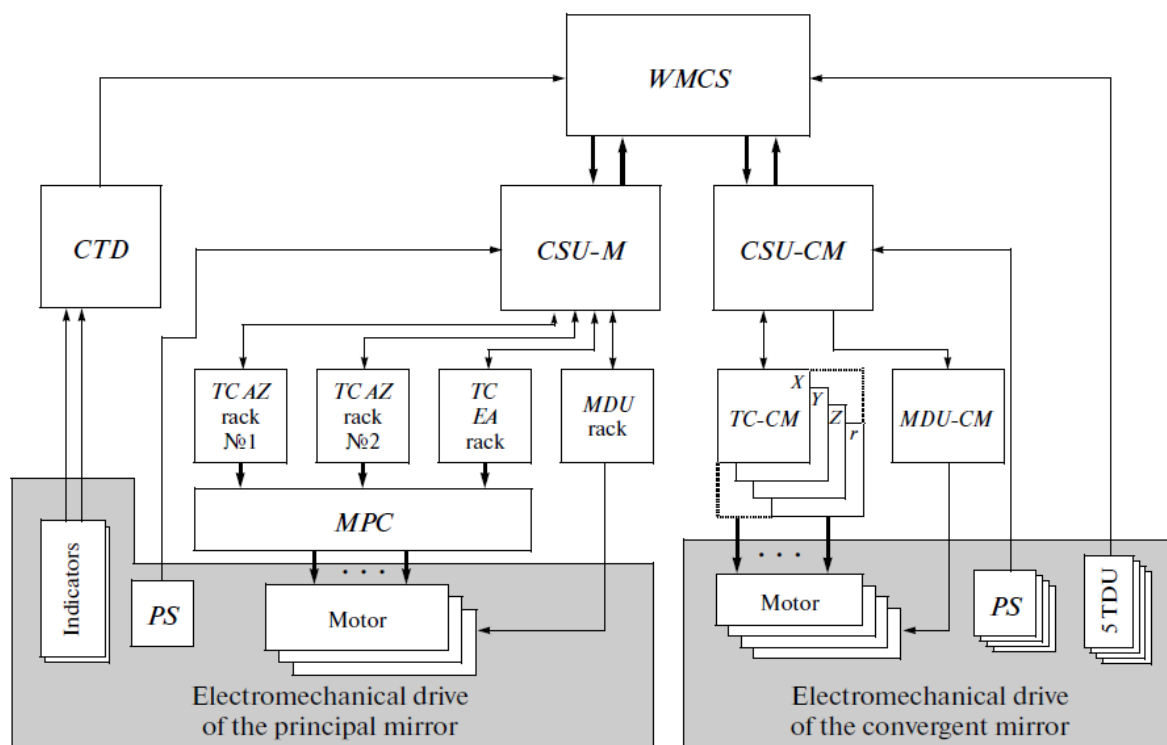
Kiekybinė-grįžtamojo ryšio-teorijos (angl. *quantitative-feedback-theory(QFT)*) valdymo sistemos sudarymo metodologijos su netiesiniu modeliu, paremtu vidiniu ciklu, buvo pritaikytas didelio radijo teleskopo valdymui. Radijo teleskopo servo sistemų dinamikos tipiškai priklauso nuo horizontalaus ir vertikalaus kampo, temperatūros, trinties, greičio ir pagreičio, ko pasakoje atsiranda netiesiškumai ir neapibrėžtumai. Nauja valdiklio sudarymo metodologija kombinuojanti patikimą QFT metodus su netiesinių perjungėjų strategija ir netiesinį modelį, paremtą vidiniu ciklu, peržengia klasikinės linijinių apribojimų įprastus valdiklius. Šis naujas valdiklis pasiekė aukštą patikimumą, gerą sekimo tikslumą ir trukdžių atmetimą esant netiesiškumams. Autoriai pastebi, kad

dar reikėtų sistemą išplėsti su daugiau ir gerai apibrėžtais netiesiškumais valdymo cikle [7].

Mokslininkas M. N. Kaidanovskiy tiria Quasar–KVO RT32 radijo teleskopą, kuris yra interferometrinio komplekso Rusijos mokslo akademijoje dalis. Teleskopas teikia radijo astronomijos stebėjimo duomenis centimetro bangos ilgio diapazone, per vieną radijo teleskopą ar jų tinklą. Antenos sistemos struktūra turi didelį dydį ir svorį, todėl inžineriniams sunku spręsti RT-32 judėjimo valdymo problemas. Antenos sistemos elektros pavara turi veikti dviem skirtingais darbo režimais: greitai pakeisti antenos kampinę padėtį ir sekti kosminio signalo šaltinį [8].

Didelė darbinė apkrova ir reikalavimai radijo teleskopų paslaugoms, kaip dalies Radijo interferometrijos tinklų, yra nustatyti griežti patikimumo reikalavimai elektros pavarai ir valdymo sistemai. Pozicionavimo sistema susideda iš tokių posistemių kaip: nuolatinės srovės varikliai, galios valdymo įrangos, padėties jutiklių pagrįstais rotaciniais transformatoriais ir kita įranga [8].

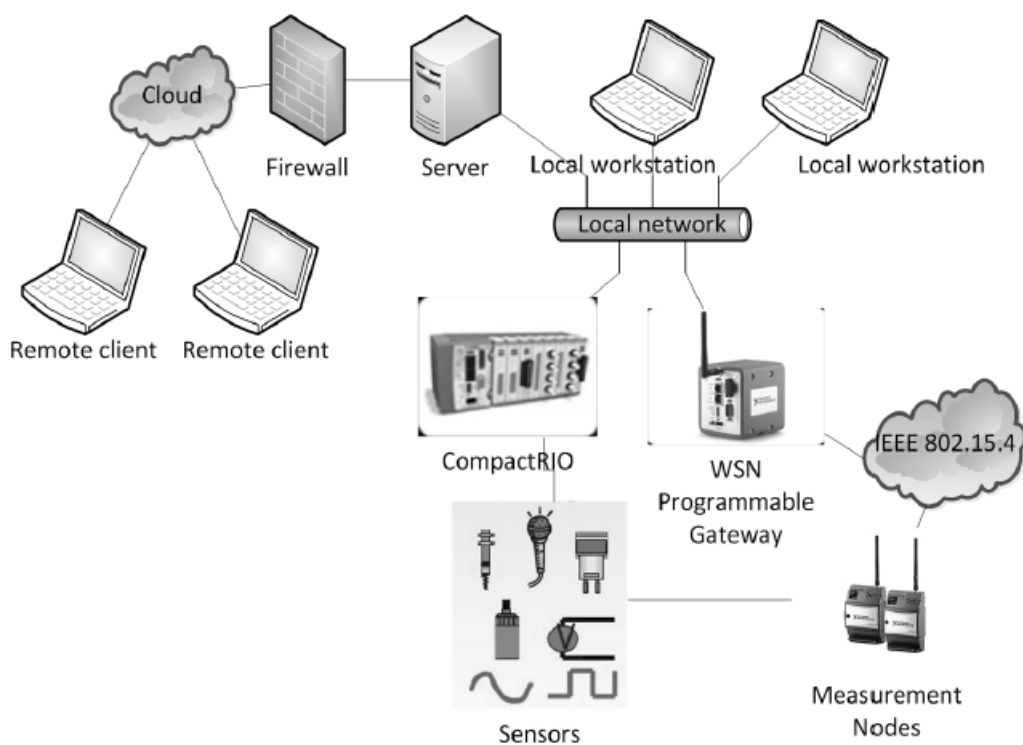
Visi posistemiai integruojami naudojant valdymo signalų perjungimo įtaisus ir koordinuojant transformuojančius prietaisus. Sistema yra valdoma darbo monitoringo ir valdymo stoties, kuri yra grindžiama pramoniniu kompiuteriu ir specialiai sukurta programine įranga. Darbo monitoringo ir valdymo sistema (WMCS), (CTD) koordinuojantis transformavimo įrenginys, (CSU-M) modernizuotas valdymo ir perjungimo elementas, (TC) tiristoriniai keitikliai, (MDU) variklio sukimo elementas, (AZ) horizontalus, (EA) vertikalus kampas, (MPC) variklio apsauga spinta, ir (PS) padėties jutikliai pateikta 5 paveiksle.



5 pav. RT-32 elektros pavaros funkcinė monitoringo ir valdymo sistemos schema [8]

Radijo teleskopui RT-16, esančiam Irbenėje buvo sukurta matavimų-monitoringo sistema su integruota duomenų išsaugojimo posisteme, skirta antenos kėlimo ir sukimo variklių

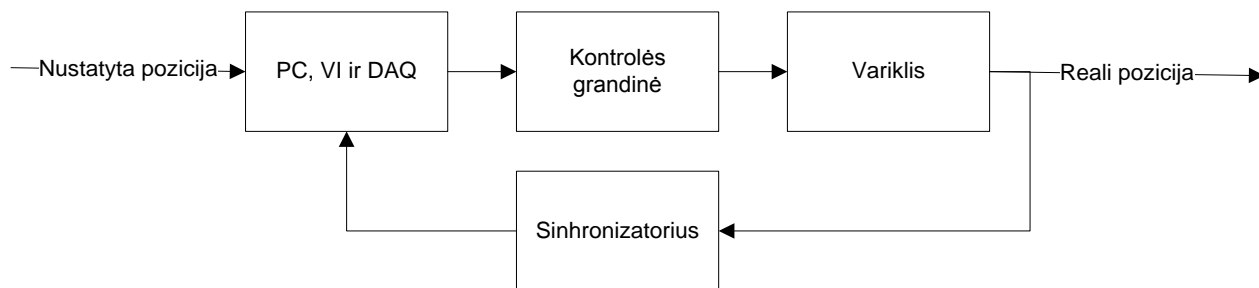
charakteristikoms tirti, leidžianti pagreitinti matavimus, pagerinti jų tikslumą, įgalinanti gautų duomenų analizę po tyrimo, valdyti variklių greitį ir kryptį. Taip pat, sistema leido stebėti valdymo procesą nuotoliniu būdu, nesant valdymo patalpoje. Ši sistema buvo sukurta naudojant NI CompactRIO 9073 platformą ir *LabVIEW* programinį paketą [9]. Sekančiais metais publikuotame straipsnyje pristatoma paskirstyta realaus laiko duomenų gavimo sistemos koncepcija, įgyvendinamas panaudojant *LabVIEW* paskirstytų sistemų modulį. Koncepcija pritaikoma radijo teleskopui RT-16. Ši sistema pranašesnė lyginant su anksčiau minėta tuo, kad sistema yra padalinta į keletą modulių, kurie veikia nepriklausomai vienas nuo kito, taip padidinant sistemos patikimumą. Dėl sistemos padalijimo atsiranda galimybės lengvai praplėsti ar konfigūruoti sistemą, taip pat, padidinamas sistemos tikslumas [10]. Šios paskirstytos duomenų gavimo sistemos struktūra pateikiama 6 paveiksle.



6 pav. Paskirstytos realaus laiko duomenų gavimo sistemos struktūra [10]

Basher H.A. ir Isa S.A. pristatoma sukurta uždaro ciklo DC variklio valdymo sistema su sinchronizavimu, kuri leidžia valdyti radijo teleskopą per internetą. Šiame projekte buvo panaudota *National Instruments LabVIEW* programinė įranga, bei NI DAQ (Model PCI-6024E) ir duomenų gavimo plokštė (Model SCB-68). Paprasta H-tilto variklio kontrolės grandinė. PCI-6024E daugiafunkcis I/O prietaisas su dviem 12 bitų skaitmeniniais įėjimais, šešiolika 12 bitų analoginių įėjimų ir du 12 bitų analoginiai išėjimai. Variklio pozicijos informacija gaunama iš prietaiso Vernitron (model VTX 23-6B9), kuris pritvirtintas prie variklio. Šio prietaiso išėjimas yra matuojamas, interpretuojamas ir sugeneruojamas valdymo signalas, tai atlieka *LabVIEW* programoje sukurti virtualūs instrumentai. Pačios sistemos scheminis brėžinys 7 paveiksle. Ši

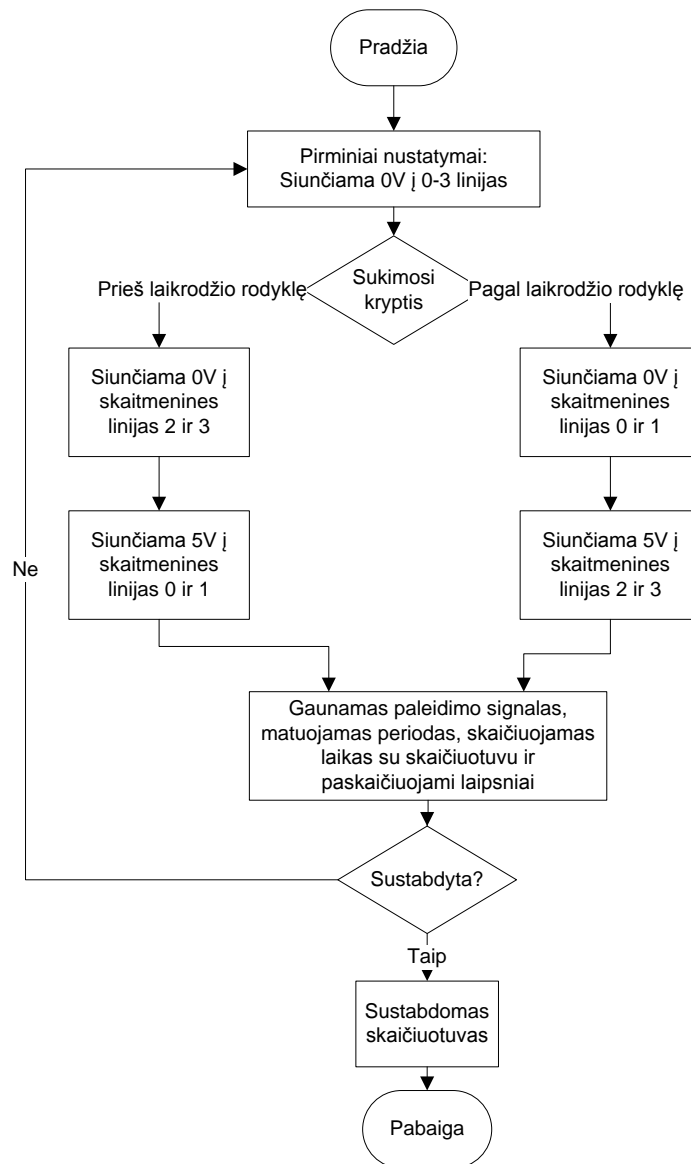
sistema buvo ištestuota tik laboratorijoje, todėl negalima teigti, kad ši sistema yra patikima. Autoriai šią sistemą planuoja patobulinti pridėdant valdymo ir variklio inicializavimo paprogramės apribojimus [11].



7 pav. Uždaro ciklo variklio valdymo sistema su sinchronizavimu [11]

Tų pačių autorių patobulintoje sistemoje naudojama *National Instruments LabVIEW* programinė įranga su plėtiniais internetinių įrankių kūrimui, H-tilto variklio kontrolės grandinė, bei NI DAQ techninę įrangą, bet tikslūs modeliai, bei programinės įrangos versija, nenurodyti. Darbo esmė per internetą valdyti ir pozicionuoti radijo teleskopą, naudojant du galingus variklius (vienas sukimui aplink ašį, kitas kėlimui–leidimui). Šis projektas buvo ištestuotas su realiu teleskopu. Buvo nustatyta 3% paklaida pozicionavime, kuri atsiranda dėl programos paleidimo metu esančio uždelimo. Pateikiamas programos operacijų algoritmas 8 paveiksle. Autoriai kaip tobulinimo galimybę pateikia, kad reiktų patobulinti programą taip, kad būtų išvengta uždelimo klaidų [12].

Kitas pavyzdys, tai telemetrijos sistema, saulės energijos varomam automobiliui [13]. Šiame projekte buvo pasinaudota CompactRIO integruotoji sistema, bei *National Instruments LabVIEW* programinis paketas, kuriuo buvo sukurta programa įvairių procesų vykdymui. Pvz.: baterijos sąnaudoms, saulės energijos įkrovimui, temperatūrai, greičiui stebėti ir t.t. Kadangi buvo reikalinga papildoma įranga, kaip sensoriai, įvairūs valdikliai, bet CompactRIO buvo vienas esminių prietaisų, kuris atliko pagrindines užduotis. Taipogi, visi duomenys buvo saugomi CompactRIO sistemoje, nes ši sistema turi savo integruotą atmintį. Šiame projekte buvo naudojamas bevielis ryšys persiūsti gautus duomenis iš CompactRIO platformos į kompiuterį. CompactRIO sistema sudarė 1 didelio našumo FPGA grandis 9104 ir 3 moduliai, t.y. NI cRIO 9211 (4 kanalų įėjimų), 9221 (8 kanalų srovės ir įtampos įėjimų), 9125 (4 kanalų tachometro įėjimų). Moduliai parinkti atitinkamai atsižvelgus į naudojamus procesus atlikti kaip pvz.: greičiui, temperatūrai ir t.t. Apibendrinant galima teigti, kad šiame projekte CompactRIO sistema puikiai susidorojo su jai paskirtomis užduotimis. Gautus duomenis išsaugojo integruotame CompactRIO kaupiklyje, bei bevieliu ryšiu persiuntė duomenis į kompiuterį naudodamas *LabVIEW* sukurta programa [13].



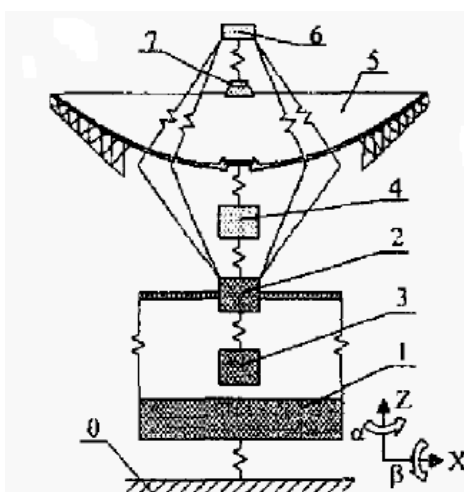
8 pav. Programos operacijų algoritmas [12]

Sekantis analizuojamas projektas, kuriame panaudota *National Instruments LabVIEW* programinė įranga ir CompactRIO platforma paremta sistema, itin aukšto tikslumo pozicionavimo marsaeigis, kuris naudoja nuolatinės srovės variklius [14]. Projekte sukūrus programą su *LabVIEW* programiniu paketu, bei įrašius ją į CompactRIO buvo sukurtas nuolatinės srovės variklių valdymas, kurie turėjo sukurti 6 marsaeigio ratus per nuotolini valdymą. Radijo bangos buvo siunčiamos iš valdymo stoties į vieną marsaeigio radijo bangų priėmėjų. Toliau CompactRIO sistema su jau įdiegta programa atlieka paskirtą užduotį. Taip pat, šioje sistemoje veikia ir PID kontrolieris, kuris tiesiogiai susietas su variklių valdymu, t.y. marsaeigyje veikiantys sensoriai pranešinėja apie priekyje esančias kliūtis, nelygumus ir siunčia signalus į *National Instruments CompactRIO* sistemą, kurioje PID sukurtas kontrolieris realiu laiku atitinkamai reaguoja į susidariusią situaciją [14].

1.2. Radijo teleskopų valdymas ir pozicionavimas

Vienas iš sunkiausių uždavinių radijo teleskopų srityje yra jų valdymas, bei tam tikros pozicijos nustatymas realiu laiku. Todėl tam yra sudaromas valdymo sistemos kūrimo modelis, kuris susideda iš dviejų etapų [15]:

1. **Projekto apibrėžimo etapas**, kuriame inžinieriai įvertina sistemos veikimo principą, bei nustato antenos tikslumą, kuris bus naudojamas kuriant anteną.
2. **Projektavimo įgyvendinimo etapas**, jį apima visų baigtinių elementų sukūrimas, t.y. variklis, pavarų dėžės modeliai (kurie bus naudojami sukant anteną), stiprintuvai, filtrai (radijo bangų dažnio stiprinimui, signalo triukšmų mažinimui), bei kiti fiziniai elementai kaip trinties, greičio, pagreičio apribojimai.



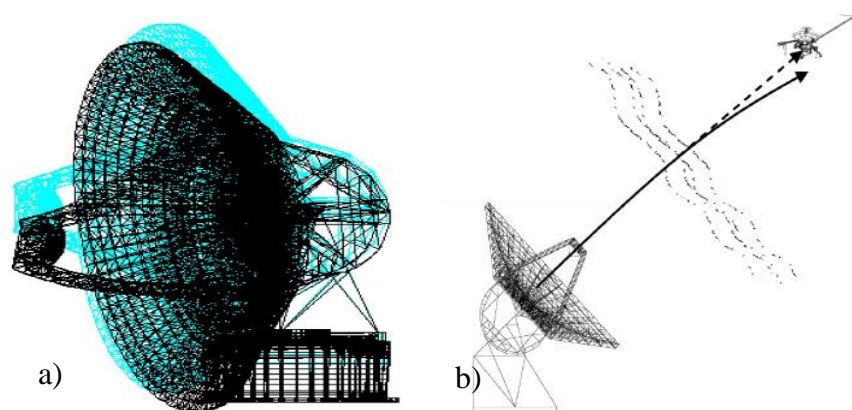
9 pav. Radijo teleskopo dinaminis modelis [16]

Netolimoje ateityje radijo teleskopai galės dirbti su aukšto dažnio radijo bangomis, todėl ženkliai padidėtų objekto nustatymo tikslumas. Tačiau atsiranda valdymo, bei pozicionavimo problemos kuriant, testuojant antenas, radijoteleskopus, bei optinius teleskopus. Galima išskirti radijo teleskopus galinčius atlikti operacijas mažesniu radijo bangų dažniu nei optiniai teleskopai, iš to gauname kad, objekto nustatymo laukas yra didesnis, nes vienas iš pagrindinių dalykų kuris yra reikalingas norint padidint gaunamų duomenų tikslumą yra tas, kad antenos turi skleisti didesni radijo bangos dažnį, lėkštės diametras yra ženkliai didesnis nei optinių teleskopų [10]. Kuo didesnis radijo teleskopo lėkštės diametras, tuo sunkiau jį yra valdyti, nustatyti atitinkamą padėtį, vien dėl jo didelių gabaritų. Todėl tam yra reikalinga valdymo sistema turinti tam tikro modelio programą, kurios pagalba yra nustatomas rotacijos mechanizmas realiu metu apskaičiuojant įvairius aspektus (9 paveikslas):

1. platformą;
2. pagrindą;
3. atsvarą;

4. pagrindą ant kurios sukasi lėkštė;
5. lėkštę;
6. santvaras;
7. reflektorių.

Vienas iš konstrukcijos defektų yra radijo teleskopo lėkštės takelio netikslumai, kuriuo yra sukama lėkštė horizontaliai. Takelio nelygumai gali sukelti antenos krypties ir lankstumo deformaciją. Kitas defektas, tai terminis deformavimas, kuris atsiranda esant aukštai temperatūrai. Pvz., saulės spinduliai įkaitina lėkštės metalo konstrukcija, to pasekoje konstrukcija šiek tiek deformuojasi. Taip pat, gravitacijos deformacija, kai lėkštė yra vertikaliai sukama, gravitacija ją nežymiai išlenkia (10 pav. (a)). Atmosferiniai lūžiai (10 pav. (b)), kai radijo bangos sklisdamos per atmosfera yra išlenkiamos, o išlenkimo dydis priklauso nuo oro drėgnumo. Trintis, įvairus motorų pavarų slinkčiojimai, kurie gali sukelti lėkštės sukimo netikslumus.



10 pav. Radio teleskopo konstrukcijos defektai dėl gravitacijos(a) ir radio bangų išlenkimas dėl atmosferinių lūžių(b) [16]

Radijo teleskopų stebėjimas yra labai jautrus paviršiaus nelygumams ir net maža deformacija gali ženkliai sumažinti antenos charakteristikas. Vienas iš aplinkos trikdžių, tai vėjas, kurio gūšiai gali deformuoti lėkštę. Lėkštei pasisukus vertikaliai už lėkštės susidariusi turbulencija yra nevienoda, o tai gali sukelti vibraciją ir kitus trukdžius. Viena iš pavarų dėžės problemų yra tai, kad ji turi tam tikrą atoveikį (angl. Backlash). Jis pasireiškia, kai dvi judančios pavarų dėžės dalys sąveikauja tarpusavyje. Mažoji yra prijungta prie motoro veleno (angl. Motor gear), o didžioji prie apkrovos veleno (angl. Load gear). Jų judėjimas yra priklausomas, t.y. jei motoro velenas nejuda, tai ir apkrovos velenas nejuda. Jie sąveikauja kartu. Taigi, atoveikis gali sukelti užlaikymus, svyravimus, bei kitus netikslumus judėjimo kontrolės sistemoje. Dėl to lėkštės pozicionavimas gali būti netikslus [15, 16, 17].

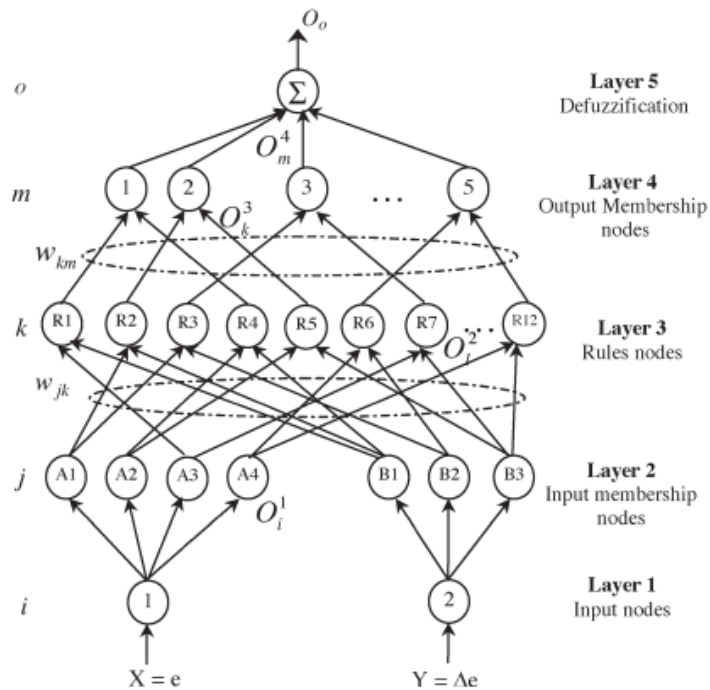
1.3. Dirbtinių neuroninių tinklų taikymas variklių valdymo sistemose

Paskutiniaisiais dešimtmečiais pasaulyje vystosi nauja taikomiosios matematikos sritis, kurios

tyrimo objektu yra neuroniniai tinklai. Tokį dėmesį neuroniniai tinklai patraukė dėl labai plačių pritaikymo galimybių. Neuroniniai tinklai randa pritaikymą ekonominėse prognozėse, vaizdų atpažinimo procesuose, adaptyviame valdyme, funkcijų aproksimavime, ekspertiniu sistemų kūrimu, asociatyviu atminties įtaisų projektavime bei apsimokančių sistemų kūrimu. Neuroniniai tinklai yra vienas iš dirbtinio intelekto sukūrimo būdų, kurio esmė yra signalų apdorojimas modeliuojant procesus, kurie vyksta biologiniuose neuronuose. Pagrindinė neuroninio tinklo savybė yra lygiagretus informacijos apdorojimas, kuris labai pagreitina informacijos apdorojimą. Taip pat neuroninis tinklas yra labai atsparus klaidoms, esančioms įeinančiame signale. Veikiantys neuroninių tinklų modeliai gali būti įgyvendinti programiniame ir aparatiname lygmenyse. Neuroniniai tinklai gali aproksimuoti bet kokią nenutrūkstamą funkciją, gali atlikti automatinį jautrumo pagal išėjimo duomenis suderinimą, yra atsparus išėjimo duomenų išsibarstymo triukšmui. Neuroniniai tinklai šiuo metu yra pritaikomi daugelyje sferų, kuriose naudojamas prognozavimas, duomenų srautų apdorojimas ir adaptyvūs algoritmai [18].

Dirbtinių neuroninių tinklų architektūra yra parenkama praktinio pritaikymo metu. Toks optimalios architektūros parinkimas yra vadinamas sinteze. Sintezės tikslas yra užtikrinti neuroninio tinklo apibendrinimo savybę. Dirbtinių neuronų tinklo apibendrinimu yra vadinama savybė atlikti reikiamą užduotį su įėjimo uždaviniais, kurių nebuvo apmokymo metu. Neuroninio tinklo uždavinio sprendimas nėra programuojamas, neuroninis tinklas yra apmokomas atlikti uždavinį. Apmokymo būdai gali būti skirtingi ir priklauso nuo tinklo architektūros, neuronų aktyvacijos funkcijų, duomenų rūšies ir daugelio kitų veiksnių. Didelę įtaką dirbtinių neuroninių tinklų veikimo efektyvumui konkretaus uždavinio sąlygomis turi pasirinkta tinklo architektūra. Verta pažymėti, kad dar nėra suformuotų metodų optimalios tinklo struktūros pasirinkimui [18].

Mokslininkas Ahmed Rubaai ir kt. nagrinėja nuolatinės srovės variklių valdymo sistemą ir kuria automatinį valdymą, pasitelkdami intelektualius metodus tokius kaip neuroninis tinklas ir neraiškioji logika. Autoriai apjungia neraiškiosios logikos ir neuroninio tinklo struktūrą sukurdami prisitaikančio neuroninio tinklo su neraiškiają sąsaja sistemą (ANFIS), kuri apjungia tiek neuroninio tiek ir neraiškiosios logikos galimybes į vieną sistemą. Autoriai aprašo šios sistemos apmokymo algoritmą, kuris pagal sugeneruotą mokymo duomenų aibę koreguoja sistemos svorius, kad pagal atitinkamą įvestį būtų formuojamas kuo tikslesnis išėjimo signalas. Adaptyvaus neuroninio-neraiškaus tinklo (ANFIS) struktūra ir svorių naudojimas yra paimami iš neuroninio tinklo [19]. Neraiškioji logika naudojama norint suformuoti ANFIS įėjimą panaudojant miglotosios logikos kintamuosius, bei išvedant išvesties signalus išraiškinimo metodais (11 paveikslas).



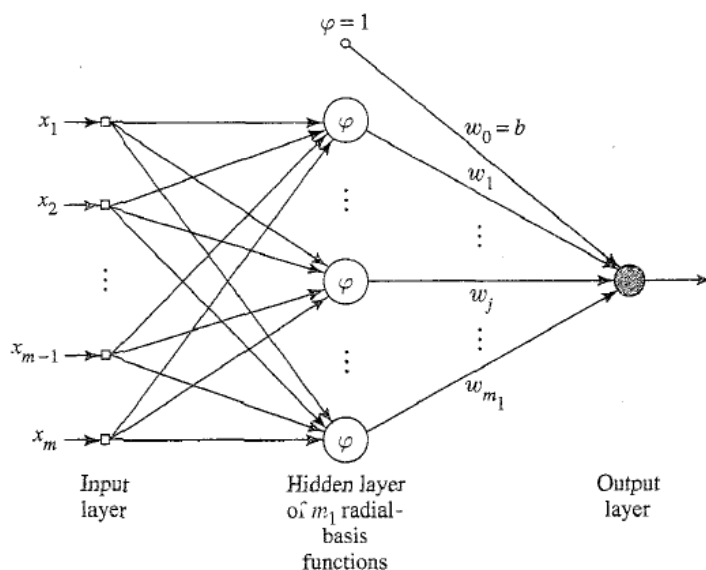
11 pav. Prisisitaikancio neuroninio-neraiskaus tinklo architektūra [19]

Mokslininkų pateiktoje ANFIS sistemoje pirmiausia, neraiškiosios logikos valdymo struktūrai yra parenkamos lingvistinės taisyklės. Tada, skaitmeniniai duomenys (sugeneruota mokymų aibė) yra panaudojami šios sistemos apmokymui. Įėjimo narystės funkcijų skaičius yra pasirinktas, kad apimtų visą galimą įvesties erdvę. ANFIS suprojektuotas taip, kad projektuotojas norėdamas pritaikyti ANFIS savo sistemoje, lengvai suprastų vidinius sluoksnius, vadinamus paslėptaisiais sluoksniais, ir suprastu jų tarpusavio sąsają [19]. Pateiktas ANFIS sistema yra daugiasluoksnis neuroninio tinklo valdiklis susidedantis iš keleto sluoksnių, kurie pavaizduoti 11 paveiksle: įvesties sluoksnis, įvesties narystės funkcijų sluoksnis, taisyklių sluoksnis išvesties narystės funkcijų sluoksnis, išraiškinimo sluoksnis.

Radijo teleskopo įrenginiai yra labai brangūs ir per eksploataavimo laikotarpį jiems reikalingas reguliarius remontas ir techninė priežiūra norint pasiekti pakankamą efektyvumą ir sumažinti prastovas, kurios galėtų atsirasti sugedus įrenginiui. Tobulėjant technologijoms, prognozuojamasis valdymas (angl. *predictive control*) yra geresnis sprendimas lyginant su tradiciniais vizualiniais įvertinamais-patikrinimais ir tiesiniais modeliais. Tyrejai gautiems valdymo įtampos duomenims iš radijo teleskopo RT-16 horizontalaus sukimo (2,6 kw galios) variklio pritaikė du prognozuojamuosius metodus: neuroninį tinklą apmokyta su Levenberg-Marquardt metodu ir tiesinį modelį. Daugiasluoksnis perceptronų tinklas buvo panaudotas prognozuoti įtampos indikatorius reikšmei, kuri naudojama antenos pasisukimo kampo nustatymui. Po bandymo buvo nustatyta, kad neuroninio tinklo prognozės buvo tikslesnės bei truko trumpiau lyginant su tiesiniu modeliu [4, 20].

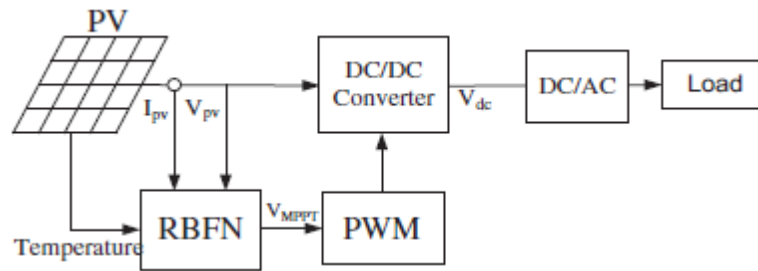
Radialinių bazinių funkcijų neuroniniais tinklai (RBFN) – antri tinklai pagal populiarumą po

perceptronų. RBFN tinklai tinka ir klasifikuoti duomenis, ir juos prognozuoti. Jų efektyvumą sudaro tai, kad jos turi vienintelį nepriklausomą kintamąjį nepriklausomai nuo uždavinio imties. Visais interpoliavimo metodais analizuojant chaotiškai parinktus duomenis RBFN yra geresnis už kitus metodus tikslumo, stabilumo, efektyvumo ir algoritmo paprastumo atžvilgiu. Tam įtakos turi ir RBFN struktūra, kur pirmas sluoksnis atlieka netiesinį atvaizdavimą, realizuojamą neuronais su radialinėmis bazinėmis funkcijomis, o išėjimo sluoksnis — tiesinis. RBFN tinklai naudojami kaip apvalinimo funkcijos atpažįstant vaizdus, apdorojant signalus, prognozuojant reikšmes [21]. Radialinių bazinių funkcijų neuroninio tinklo struktūra pateikta 12 paveiksle.



12 pav. Radialinių bazinių funkcijų neuroninio tinklo struktūra [21]

RBFN naudojamas įvairių variklių valdymo sistemose. Konstantinos Ninos ir kt. pasiūlė valdymo schemą pagrįstą aproksimuojama atvirkštine įrangos dinamika su radialinių bazinių neuroniniu tinklu, kurio įėjime būsenos kintamieji ir trukdžiai, o išėjime duoda manipuliuotą kintamąjį. Ši valdymo schema buvo pritaikyta nuolatinės srovės variklio valdymui. Gauti taikymo rezultatai parodė, kad valdymo efektyvumas žymiai didesnis, lyginant su PID valdikliu [22]. Faa-Jeng Lin ir kt. suprojektuoja ir įgyvendina programuojamųjų sklendžių matrica (FPGA) (angl. *Field-Programmable Gate Arrays*) pagrįstą patikimą RBFN valdymo sistemą tiesinio indukcinio variklio pavaros pozicionavimo valdymui. Bandymo rezultatai parodė, kad pasiūlyta sistema veikia patikimai esant įvairiems parametų svyravimas, trinčiai ir atskaitos trajektorijoms [23]. Chih-Ming Hong ir kt. panaudojo RBFN valdymo sistemą saulės kolektorių pozicionavimui siekiant išgauti daugiau saulės energijos. Testavimo metu nustatyta, kad RBFN gali greitai ir tiksliai sekti aukščiausios galios gavimą [24]. Tyrėjų sudaryta intelektualaus maksimalios galios sekimo (angl. *maximum power point tracking*) metodo blokinė diagrama pateikiama 13 paveiksle.



13 pav. Intelktualaus maksimalios galios sekimo metodo blokinė diagrama [24]

Atlikus literatūros analizę buvo nustatyta, kad radijo teleskopo valdymui netinka tiesiniai modeliai. Tiesiniai modeliai netinka dėl atsirandančių pagreičių, trinčių, vėjo gūsių, vertikalaus kampo ir t.t. Taip pat, mokslininkų siūlomos pozicionavimo sistemos yra unikalios, tad sunku jas palyginti viena su kita ir daryti išvadą, kuri yra geresnė. Buvo pastebėta, kad *NI LabVIEW* programinė įranga yra tinkama nuotolinio valdymo ir tikslių pozicionavimo sistemų kūrimui, kad turi plačias tobulinimo ir plėtimo galimybes. Antra dėl radijo teleskopo valdymo sistemoje atsirandančių netiesiškumų, gautų duomenų analizei atlikti buvo pasirinkti radialinių bazinių neuroniniai tinklai, dėl šiame skyriuje aprašyto jų pranašumo lyginant su kitais neuroniniais tinklais, bei išanalizuotais panaudojimo atvejais.

2. PROJEKVINĖ DALIS

Šiame skyriuje specifikuojami kuriamos pozicionavimo variklių nuotolinio valdymo posistemės funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai. Šių reikalavimų nustatymas reikalingas, kad apibrėžti kuriamos posistemės funkcijas ir apribojimus.

2.1. Funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai

Funkciniai reikalavimai nurodo, kokias paslaugas posistemė turėtų tiekti, kaip posistemė turėtų elgtis prie tam tikrų jos panaudojimo galimybių – duomenų įvedimo, bei įvairių kritinių situacijų. Kai kuriais atvejais gali būti numatyti ir atvejai, ko posistemė daryti neturėtų. Radijo teleskopo RT-32 variklių valdymo posistemės funkciniai reikalavimai yra:

- korektiškai išsaugoti gautus duomenis kompiuterio atmintyje;
- neiškraipyti gaunamų duomenų;
- kas 2000 programos ciklą išvalyti terminalo langą;
- leisti nustatyti norimas radijo teleskopo koordinatas;
- leisti vartotojui bet kada nutraukti posistemės darbą;
- nustatymo parametrų reikšmių keitimo galimybė – sistemos kliento dalis turi leisti keisti valdymo reikšmes;
- leisti stebėti gaunamus duomenis, nuolat atnaujinant stebimų parametrų vertes grafinėje vartotojo sąsajoje;
- suteikti galimybę pozicionavimo variklius valdyti nuotoliniu būdu.

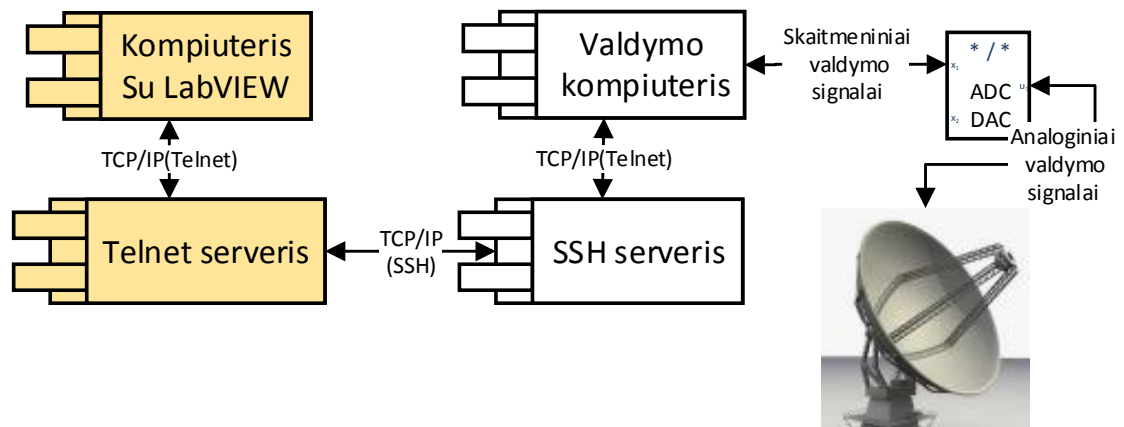
Nefunkciniai reikalavimai turi didelę įtaką kuriamos sistemos architektūrai, taigi ir pasirinktam sistemos realizavimo sprendimui. Paprastai vartotojai vardindami reikalavimus sistemai susikoncentruoja ties funkciniais reikalavimais, ir pamiršta užsiminti apie nefunkcinius. Analitiko pareiga yra identifikuoti, ir dokumentuoti nefunkcinius reikalavimus, kitaip neišvengiamai produktą teks keisti vėlyvose jo gamybos fazėse [25]. Pagrindiniai nefunkciniai reikalavimai keliami šiai posistemėi:

- programa turi veikti Windows XP ir Windows 7 operacinėse sistemose;
- posistemėi turėtų pakakti kompiuterio su 4gb darbinės atminties, ir intel i5 mobiliu procesoriumi;
- praradus ryšį posistemė turi sustabdyti savo darbą;
- turėti išplėtimo galimybes, tokias kaip web aplikacija, *LabVIEW* paskirstytų sistemų valdymas.

Bendri apribojimai: vienu metu radijo teleskopo negali valdyti keli vartotojai. Prie sistemos gali jungtis tik vartotojas turintis prisijungimo duomenis.

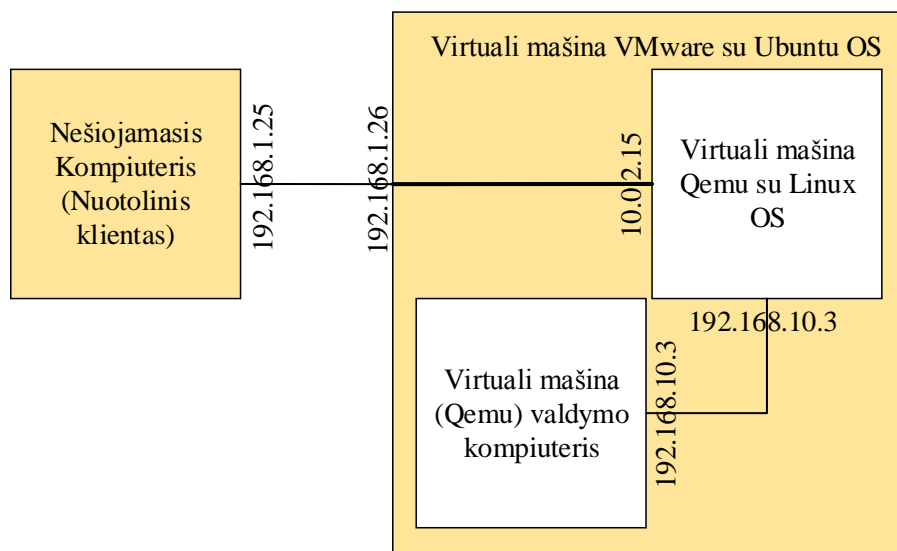
2.2. Projektuojamos nuotolinio valdymo posistemės architektūra

Radijo teleskopo pozicionavimo variklių valdymo posistemės veikimo principas pagrįstas kliento – serverio architektūra. Tokią sistemą sudaro serveris, atsakingas už informacijos nuolatinį perdavimą vartotojui ir priėmimą iš vartotojo bei klientas, priimančias serverio jam persiunčiamą informaciją, perteikia ją vartotojui, taip pat siunčiantis vartotojo komandas serveriui. Bendra radijo teleskopo nuotolinio valdymo posistemės architektūra pateikiama 14 paveiksle. Geltona spalva žymima pozicionavimo variklių nuotolinio valdymo posistemės dalį, kuri yra nuotolinio valdymo kliente. Telnet serveris buvo panaudotas nes *NI LabVIEW* kol kas nepalaiko SSH protokolo tiesiogiai, bet tyrėjai tikisi, kad naujesnėje programos versijoje atsiras ši galimybė. Dešinėje 14 paveikslo pusėje parodyta vietinė radijo teleskopo valdymo posistemės dalis esanti radijo teleskope.



14 pav. Bendra pozicionavimo variklių nuotolinio valdymo posistemės architektūra

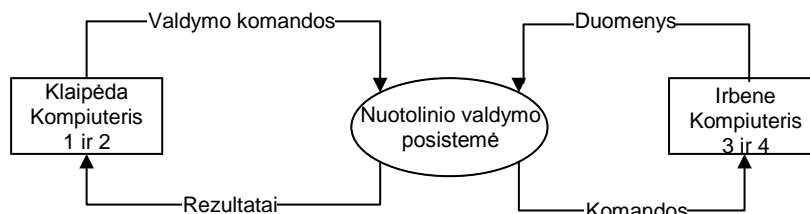
Posistemės kūrimui buvo sukurta virtuali testavimo aplinka, kuri atitinka realius fizinius objektus. Ši sistema buvo sukurta tam, kad išvengti įvairių klaidų kūrimo metu, kurios būtų galėjusios pakenti realiai sistemai. Šios virtualios testavimo aplinkos tinklo ir architektūros schema pateikiama 15 paveiksle. Nešiojamas kompiuteris, kuriame veikė Windows 7 operacinė sistema ir buvo įdiegta *NI LabVIEW* programinis paketas. Jame buvo įdiegta virtualizavimo programa VMware. Naudojantis šia programa buvo sukurtas virtualus kompiuteris kuriame buvo įdiegta Linux (Ubuntu) operacinė sistema su Telnet serveriu, dėl paprastesnio diegimo, nei Windows operacinės sistemos aplinkoje. Ubuntu operacinėje sistemoje buvo įdiegta Qemu virtualizavimo programa su kuria buvo sukurti du virtualūs kompiuteriai. Vienas iš jų Linux serveris, kitas valdymo kompiuteris su DOS operacine sistema ir vietine valdymo programine įranga.



15 pav. Nuotolinio valdymo posistemės kūrimo metu naudota tinklo schema

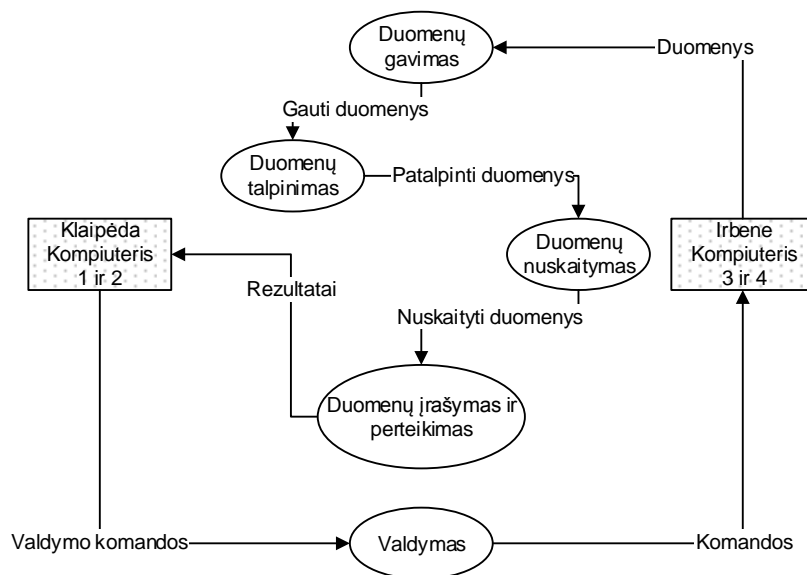
2.3. Duomenų srautų modelis

Pirmiausiai sukuriama aukščiausiojo lygmens duomenų srautų diagrama (DFD) (angl. *Data Flow Diagram*), kurioje visa analizuojama posistemė pažymima kaip vienintelis procesas. Aukščiausiojo lygmens duomenų srautų diagrama (16 pav.) modeliuoja išorines organizacijos sąveikas su aplinka, todėl dažnai ši diagrama dar vadinama „kontekstine diagrama“. Toliau kuriama viena nulinio lygmens DFD, kuri nurodo pagrindinius analizuojamos veiklos (posistemės) procesus ir juos siejančius srautus, išsaugant visus išorinius sistemos ryšius su aplinka. Po to išskleidžiamas kiekvienas aktualus procesas iš nulinio lygmens DFD, jiems sudaromos atskiros žemesniojo lygmens DFD, detaliam aprašančios vidinius procesus (angl. *subprocess*) ir jų sąveikas. Duomenų srautų ir procesų elementai turi būti aiškiai apibrėžti: kiekvienam srautui ir procesui suteikiamas vardas (identifikatorius), jie trumpai aprašomi. Taip suformuojamas hierarchinis veiklos modelis – DFD hierarchija. Duomenų srautų diagramos (DFD) notacija pateikiama 14 priedo 1 lentelėje.



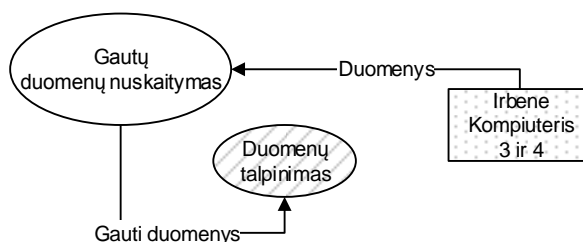
16 pav. Aukščiausio lygmens duomenų srautų diagrama

Nulinio lygmens duomenų srautų diagrama (17 paveikslas) parodo posistemės pagrindines funkcijas: duomenų gavimas, duomenų talpinimas, duomenų nuskaitymas, duomenų įrašymas ir perteikimas, valdymas.



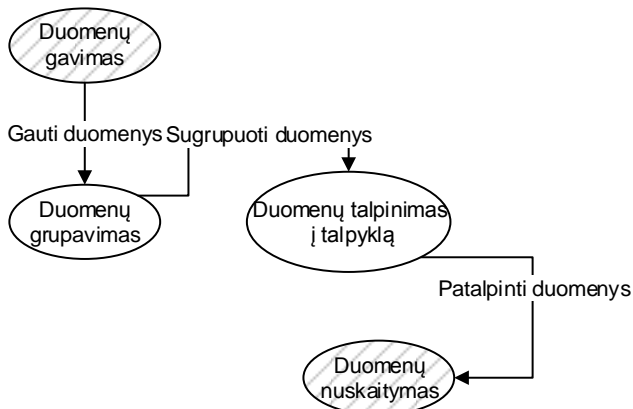
17 pav. Nulinio lygmens duomenų srautų diagrama

Pirmojo lygmens duomenų srautų diagramoje (DSD) yra išskleidžiama duomenų gavimo funkcija. Ši diagrama (18 paveikslas) parodo duomenų gavimo funkcijos vidinius procesus: nuoskaitų skaičiaus nustatymas, skaitmenizuotų duomenų nuskaitymas.



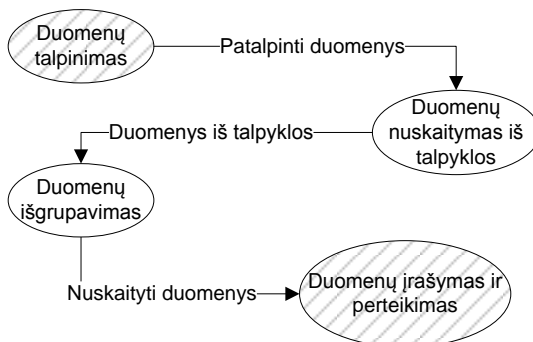
18 pav. I-ojo lygmens DFD (funkcijos „Duomenų gavimas“)

Pirmojo lygmens DFD funkcijai „Duomenų talpinimas“ pavaizduotas 19 paveiksle. Ši diagrama parodo duomenų talpinimo funkcijos vidinius procesus: duomenų grupavimas, duomenų tikrinimas, duomenų talpinimas į talpyklą (angl. *buffer*).



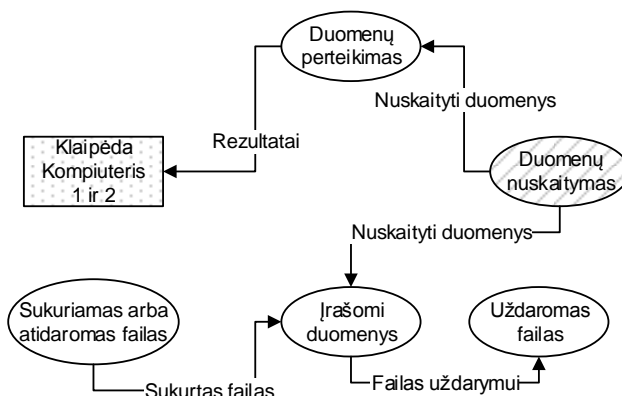
19 pav. I-ojo lygmens DFD (funkcijos „Duomenų talpinimas“)

Pirmojo lygmens DFD funkcijai „Duomenų nuskaitymas“ pavaizduota 20 paveiksle. Ši diagrama parodo duomenų nuskaitymo funkcijos vidinius procesus: duomenų nuskaitymas iš talpyklos, duomenų išgrupavimas.



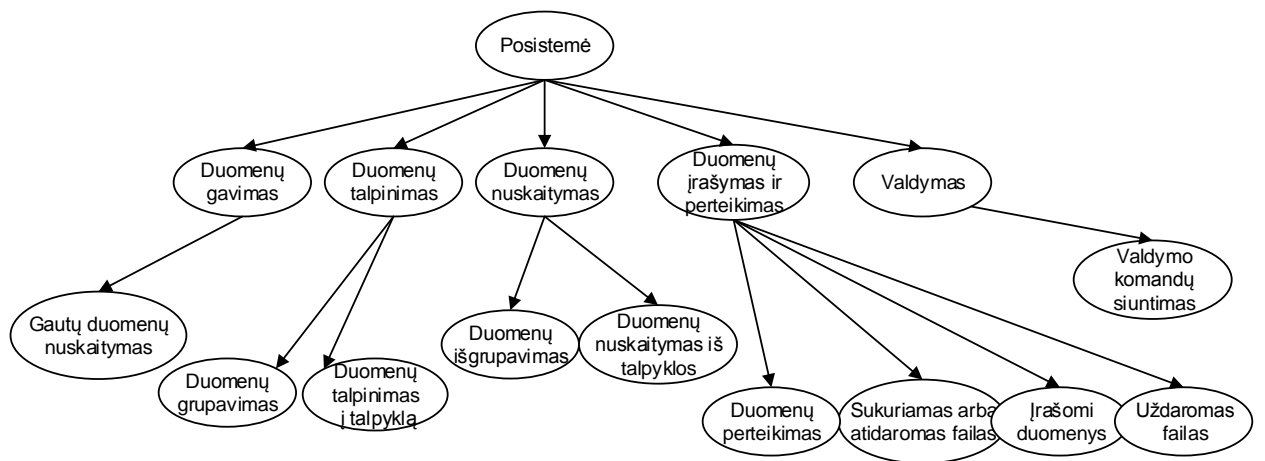
20 pav. I-ojo lygmens DFD (funkcijos „Duomenų nuskaitymas“)

Pirmojo lygmens DFD funkcijai „Duomenų įrašymas ir perteikimas“ pavaizduota 21 paveiksle. Ši diagrama parodo duomenų įrašymo ir perteikimo funkcijos vidinius procesus: duomenų perteikimas, sukuriamas arba atidaromas failas, įrašomi duomenys, uždaromas failas.



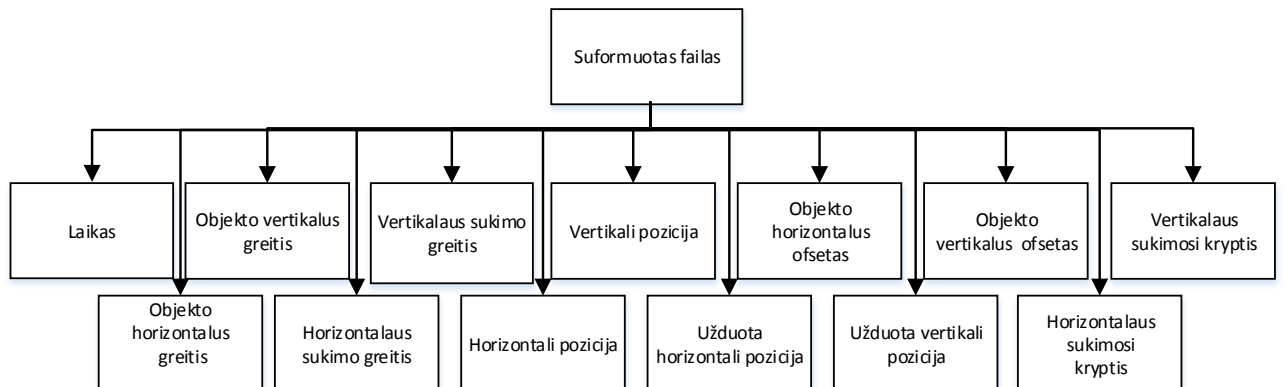
21 pav. I-ojo lygmens DFD (funkcijos „Duomenų įrašymas ir perteikimas“)

Analizuojant gautą skirtingų lygmenų DFD modelių visumą, sudaromas taip vadinamas „funkcijų hierarchijos“ modelis(22 paveiksle). Funkcijų hierarchijos modelis yra grafas, kurio tipas „medis“. Funkcijų hierarchijos modelyje vertikalčiai išdėstomi visi sukurti procesai, nurodomi procesų hierarchiniai ryšiai (procesų sudėties ryšiai), todėl šį modelį galima vadinti ir „procesų hierarchija“.



22 pav. Funkcijų (procesų) hierarchijos modelis

Sumodeliavus veiklos sritį duomenų srautų diagramomis, reikia aprašyti duomenų srauto sudėtį. Tam naudojama duomenų struktūros diagrama (angl. *Data Structure Diagram*). Duomenų struktūros diagrama pateikiama 23 paveiksle.

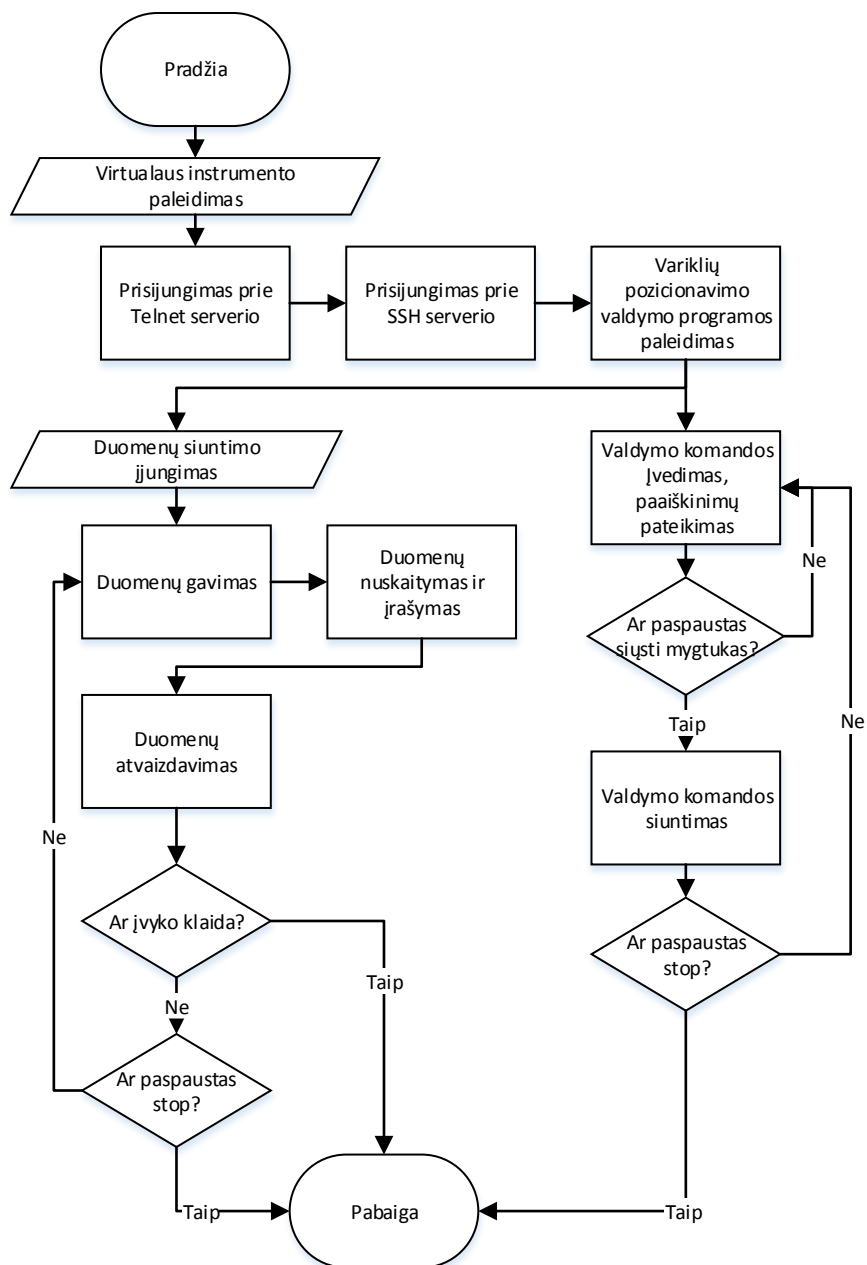


23 pav. Duomenų struktūros diagrama

Ši duomenų struktūrų diagrama rodo kokia tvarka bus saugomi failai duomenų faile. Tai itin svarbu apsibrėžti, tam kad duomenų eilė nebūtų sumaišyta duomenims keičiantis tarp posistemų.

2.4. Nuotolinio valdymo posistemės veikimo algoritmas

Paleidus posistemę reikia prisijungti prie Telnet ir SSH serverių įvedant prisijungimo duomenis. Tada turi būti paleidžiama variklių pozicionavimo programa ir išsiunčiama komanda į Linux serverį valdymo duomenų siuntimui, kuriuos gavusi posistemė apdoroja, t.y. juos išsaugo, grupuoja, atvaizduoja ir t.t. Paleista programa prisijungia prie valdymo kompiuterio ir persiunčia gaunamus duomenis ir komandas. Kuriamo virtualaus instrumento pagrindinis veikimo algoritmas pateikiamas 24 paveiksle.



24 pav. Virtualaus instrumento pagindinis veikimo algoritmas

Šiame skyriuje buvo specifikuoti funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai, kurie aprašo kuriamos pozicionavimo variklių valdymo posistemės funkcijas ir apribojimus. Sudaryta duomenų srautų diagrama, kuri parodo duomenų srautus tarp nuotolinio valdymo posistemės procesų. Sudaryta įrašymui skirtų valdymo duomenų struktūros diagrama, kuri atskleidžia kokia tvarka įrašomi valdymo parametrai į failą. Taip pat, sudarytas nuotolinio valdymo virtualaus instrumento veikimo algoritmas, parodantis pagrindinius veiksmus atliekamus virtualaus instrumento veikimo cikle.

3. METODINĖ DALIS

Šiame skyriuje aprašomas valdomasis objektas – radijo teleskopas RT-32 ir jo parametrai. Pasirinkta programinė įranga *LabVIEW* ir naudojami interneto protokolai nuotoliniam valdymui.

3.1. Radijo teleskopas RT-32

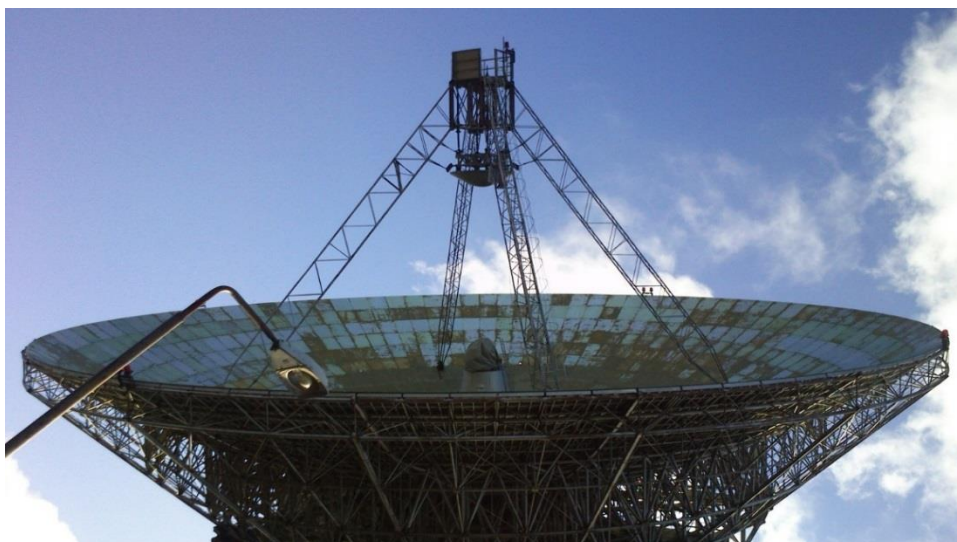
Radijo teleskopas RT-32 (25 paveikslas) ir RT-16 yra valdomos 32 ir 16 metrų parabolinės antenos, kurios yra Irbinėje, Latvijoje. RT-32 priklauso Ventspilio tarptautiniam radijo astronomijos centrui (VIRAC). VIRAC buvo įsteigtas Latvijos mokslo akademijos sprendimu 1994 metais siekiant plėtoti mokslinių tyrimų radijo astronomijos ir astrofizikos kryptis. Teleskopas buvo pastatytas praėjusio šimtmečio šeštame dešimtmetyje kariniams tikslams. Sukurtas centras turėjo atkurti visas valdymo, signalų priėmimo sistemas nuo nulio, nes traukiantis sovietų sąjungos kariams dalis įrangos buvo išmontuota, o visa kita sugadinta, tačiau Latvijos inžinieriams pavyko dalinai atkurti radijo teleskopo RT-32 ir RT-16 sistemas, kad būtų galima atlikti mokslinius tyrimus. Kol kas dar nėra visiškai atkurtos visos veikusios sistemos, o atnaujinimo darbus sunkina tai, kad nėra jokios dokumentacijos [26]. Dabartinis radijo teleskopo antenos vaizdas pateiktas 25 paveiksle.



25 pav. Radijo teleskopas RT-32

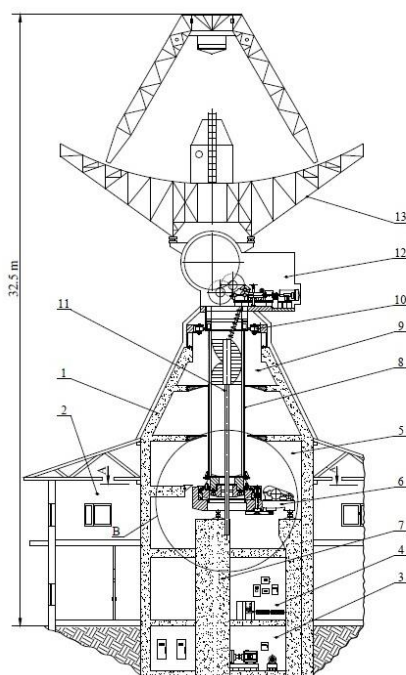
Nuo 2010 metų VIRAC darbuotojams dalyvaujant Europos socialinio fondo (ESF) projekte „Receiving, transmitting and processing technologies of signals related to artificial Earth satellites“ atnaujinimo darbai žymiai paspartėjo. Klaipėdos universiteto, Jūrų technikos fakulteto, Informatikos inžinerijos katedra prisideda prie rekonstrukcijos, atnaujinimo darbų įgyvendinant tarptautinį projektą LLIV-215 „JRTC Extension in Area of Development of Distributed Real-Time Signal

Processing and Control Systems“.Dabar pagrindinis kambarys yra pilnai suremontuotas, su signalo priėmimo sistema, kurios dažnių diapazonas 327 MHz iki 12 GHz [26].

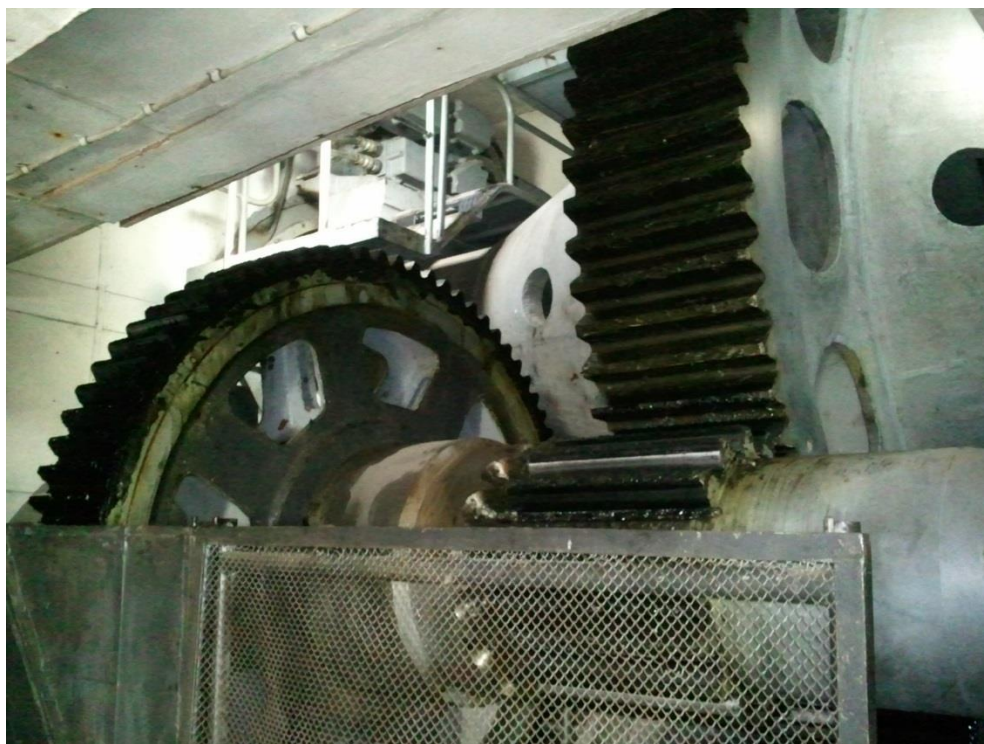


26 pav. Radijo teleskopo RT-32 antena

RT-16 ir RT-32 struktūra yra analogiška. Scheminiame radijo teleskopo RT-16 brėžinyje (27 pav.) pavaizduota: 1-6 pažymėta gelžbetoninė konstrukcija; 2 – pagalbinės patalpos; 3 – DC konverteriai ir paskirstymo spintos; 4 – kontrolės patalpa; 5 – atraminiai guoliai, horizontalaus sukimo varikliai, stabdžiai ir greičio dėžė; 6 – atraminė platforma; 7 – atraminės kojos; 8 – sukimosi stulpas; 9 – sukimosi kampo matavimo įrenginiai; 10 – viršutinis ritininis guolis horizontaliam sukimui; 11 – apsaugota matavimo ašis; 12 – kėlimo varikliai, stabdžiai, greičių dėžė; 13 – antena (26 paveikslas). 28 paveiksle pavaizduotas radijo teleskopo RT-32 sukimo mechanizmo dalis.



27 pav. Radijo teleskopo RT-16 scheminis brėžinys [27]



28 pav. Sukimo mechanizmo dalis

Antenos sukimo valdymo sistema naudoja ankstesnę elektromechaninę pavarą, pozicionavimo variklius ir originalią programinę įrangą, kuri leidžia atlikti pagrindines valdymo funkcijas: objekto stebėjimo, Žemės rotacijos kompensavimas, atsisukimas į nustatytas koordinatas. Žemiau pateikiami pagrindiniai parametrai [28]:

- antenos vertikalios sukimo apribojimai: nuo -1° iki 97° ;
- antenos sukimo aplink savo ašį apribojimas: $\pm 330^\circ$;
- maksimalus sukimo greitis naudojant 60kw nuolatinės srovės variklius: $2^\circ/\text{s}$;
- maksimalus sukimo greitis naudojant du 5,5kw nuolatinės srovės variklius: $5 \dots 6^\circ/\text{s}$;
- gali atlaikyti vėjo greitį: 40 m/s;
- matavimai atliekami, kai vėjo greitis neviršija: 15 m/s.

Tikslumo charakteristikos:

- kampo enkoderio rezoliucija: $20''$;
- antenos pozicionavimo tikslumas kiekvienai ašiai: $\pm 10''$;
- objekto sekimo tikslumas, kai nėra vėjo: mažiau nei: $30''$;
- objekto sekimo tikslumas, kai vėjo greitis 15 m/s: mažiau nei $1'$;
- horizontalios-vertikalios ašies ortogonalumas: $5'' - 10''$.

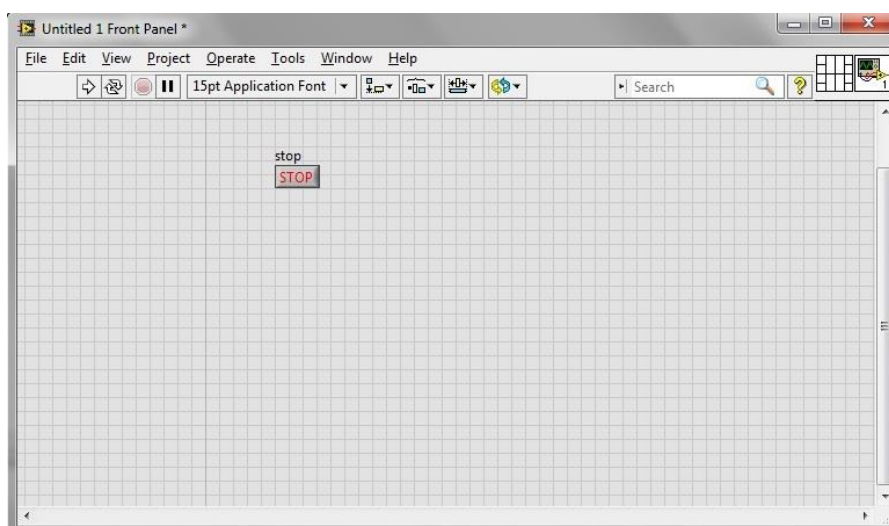
Masės charakteristikos:

- vertikalios sukimo variklių judinama masė: 65t;
- horizontalios sukimo variklių judinama masė: 600t.

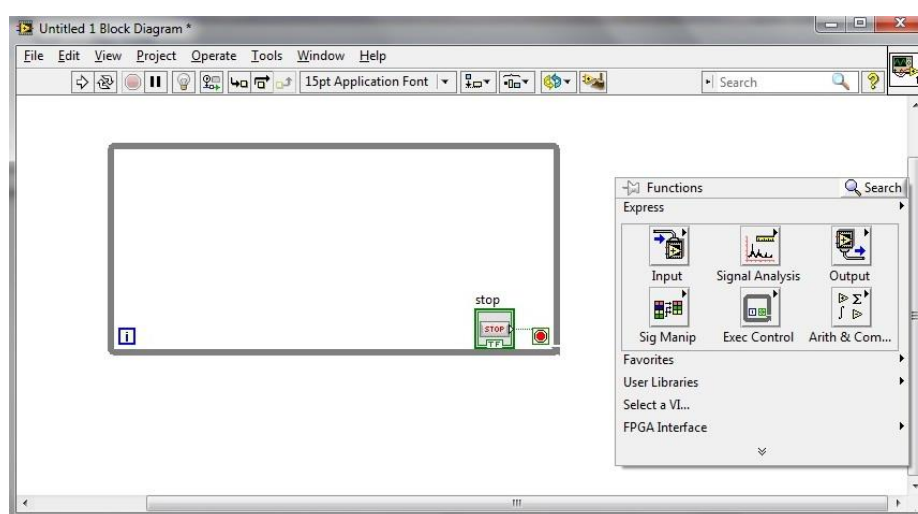
3.2. LabVIEW programinė įranga

National Instruments bendrovės programų paketas *LabVIEW* –vienas pirmaujančių pasaulyje programų paketų, skirtų virtualiems instrumentams (VI) kurti. *LabVIEW* iš kitų analogiškos paskirties programų tarpo išsiskiria daugeliu unikalių kitoms programoms nebūdingų savybių [29, 30]:

- Unikalia programavimo kalba „G“. Kiekvienas VI *LabVIEW* terpėje, panašiai kaip ir kiekvienas elektroninis prietaisas, turi sąsajos (angl. *front panel*) langą (SL)(29 pav.), atitinkantį elektroninio prietaiso panelį, kuriame sumontuoti valdymo ir stebėjimo elementai, ir programos (angl. *block diagram langą*) (PL)(30 paveiksle), atitinkantį elektroninio prietaiso vidinius tarp elementinius sujungimus. Pastarajame lange ir programuojama – sujungiami elementai arba objektų išvadai, konstruojant VI veikimo algoritmą.



29 pav. *LabVIEW* programos valdymo sąsajos (angl. *front panel*) langas



30 pav. *LabVIEW* programos blokinės diagramos (angl. *block diagram*) langas

- Vienoda vartotojo sąsaja ir programos langai populiariausiose operacinėse sistemose: MS Windows, Linux, Mac ir kt. Svarbu tai, kad *LabVIEW*, maksimaliai integruotas į operacinių

sistemų aplinką, dažniausiai naudoja specifinius operacinių sistemų resursus. Todėl kai kurie objektai skirtingose operacinėse sistemose skiriasi arba iš viso neegzistuoja. Tačiau langų išvaizdos, naudojimosi klaviatūra ir pelyte ypatumai visiškai panašūs, todėl naudotojai, išmokę naudotis *LabVIEW* programų paketu vienoje operacinėje sistemoje, neturės jokių problemų kitose operacinėse sistemose. Be to, sukurti VI gali būti perkeliama iš vienos rūšies operacinių sistemų į kitas, jeigu VI nenaudoja specifinių operacinių sistemų objektų.

- Integruotos galingos klaidų paieškos priemonės leidžia labai greitai rasti ne tik elementarias sintaksės, bet ir logikos klaidas. Tai leidžia taupyti programuoti skirtą laiką.
- Specialios sąsajos su programų paketu MATLAB ir MS Windows dll funkcijų bibliotekomis iš tiesų sistemą paverčia pakankamai atvira. Mokslo įstaigose paketu MATLAB daugelį metų buvo kuriami įvairūs matematiniai modeliai. Dėl galimybės naudotis MATLAB resursais galima susieti matematinio modeliavimo ir praktinio eksperimento funkcijas *LabVIEW* terpėje. MS Windows dll (angl. *dynamic link library*) funkcijų bibliotekų prijungimas leidžia naudoti programų dalis, parašytas kitomis programavimo kalbomis – MS Visual C++, Visual BASIC, Delphi – ir pan. Trečiųjų šalių techninės įrangos gamintojai technines priemones duomenims rinkti ir apdoroti dažniausiai komplektuoja su minėtomis dll funkcijų bibliotekomis. Taip išsprendžiamas šios techninės įrangos tvarkyklių *LabVIEW* terpėje klausimas.
- *LabVIEW* visuomet išnaudojamos lygiagrečiojo duomenų apdorojimo ir algoritmų vykdymo galimybės, kiek tai leidžia operacinė sistema ir techninė įranga. Tai išskirtinė šio programų paketo savybė, galinti labai padidinti kuriamų programų efektyvumą daugiaprocesorinėse ir daugiaaužuotėse operacinėse sistemose. Tačiau ši savybė reikalauja papildomo programuotojų dėmesio: primityvūs neapgalvoti algoritmai gali duoti klaidingus rezultatus.
- Įvairiais duomenų perdavimo būdais tarp skirtingų virtualiųjų instrumentų toje pačioje ir skirtingose mašinose. Jeigu reikalinga sistema, renkanti duomenis vienoje vietoje, o juos apdorojair/arba atvaizduoja – kitoje, *LabVIEW* turi visą arsenalą komunikacinių priemonių, pradedant standartinėmis TCP/UDP jungtimis, duomenų platinimo jungtimis (angl. *Data Sockets*) ir baigiant globaliais kintamaisiais, kurie paskutinėse *LabVIEW* versijose papildyti galimybe komunikuoti TCP/IP protokolu.
- Galimybė parengti vykdomąsias programas mašinoms, neturinčioms reikiamų licencijų. Pagrindinis platinamas paketas reikalauja gamintojo licencijos, kainuojančios tūkstančius JAV dolerių. Tačiau *LabVIEW* turi galimybę eksportuoti sukurtą VI į atskirą modulį, skirtą įdiegti ir vykdyti kompiuteriuose, kuriems nereikia gamintojo licencijos. Tokiuose kompiuteriuose nėra galimybės atidaryti VI programos lango, kuriame galima būtų koreguoti VI algoritmus. Tokią *LabVIEW* savybę reikia interpretuoti kaip kompiliuojamos

programavimo kalbos analogą.

- Programų paketas *LabVIEW* platinamas kartu su įvairiausiomis mokslo ir technikos sritims orientuotomis funkcijų bibliotekomis (angl. *Toolboxes*), skirtomis skaitmeniniam signalų ir vaizdų apdorojimui, roboto technikai, matematiniam optimizavimui, dirbant su SQL duomenų bazėmis ir pan. Dalis šių bibliotekų įeina į standartiškai platinamo paketo sudėtį, kitą dalį tenka užsisakyti ir pirkti atskirai.

3.3. Nuotolinio valdymo prisijungimo protokolai

Skaitmeniniams duomenims perduoti iš taško A į tašką B (šiuo atveju iš Irbenės į Klaipėdą), reikalingas taisyklių rinkinys, aprašantis kaip šie duomenys turi būti koduojami ir panašiai. Taisyklių rinkinys dar vadinamas protokolu. Kiekviena nuotoliniu būdu valdoma sistema yra paremta duomenų perdavimo protokolu, kuris tiesiogiai įtakoja sistemos savybes, tokias kaip patikimumas, greitaveika, maksimalus aptarnaujamų įrenginių skaičius, sistemos kaina. Šiuo metu pasaulyje naudojama daug įvairių protokolų, bet turbūt plačiausiai paplitęs protokolas TCP/IP (angl. *Transmission control protocol/Internet Protocol*). Toliau šiame skyriuje apžvelgsime du tinklo protokolus: Telnet ir jo naujesnį variantą SSH (angl. *Secure shell*).

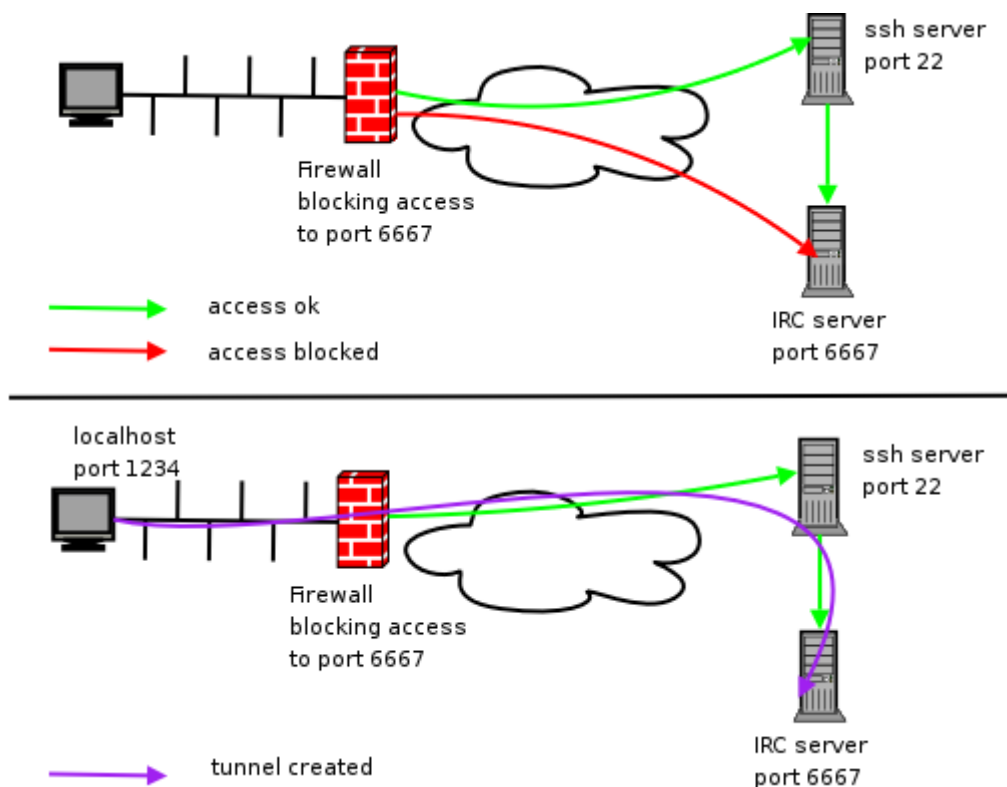
Telnet – tai prisijungimo prie tolimos sistemos tinklo protokolas. Jis suteikia galimybę dirbti taip, lyg jūsų klaviatūra būtų prijungta tiesiogiai prie tolimojo kompiuterio. Jūs galite naudotis visomis galimybėmis, kurias jis suteikia vietiniams terminalams. Šis darbo būdas atėjo iš tų laikų, kai kompiuteriai buvo dideli, galingi ir per brangūs dirbti vienam vartotojui. Pirmą kartą ši technologija aprašyta RFC854, kuris paskelbtas 1983 metais. Tokiu būdu, prie kompiuterio būdavo prijungiami terminalai – pora iš klaviatūros ir monitoriaus. Terminalai stovėdavo toliau, atskirai nuo kompiuterio. Kiekvienas vartotojas dirbdavo lyg ir su atskiru kompiuteriu. Šiuo metu šis ryšis gali būti naudojamas specifiniams tikslams. Prisijungus prie tolimojo kompiuterio per Telnet protokolą, galima susitvarkyti savo paštą, patekti į tam tikrus katalogus [31]. Standartinis TCP protokolų šeimos prievadas, naudojamas Telnet, yra 23.

Telnet programa įeina į Windows sistemą ir gali būti iškviesta Start > Run renkam telnet. Po to reikia susisiekti su kompiuteriu palaikančiu Telnet protokolą. Patekus į jo aplinką naudojamės atitinkamomis komandomis. Sąsaja išlikusi tekstinė spartumui užtikrinti. Be to, jei sistema neatpažįsta automatiškai, tenka pasirinkti Terminalo emoliatoriaus tipą. Terminalo emuliatorius reikalingas tam, kad jūs būtumėte suprastas tolimos sistemos ir atvirkščiai [31].

SSH (angl. *Secure Shell*) yra protokolas, skirtas kliento prisijungimui prie serverio aplinkos (shell). Standartinis TCP protokolų šeimos prievadas, naudojamas SSH, yra 22. SSH protokolas naudojami SSL(angl. *Secure Sockets Layer*) šifravimo ir duomenų perdavimo tinklu sistema. SSH protokolas labai plačiai naudojamas specialiose programose, skirtose saugiai prisijungti prie

nutolusio kompiuterio (serverio). SSH yra labai plačiai naudojamas, nes apsaugo slaptažodžius nuo jų perėjimo tinkle, nes SSH naudoja šifravimą, todėl konfidenciali informacija nekeliauja atviru tekstu. SSH taip pat padeda išvengti duomenų klastojimo, nes šifravimo mechanizmas paremtas slapto/viešo rakto metodika. Taip pat, SSH naudojamas išvengti IP paketų nukreipimo, DNS klastojimo ir manipuliavimo duomenimis [32]. Dauguma GNU/Linux distribucijų leidžia naudoti ir grafinę sąsają, vykdant serveryje tokias programas kaip Eclipse, OpenOffice.org ir pan. Tačiau šiuo atveju perduodamų duomenų srautas yra daug didesnis, ir metodas pasiteisina tik jei interneto ryšys pakankamai greitas (tarkim, tarp tame pačiame lokaliame tinkle esančių kompiuterių).

Plačiausiai SSH yra taikomas prisijungimams prie nutolusio serverio, failų įkėlimui nutolusį serverį, darbui nutolusiame serveryje, TCP protokolų persiuntimui (angl. *Port Forwarding*) (tuneliavimui) (31 paveikslas) ir autentifikavimui naudojant slapta/viešą raktą. SSH tuneliavimo funkcija naudojama dviem mazgam sujungti sukuriant tarp jų saugų kanalą. Šiuo kanalu persiunčiami nesaugių TCP protokolų duomenys. Tai atliekama nustatant SSH klientą (programą) taip, kad ji klausytųsi tam tikro prievado. Visi duomenys, atėję į nustatytą prievadą saugiu SSH kanalu persiunčiami į nutolusį SSH serverį. Iš serverio duomenys perduodami į paskirties vietą [32].



31 pav. Tuneliavimas [32]

Naudojant SSH protokolą galima kelių tipų autentifikavimas. Autentifikavimas pagal slaptažodį turi vieną pagrindinį trūkumą – slaptažodžiai ne visuomet būna pakankamai saugūs, nes juos dažnai būna lengva atspėti. Autentifikavimas pagal kompiuterių adresus yra pakankamai nesaugus, nes galima suklastoti adresą. Didžiausią saugumo lygį suteikia autentifikavimas pagal

slaptą/viešą raktą. Ši metodą yra sudėtingiau naudoti, nei prieš tai išvardintus metodus, tačiau jo teikiami privalumai nusveria trūkumus. Privataus/viešo rakto sistema pagrįsta pakankamai nesudėtingu principu. Yra naudojamas viešas raktas, kurį turi visi serveriai, į kuriuos jungiasi vartotojas. Slaptas raktas žinomas tik vartotojui ir saugomas tik jo kompiuteryje. Slaptam raktui apsaugoti naudojama slapta frazė (passphrase). Į tinklą nepatenka nei slaptas raktas, nei slapta frazė, todėl šis metodas yra gerokai saugesnis, nei autentifikavimas naudojant slaptažodį[32]. Pagrindiniai SSH protokolo parametrai yra pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Pagrindiniai SSH parametrai [32]

-a Išjungia agento autentifikavimo ryšį
-A Įjungia agento autentifikavimo ryšį
-b bind_address Nurodoma perdavimo sąsaja, kai yra ne viena tinklo plokštė
-c blowfish 3des des Parenkamas šifravimo algoritmas. Pagal nutylėjimą būna 3des algoritmas.
-g Suteikia nuotolinį prisijungimą prie lokalaus prievado.
-4 Naudoja tik IPv4 adresaciją
-6 Naudoja tik IPv6 adresaciją
-x Išjungia X11 persiuntimą

4. EKSPERIMENTINĖ DALIS

4.1. Radijo teleskopo RT-32 valdyje naudojamos komandos

Visos radijo teleskopo RT-32 valdymo komandos yra apibrėžiamos tokiu pat standartu: <komanda>_<parametras1>_<parametras2>_<parametras3>. Kai kurios komandos gali neturėti nė vieno parametro, kai kitos gali turėti skirtingą skaičių parametru. Žemiau pateikiamas sąrašas komandų su aprašais, kuriomis remiantis buvo kuriama nuotoliniu valdymo posistemė:

s – stabdymas – sustabdo programą ir gražina reikšmę: „Ok!“;

r – paleidimas – paleidžia paruoštą programą ir gražina reikšmę: „Ok!“;

z – eiti į zenitą – suka anteną į zenito poziciją ir gražina reikšmę: „Ok! Going to zenith“;

l – duomenų įrašymas – įrašo informaciją į failą DOS kompiuteryje (išjungta) ir gražina reikšmę: „Ok!“;

g – eiti į – nustato kur turi atsisukti antena. Galimi du panaudojimo atvejai:

➤ Su 3 parametrais – g <objekto vardas><data><laikas>, objekto vardas turi būti duomenų bazėje, o laikas ir data nustatoma kuomet turi būti pasukta antena, gražina informaciją: jeigu įvesti duomenys teisingi- „Ok! Going to a <azimutas><vertikalė>“, jeigu įvesti duomenys neteisingi- „No file objects.dat or object in database“;

➤ Su 2 parametrais – g <horizontalė><vertikalė>; return information: jeigu teisingai įvesti parametrai „Ok! Going to <horizontalė><vertikalė>“, jeigu neteisingai: „Something wrong“;

t – sekimas – objekto sekimas (neveikianti):

➤ Su 3 parametrais – t <rektascensija><deklinacija><epoha>; gražina informaciją: jeigu parametrai geri: „Ok! Tracking apparent RA=<rektascensija> DEC=<deklinacija> till UT <laikas>“, jeigu parametrai neteisingi: „Something wrong!“;

➤ Su 2 parametrais – t <rektascensija><deklinacija>; gražinama informacija: jeigu parametrai geri: „Ok! Tracking apparrent RA=<rektascensija> DEC=<deklinacija>, jeigu parametrai neteisingi: „Something wrong!“;

➤ Su vienu parametru – t <objekto pavadinimas duomenų bazėje>; gražinama informacija: jeigu įvesti parametrai teisingi -, „Ok! Tracking <objekta nosaukums no datubāzes>, jeigu parametrai neteisingi: „Something wrong!“;

c – korekcija:

➤ Su vienu parametru: su numeriu 1 arba 0, kuris nustato ar turi būti naudojama korekcija : jeigu įvedame 1 arba 0 gražinama reikšmė: „Ok!“, jeigu koks kitas parametras, gražinama reikšmė: „One (0 or 1) parameter needed“;

o – ofsetas (angl. *offset*);

- Su 2 parametrais: o <horizontalė><vertikalė>; gražinama informacija: jeigu įvesti parametrai teisingi: „Ok!”, jeigu įvesti parametrai neteisingi: „Two parameters needed!”
- p** – programa – paruošiama programa iš failo.

- Su 1 parametru: p <failo pavadinimas>; Gražinama informacija: jeigu failo pavadinimas teisingas: „<number of points> points entered”, jeigu įvesto failo pavadinimas neteisingas: „Can’t open file”, jeigu neįvesta nieko: „File name needed”

i – info – informacija apie DOS kompiuterio laiką ir antenos poziciją;

- Beparametru; gražinama informacija: „<year>/<month>/<date> +<time><day> UT <universal time><horizontalė><vertikalė>”;

e – klaida – gražinama objekto klaida;

- Beparametru; gražinama informacija: jeigu antena nukreipta į objektą: „on target <azimuth error><elevation error>”, jeigu antena nenukreipta į objektą : „off target <azimuth error><elevation error>”;

a – gražina eilės statusą, kurioje yra saugomos siunčiamų duomenų įrašų žinutės. Gražinama informacija: “Queue size: <elements in queue>”;

w – pradeda arba baigia duomenų siuntimą per terminalą. Gražinama informacija: “TCP transfer enable” arba “TCP transfer disabled”;

x – laiko sinchronizavimas. Linux serveris gauna esamą laiką microsekundžių tikslumu, palaukia vieną sekundę ir siunčia laiką į DOS kompiuterį. DOS kompiuteris gauna laiką ir jį nustato sistemoje. Gražinama informacija: “Time set: yyyy/mm/dd hh:mm:ss”;

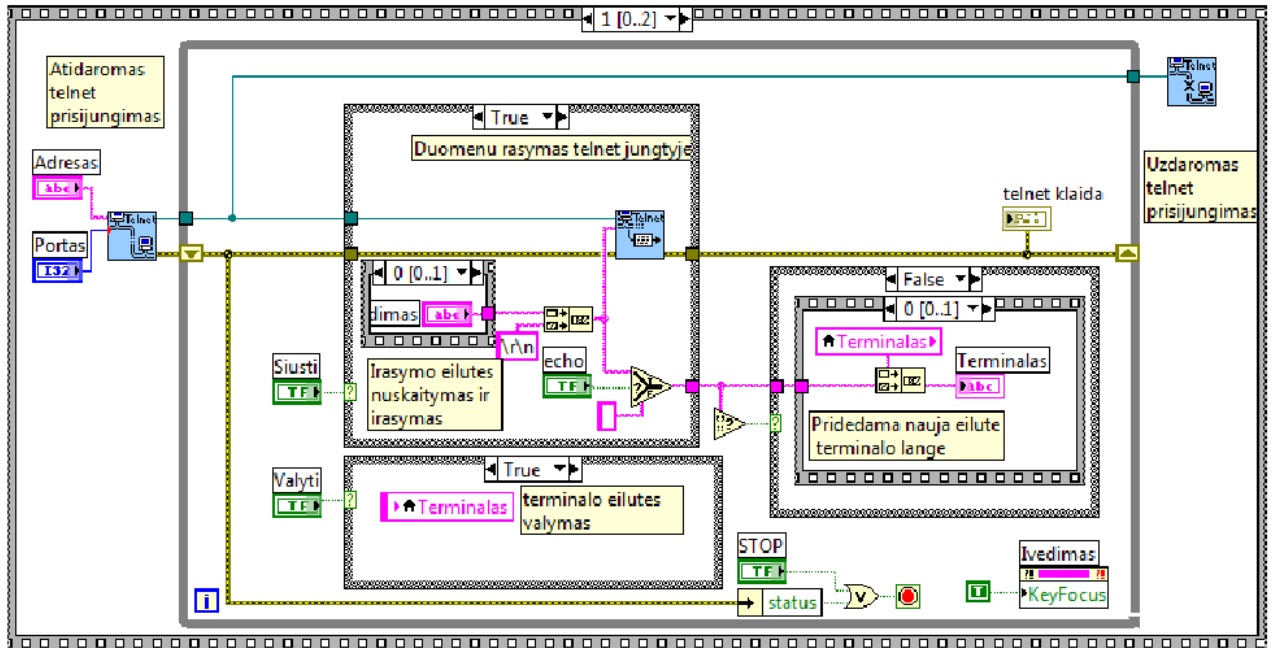
f – identiška p komandai tik failas yra nuskaitomas Linux kompiuteryje ir siunčiamas eilutė po eilutės į DOS kompiuteryje paleistą programą. Kiekvieną sekundę išsiunčiama 10 eilučių. Gražinama informacija: “<number of pints> points entered”.

Jei įvesta komanda yra neteisinga, programa gražina reikšmę: “Bad command” ir gražina komandos įvedimo būseną.

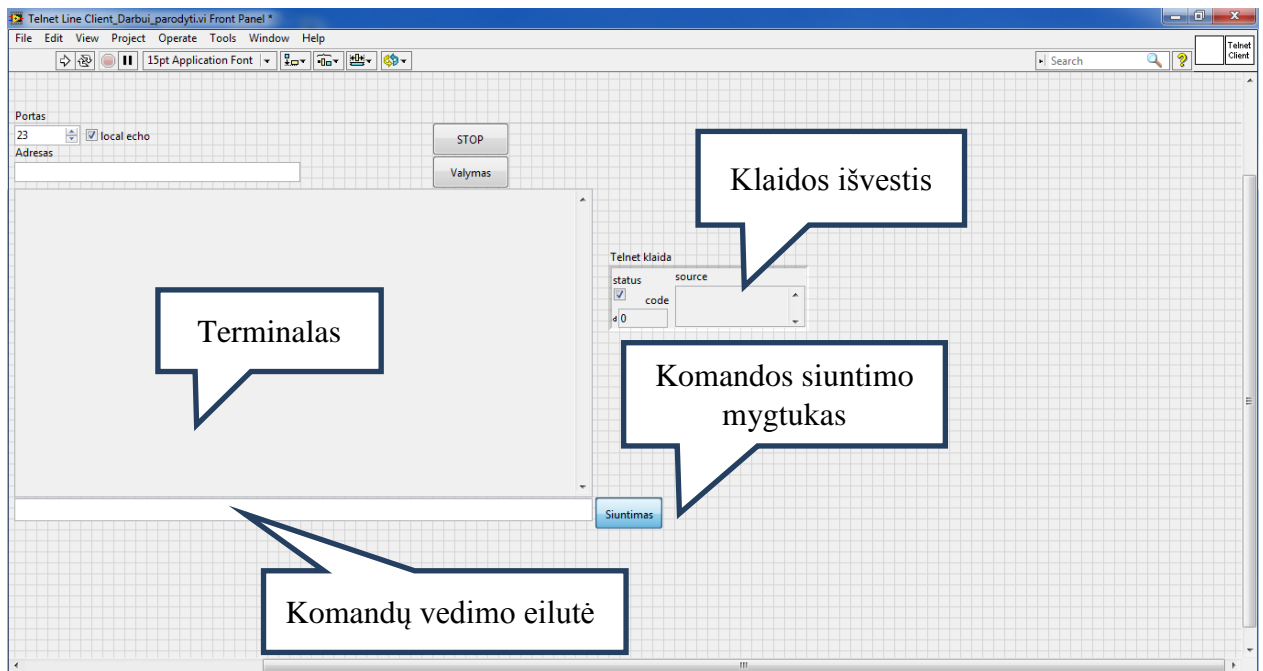
4.2. Sukurti nuotolinio valdymo posistemės NI LabVIEW virtualūs instrumentai

Analizuojant radijo teleskopo vietinę pozicionavimo variklių valdymo posistemę buvo nustatyta, kad nuotolinės valdymo posistemė būtų paremta SSH ir Telnet tinklo protokolais. Taip pat, pasirinkus modernų *NI LabVIEW* programinį paketą, kaip posistemės pagrindą, buvo nustatyta, kad kolkas šis programinis paketas nepalaiko SSH, bet palaiko Telnet. Dėl šios priežasties buvo sukurta posistemės architektūra kaip parodyta 14 paveiksle. Paveiksle 32 pateikiama virtualaus instrumento sudarančio telnet klientą minimali blokinė diagrama su lietuviškais paaiškinimais. Telnet klientas sudarytas iš kelių pagrindinių blokų: telnet ryšio užmezgejo, telnet ryšio palaikytojo ir telnet ryšio uždarytojo. 33 paveiksle pateiktas grafinės vartotojo sąsajos vaizdas, kuris gaunamas

iš telnet kliento blokinės diagramos.

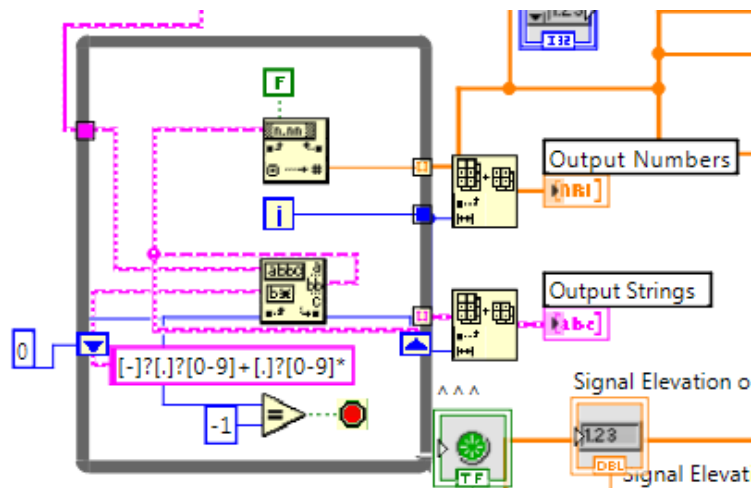


32 pav. Minimali blokinė diagrama reikalinga telnet klientui

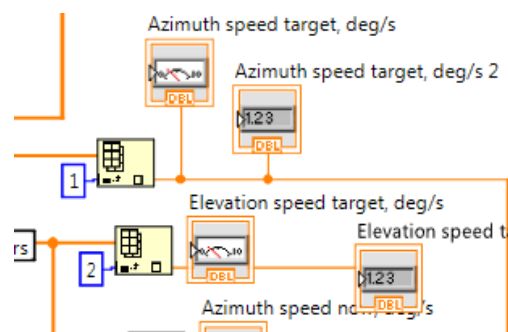


33 pav. Minimalus Telnet kliento langas

Pirmame šio skyriaus poskyryje išvardintos radijo teleskopo RT-32 valdymo komandos, kurios buvo realizuotos sukurtoje pozicionavimo variklių valdymo posistemėje. 34 paveiksle pateiktas dviejų komandų blokinės diagramos, kurioms nereikia įvesti jokių parametrų prieš siunčiant komandą. Pirmoji komanda skirta paleisti valdymo programą Linux serveryje, o antroji komanda skirta prisijungti prie to serverio, po šios komandos įvedimo reikia įvesti slaptažodį norint prisijungti.

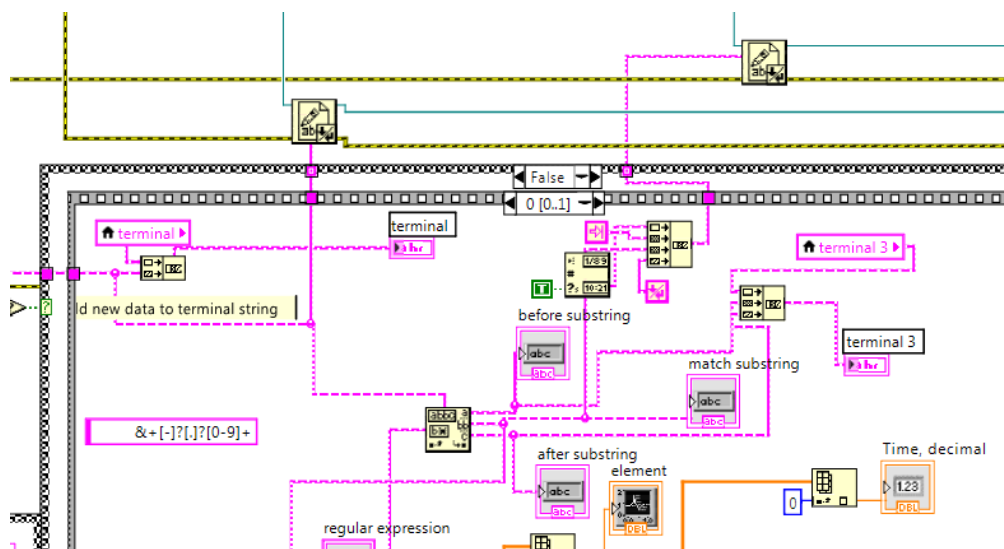


37 pav. Blokinė diagrama skirta išskaidyti gautą duomenų eilutę į atskirus skaičius



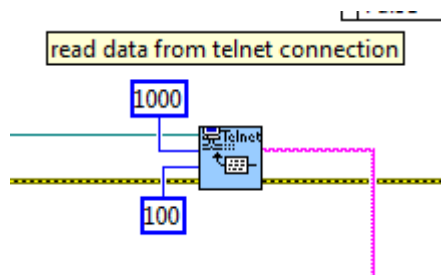
38 pav. Blokinės diagramos fragmentas skirtas sukurti grafinės vartotojo sąsajos indikatorius

Gautas duomenų paketas yra talpinamas į terminalą atvaizduoti vartotojui. Tuo pačiu metu yra atliekamas duomenų atpažinimas, bei duomenų rašymas į failą ir nuskaitymas. 39 paveiksle pateiktas fragmentas blokinės diagramos, kuriame atliekamos anksčiau paminėtos funkcijos. Taip pat, prie duomenų eilutės pridamas laikas kuomet eilutė buvo įrašyta į failą. Duomenų atpažinimui naudojama kaukė (angl. *mask*) pagal kurią funkcinis blokas atrenka tik reikiamas telnet kliento eilutes, kuriose yra duomenys apie pozicionavimo variklius, antenos koordinatas.



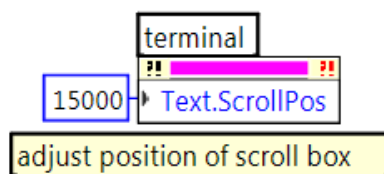
39 pav. Blokinės diagramos dalis skirtas gaunamos eilutės apdorojimui

Duomenų nuskaitymui iš Telnet prisijungimo naudojamas funkcinis blokas pateiktas 40 paveiksle. Jam priskirtos dvi konstantos: nuskaitymi bitai-1000 ir laikas atsijungimui (angl. *timeout*) 100ms. Kas užtikrina patikimą duomenų apsikeitimą, t.y. jeigu duomenų siuntimo uždelsimas didesnis nei 100ms, gauname klaidą.



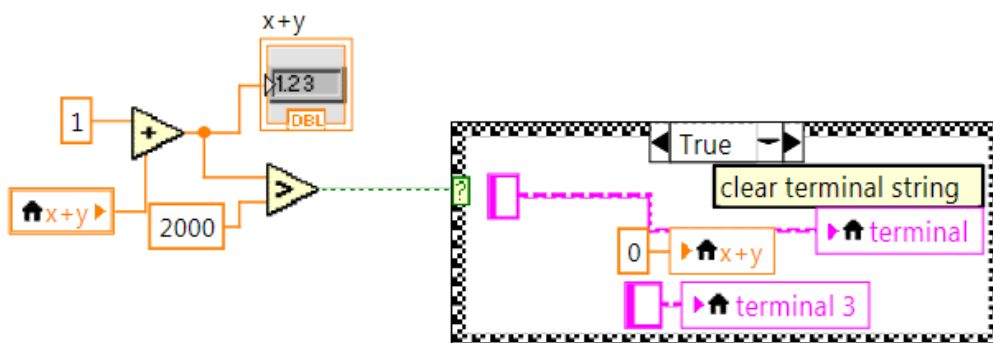
40 pav. Blokinės diagramos fragmentas skirtas telnet kliento parametrus nustatyti

Norint, kad terminalas veiktų kaip komandinis langas, jo slankikliui reikalinga funkcija, kad jis būtų nustatomas apačioje terminalo lango. Ši funkcijos įgyvendinimas *LabVIEW* blokine diagrama parodytas 41 paveiksle.



41 pav. Blokinės diagramos fragmentas skirtas terminalo slankiklio išlaikymui apačioje

Optimizuojant sukurtą pozicionavimo varklių nuotolinio valdymo virtualų instrumentą, buvo sukurtas *LabVIEW* blokinės diagramos fragmentas pavaizduotas 42 paveiksle. Jis skirtas terminalo atminčiai išvalyti kas 2000 ciklų, kad nebūtų užkrauta kompiuterio darbinė atmintis atliekant ilgus valdymo veiksmus ir tyrimus. Bendras NI *LabVIEW* virtualaus instrumento blokinės diagramos vaizdas pateiktas 12 priede.

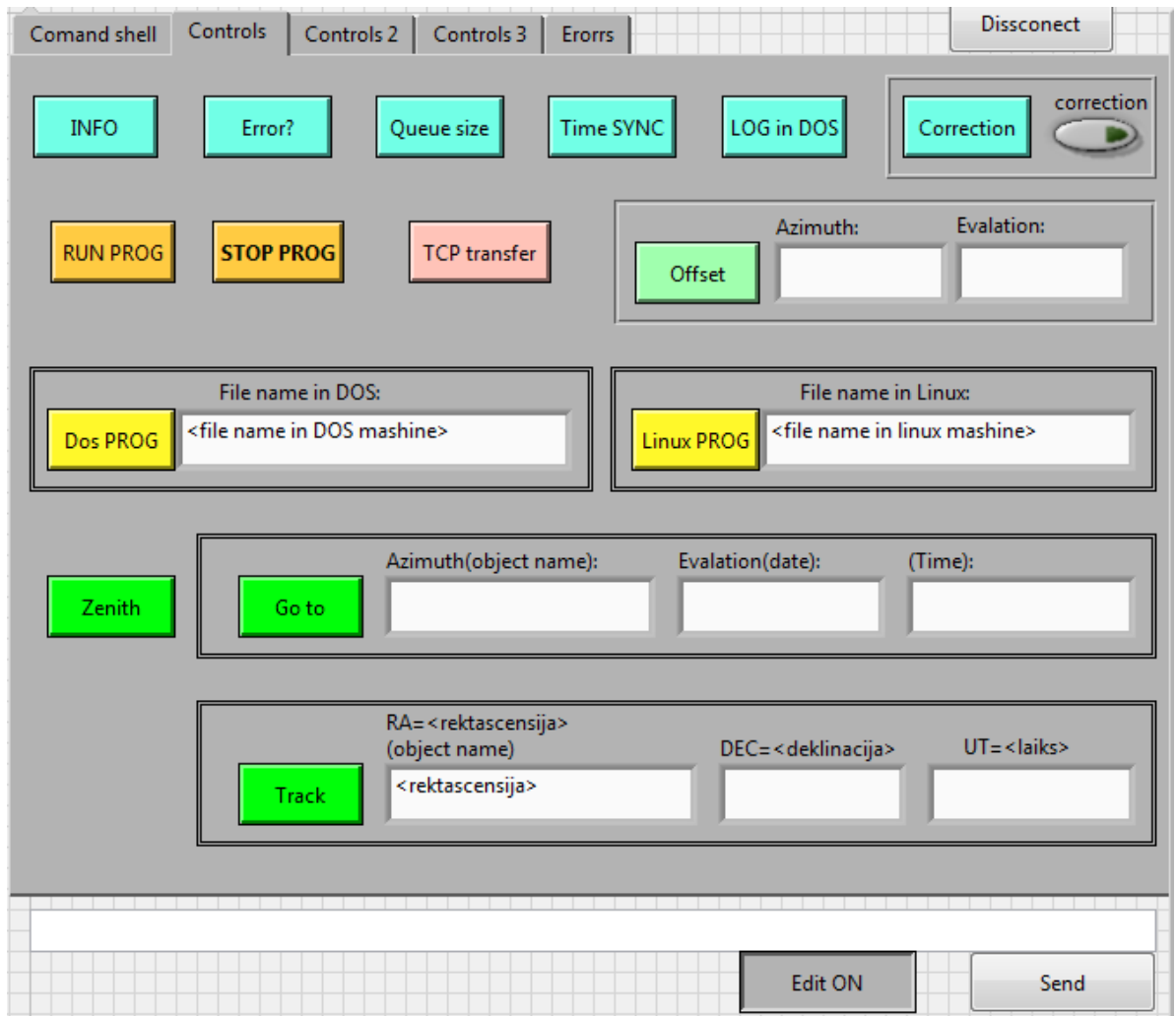


42 pav. Blokinės diagramos fragmentas skirtas išvalyti terminalą kas 2000 ciklų

Šiame poskyryje pateikiama tik dalis realizuotų komandų. Kitos komandos yra programuojamos analogiškai priklausomai nuo parametrų skaičiaus ir tipo.

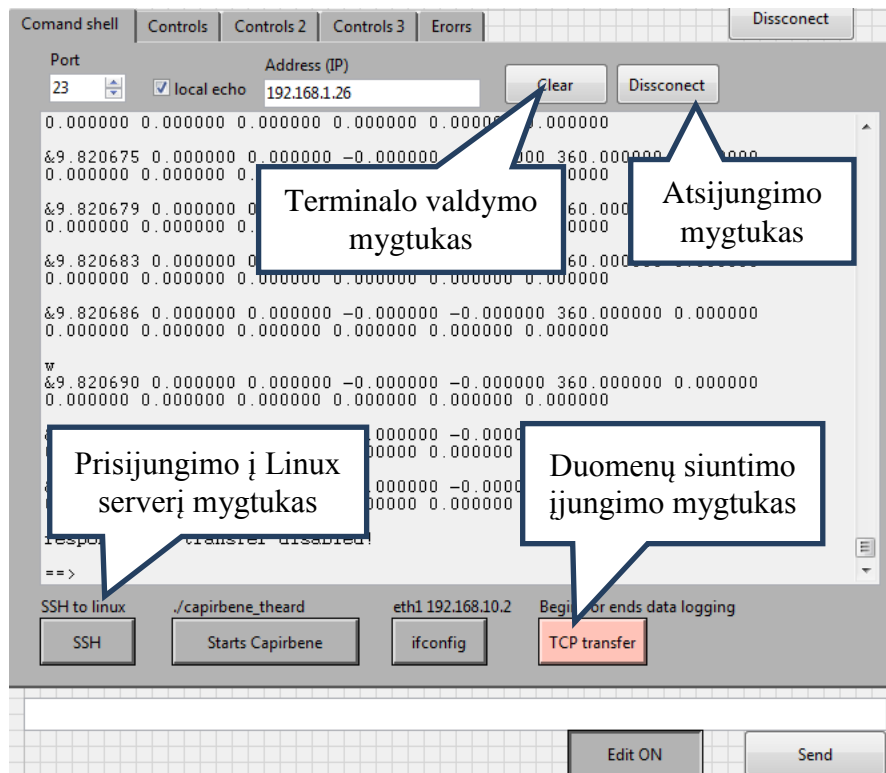
4.3. Sukurta grafinė vartotojo sąsaja

Grafinė vartotojo sąsaja buvo kuriama konsultuojantis su Latvijos tyrėjais. Buvo nustatyta, kad kuriamai posistemei reikalinga kuo paprastesnė ir aiškesnė sąsaja, su kiek įmanoma daugiau paaiškinimų, bei kad reikia atskirti pagrindines ir nepagrindines valdymo komandas, sugrupuoti jas. Bendras grafinės vartotojo sąsajos vaizdas pateiktas 12 priede. 43 paveiksle pateiktas pagrindinis valdymo puslapis, kuriame yra visos pagrindinės radijo teleskopo valdymo komandos. Komandos buvo išskirstytos į grupes priskiriant joms skirtingas spalvas, kad tarp daug komandų būtų galima greitai rasti reikalingą. Analogiškai pateikiamos retai naudojamos komandos kitame puslapyje (45 paveikslas).

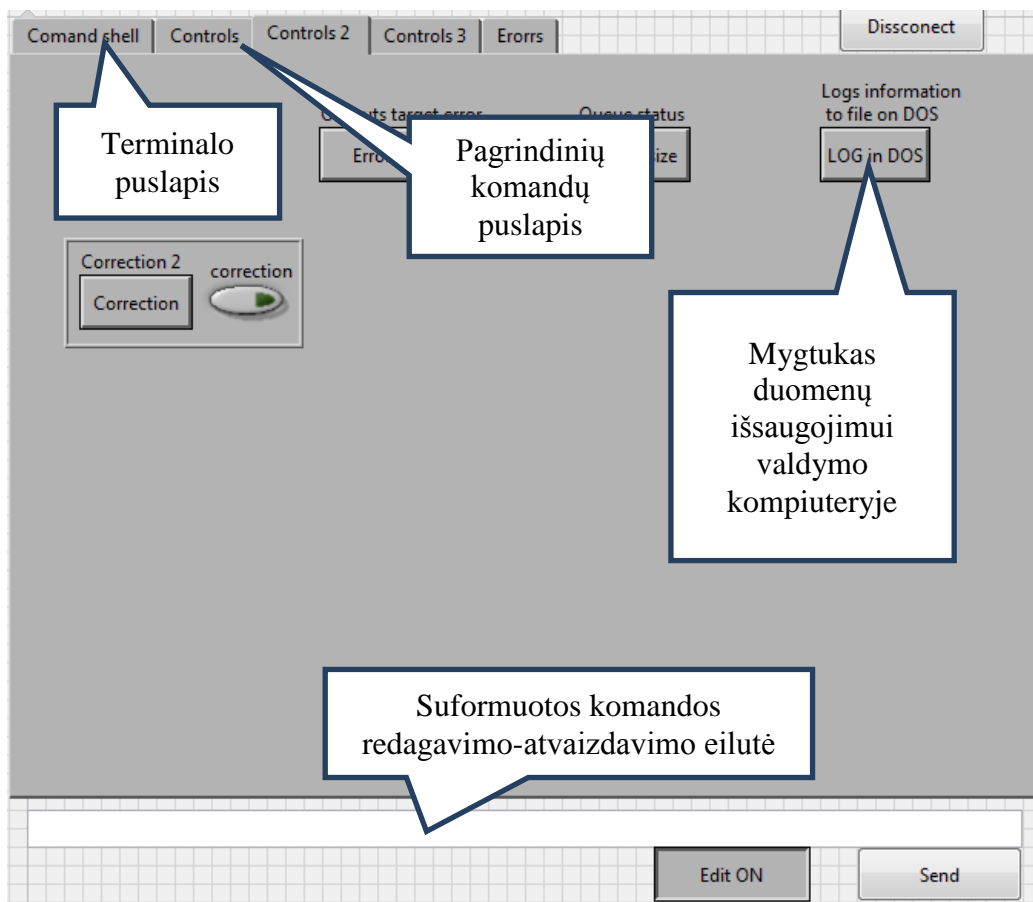


43 pav. Sukurto VI pagrindinis valdymo skydelis

Kaip ir poskyryje anksčiau aprašytas Telnet klientas, virtualiame instrumente jis papildytas papildomomis funkcijomis ir jo vaizdas pateiktas 44 paveiksle.



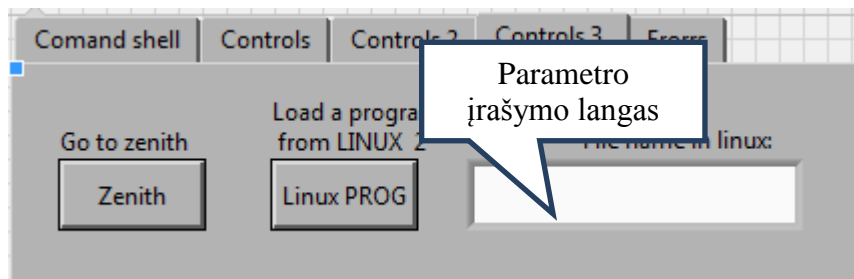
44 pav. Sukurto VI grafinės vartotojo sąsajos skydelis skirtas terminalui



45 pav. Sukurto VI antraeilio svarbumo komandų valdymo skydelis

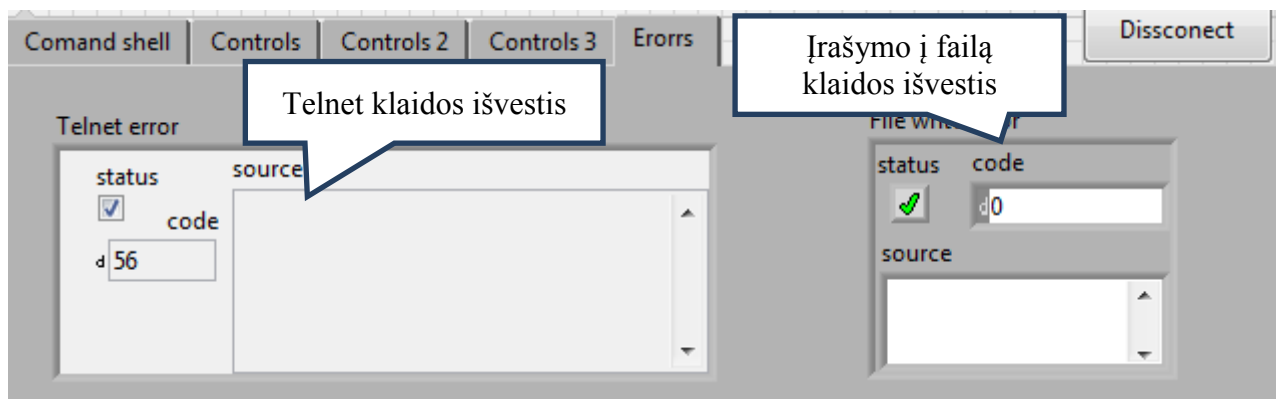
Detalizuojant grafinėje vartotojo sąsajoje išdėstytas komandas, 46 paveiksle pateiktos dvi komandos viena be įvedamų parametrų (antenos atsukimas į zenito padėtį), kita su vienu įvedamu

parametru (Linux kompiuteryje paleidžiama programa, apie kurią rašoma ankstesniuose poskyriuose).



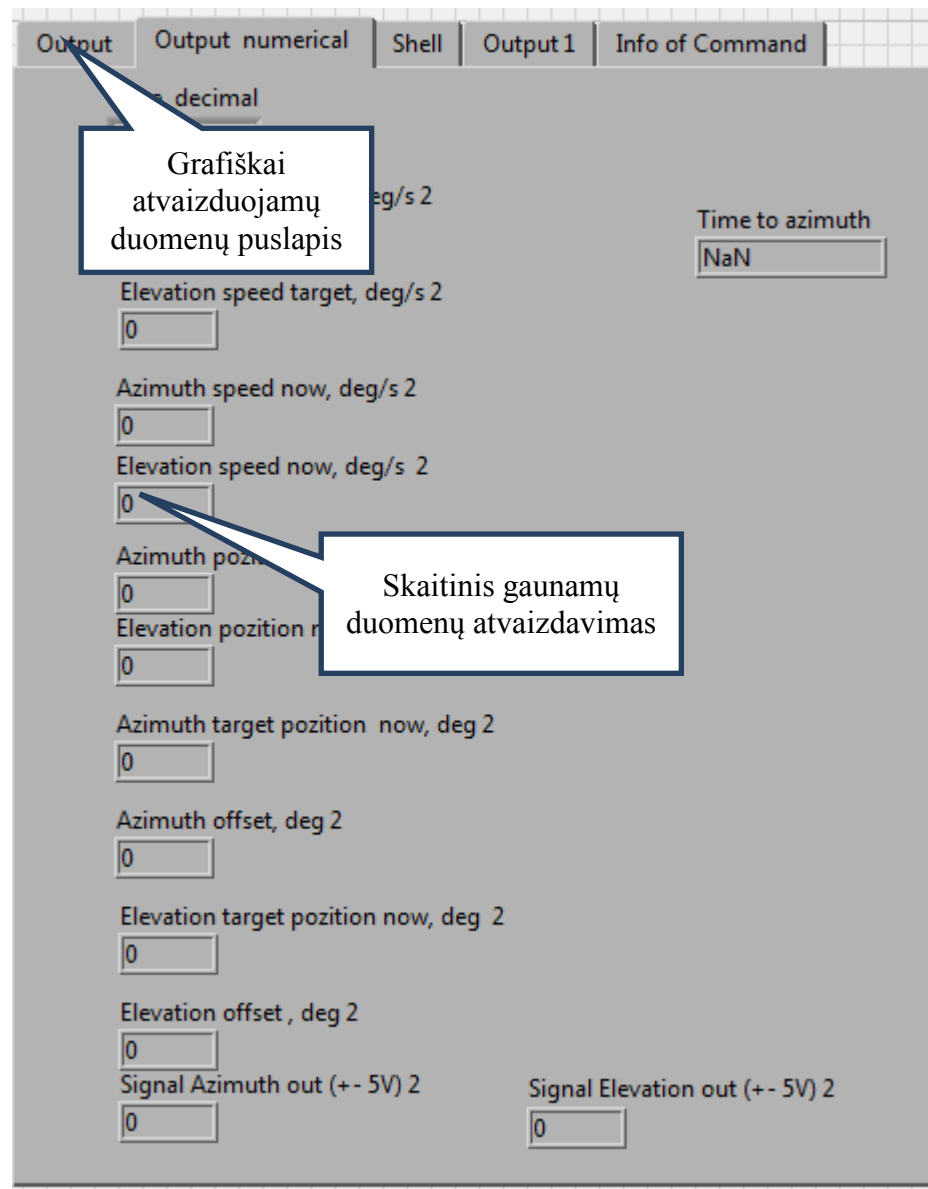
46 pav. Grafinės vartotojo sąsajos fragmentas skirtas komandoms „Zenitas“ ir „Linux programa“

Veikiant realioms sistemoms, gali iškilti įvairios klaidos, tad grafinėje vartotojo sąsajoje buvo sukurtas atskiras puslapis klaidų indikatoriams. 46 paveiksle pateikti du klaidų indikatoriai: telnet kliento ir rašymo į failą.



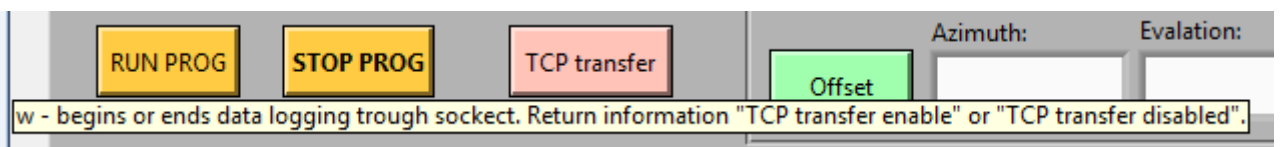
47 pav. Grafinės vartotojo sąsajos fragmentas rodantis klaidų indikatorius

Skirtingiems žmonėms naudojantis sukurtu virtualiu instrumentu buvo sukurti du skirtingi gautų duomenų atvaizdavimo puslapiai. Vienas puslapis su grafiniais indikatoriais, kaip parodyta 12 priede, kitas indikatoriai su skaitinėmis reikšmėmis, kaip parodyta 48 paveiksle.

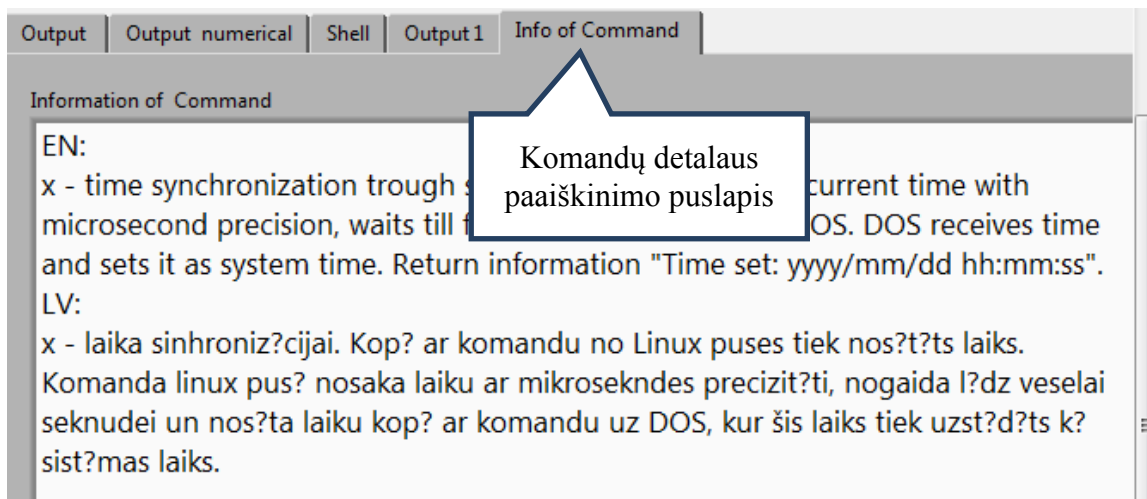


48 pav. Grafinės vartotojo sąsajos fragmentas rodantis skaitines parametrų reikšmes

Kaip minėta anksčiau, buvo kuriama intuityvi grafinė vartotojo sąsaja. Kiekvienai programai buvo sukurtas išskylantis langas, kuriame pateikiamas trumpas komandos aprašymas, kaip parodyta 49 paveiksle, kur pateikiamas trumpas aprašas apie duomenų siuntimo įjungimo komandą. Taip pat, sistemai naudojantis netik lietuviams buvo pasirinkta anglų kalba, kaip pagrindinė sukurtos posistemės kalba, tačiau buvo sukurtas atskiras informacinis puslapis kuriame paspaudus ant komandos atsiranda komandos paaiškinimas skirtingomis kalbomis. Šiuo atveju 50 paveiksle pateikiamas laiko sinchronizavimo komandos aprašas.



49 pav. Išskylantys „pop up“ komandų paaiškinimai



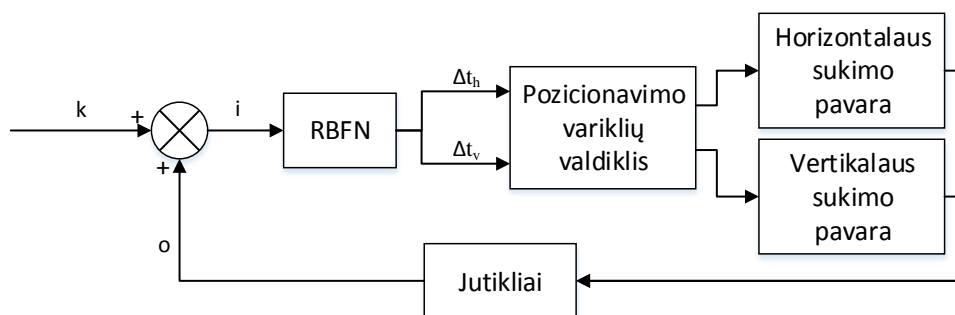
50 pav. Papildomi dvikalbiai komandų paaiškinimai

Atlikus radijo teleskopo pozicionavimo variklių nuotolinio valdymo posistemės verifikaciją nustatyta, kad sukurta posistemė atitinka jai keliamus funkcinis ir nefunkcinis reikalavimus. Verifikacijos metu buvo galima valdyti radijo teleskopo pozicionavimą taip pat tiksliai kaip ir lokaliai, nes pozicionavimo komandos nebuvo keičiamos. Verifikacijos metu gautų radijo teleskopo pozicionavimo variklių valdymo parametrų duomenų fragmentas pateiktas 51 paveiksle. Fragmento duomenys: laikas; objekto horizontalus greitis; objekto vertikalus greitis; horizontalaus sukimo greitis; vertikalus sukimo greitis; horizontali pozicija; vertikali pozicija; užduota horizontali pozicija; objekto horizontalus ofsetas; užduota vertikali pozicija; objekto vertikalus ofsetas; horizontalaus sukimosi kryptis; vertikalus sukimosi kryptis.

18.197821	0.004965	0.001494	-0.160729	-0.217639	529.140015	43.434448	138.202020	0.000000	40.777578	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197825	0.004965	0.001494	-0.161559	-0.222069	529.140015	43.434448	138.202020	0.000000	40.777578	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197829	0.004965	0.001494	-0.161559	-0.222069	529.129028	43.423462	138.202020	0.000000	40.777742	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197833	0.004965	0.001494	-0.153714	-0.215660	529.129028	43.423462	138.202020	0.000000	40.777742	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197837	0.004965	0.001494	-0.153714	-0.215660	529.129028	43.423462	138.202020	0.000000	40.777742	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197840	0.004965	0.001494	-0.153222	-0.220870	529.129028	43.423462	138.202020	0.000000	40.777742	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197844	0.004965	0.001494	-0.153222	-0.220870	529.123535	43.412476	138.202566	0.000000	40.777742	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197848	0.004965	0.001494	-0.162264	-0.220143	529.123535	43.412476	138.202566	0.000000	40.777742	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197852	0.004965	0.001494	-0.162264	-0.220143	529.123535	43.412476	138.202566	0.000000	40.777742	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197856	0.004965	0.001494	-0.158761	-0.216120	529.123535	43.412476	138.202566	0.000000	40.777742	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197859	0.004965	0.001494	-0.158761	-0.216120	529.112549	43.395996	138.202566	0.000000	40.777906	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197863	0.004965	0.001494	-0.151079	-0.222732	529.112549	43.395996	138.202566	0.000000	40.777906	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197867	0.004965	0.001494	-0.151079	-0.222732	529.112549	43.395996	138.202566	0.000000	40.777906	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197871	0.004965	0.001494	-0.157033	-0.217874	529.112549	43.395996	138.202566	0.000000	40.777906	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197875	0.004965	0.001494	-0.157033	-0.217874	529.101562	43.385010	138.203111	0.000000	40.777906	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197879	0.004965	0.001494	-0.163238	-0.218313	529.101562	43.385010	138.203111	0.000000	40.777906	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197882	0.004965	0.001494	-0.163238	-0.218313	529.101562	43.385010	138.203111	0.000000	40.777906	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197886	0.004965	0.001494	-0.156368	-0.223342	529.101562	43.385010	138.203111	0.000000	40.777906	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197890	0.004965	0.001494	-0.156368	-0.223342	529.096069	43.374023	138.203111	0.000000	40.778070	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197894	0.004965	0.001494	-0.151321	-0.216259	529.096069	43.374023	138.203111	0.000000	40.778070	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197898	0.004965	0.001494	-0.151321	-0.216259	529.096069	43.374023	138.203111	0.000000	40.778070	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197901	0.004965	0.001494	-0.161656	-0.222101	529.096069	43.374023	138.203111	0.000000	40.778070	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197905	0.004965	0.001494	-0.161656	-0.222101	529.090576	43.363037	138.203657	0.000000	40.778070	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197909	0.004965	0.001494	-0.162428	-0.220303	529.090576	43.363037	138.203657	0.000000	40.778070	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197913	0.004965	0.001494	-0.162428	-0.220303	529.090576	43.363037	138.203657	0.000000	40.778070	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197917	0.004965	0.001494	-0.154370	-0.217093	529.090576	43.363037	138.203657	0.000000	40.778070	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197920	0.004965	0.001494	-0.154370	-0.217093	529.079590	43.346558	138.203657	0.000000	40.778235	0.000000	-4.990000	-4.990000
18.197924	0.004965	0.001494	-0.152459	-0.223877	529.079590	43.346558	138.203657	0.000000	40.778235	0.000000	-4.990000	-4.990000

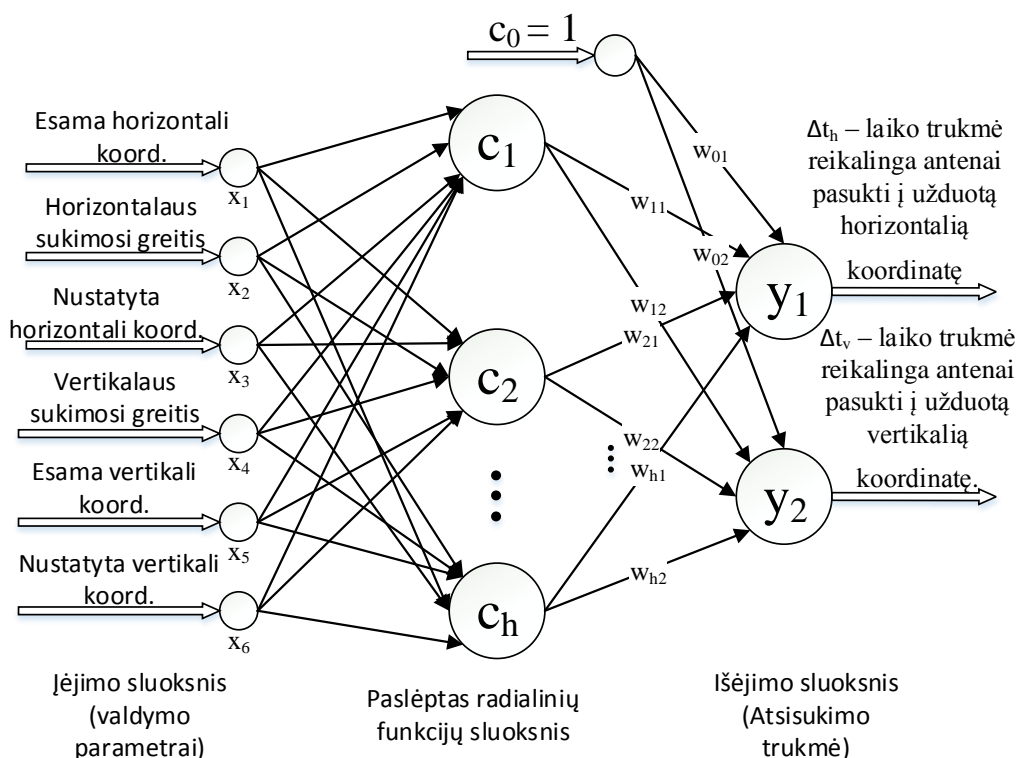
51 pav. Verifikacijos metu gautų duomenų fragmentas

Mokslininko Brett Myors atlikto tyrimo metu nustatyta, kad DOS 6.22 operacinės sistemos aplikacijos gali patikimai matuoti trukmę milisekundžių tikslumu, bet Windows operacinėje sistemoje taip tiksliai ir patikimai laiko negalima išmatuoti [33]. Tai yra viena iš priežasčių, kodėl valdymo kompiuteryje naudojama DOS operacinė sistema. Radijo teleskopo valdymo sistemoje



53 pav. Konceptinė pozicionavimo variklių valdymo sistema

RBFN struktūros skirtos atsisukimo į užduotą koordinatę trukmei prognozuoti architektūra pateikiama 54 paveiksle. Įėjimo sluoksnį sudaro valdymo parametrai: esama horizontali koordinatė, horizontalus sukimosi greitis, nustatyta horizontali koordinatė, vertikalus sukimosi greitis, esama vertikali koordinatė ir nustatyta vertikali koordinatė. Paslėptas sluoksnis duoda ne nulinį atsaką tada, kai įėjimas patenka į tam tikrą diapazoną. Kiekvienas paslėpto sluoksnio elementas turi savo įvesties diapazoną. Išėjimo sluoksnyje gaunamos dvi reikšmės: $y_1 = \Delta t_h$ – laiko trukmė reikalinga antenai pasukti į užduotą horizontalią koordinatę, $y_2 = \Delta t_v$ – laiko trukmė reikalinga antenai pasukti į užduotą vertikalią koordinatę.



54 pav. RBFN struktūros skirtos atsisukimo į užduotą koord. trukmei prognozuoti architektūra

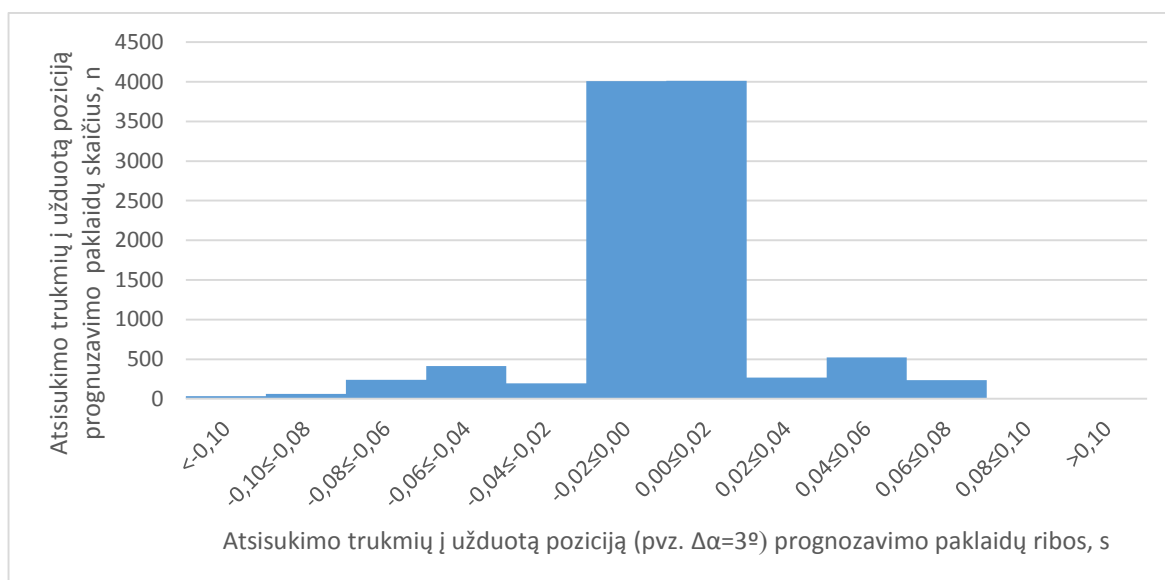
Įvesties vektorius x_i , kuris atitinka centro c_j lauką-diapazoną aktyvuotų c_j kuris parinka tinkamą svorį ir taip gaunamas išėjimas. Išėjimo gavimas pateikiamas 4 formulėje, kur w_j - „j“ centro svoris, φ - radialinė funkcija.

$$y = \sum_{j=1}^h \varphi_j \omega_j, \text{ kur } \varphi_j = \varphi(\|x - c_j\|) \quad (4)$$

RBFN buvo realizuotas Python programavimo kalba konsultuojantis su dėstytoju iš Jungtinių Amerikos Valstijų Aaron Garrett. Suprogramuotas kodas pateikiamas 13 priede. Šiame kode realizuota centrų paieška panaudojant k-vidurkių algoritmą. K-vidurkių algoritme atstumas tarp objekto $x=(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ir klasterio centro $\mu=(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_n)$ apskaičiuojamas pagal standartinį Euklido atstumą (5 formulė).

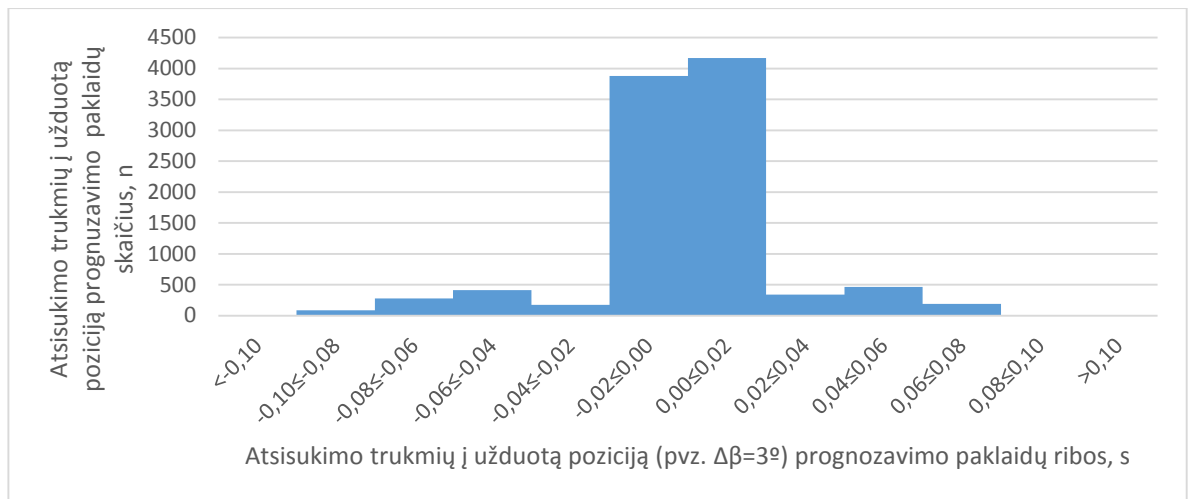
$$D^2 = ||x - \mu||^2 \quad (5)$$

Verifikavimo metu gauti valdymo parametrų duomenys buvo naudojami RBFN mokymui ir testavimui su įvairiais jo parametrais, siekiant gauti geresnę prognozavimą. 55 paveiksle patekta diagrama rodanti suprogramuoto RBFN kodo atsisukimo trukmių į užduotą vertikalią poziciją ($\Delta\alpha=3^\circ$, t.y. koordinatės pakeitimas 3 laipsniais) prognozavimo paklaidų pasiskirstymą, pagal paklaidos dydžius, kai buvo naudojama 30 radialinių funkcijų centrų, 2000 mokymosi ciklų, 10000 testavimo duomenų ir 25000 mokymo duomenų.



55 pav. Atsisukimo trukmių į užduotą vertikalią poziciją ($\Delta\alpha=3^\circ$) prognozių paklaidų pasiskirstymas, atlikus 10000 prognozių

Suprogramuoto RBFN kodo Python programavimo kalboje patikimumo bandymams buvo naudojama 30 radialinių funkcijų centrų, 2000 mokymosi ciklų, 25000 mokymosi duomenų ir 10000 testavimo duomenų. Buvo atlikta 5 statistiniai tyrimai su 10000 testavimo duomenų. Apibendrinti gauti rezultatai pateikiami 2 lentelėje. Vienos reikšmės prognozavimas vidutiniškai trunka 0,2 ms, o lentelėje pateikiama 10000 reikšmių prognozavimas, kai naudojamas stacionarus kompiuteris su 4GB darbinės atminties, Intel i5 2500k (3,3Ghz) procesoriumi. Pirmojo bandymo atsisukimo trukmių į užduotą horizontalią poziciją prognozavimo paklaidų pasiskirstymas pagal paklaidos dydžius pateikiamas 56 paveiksle.

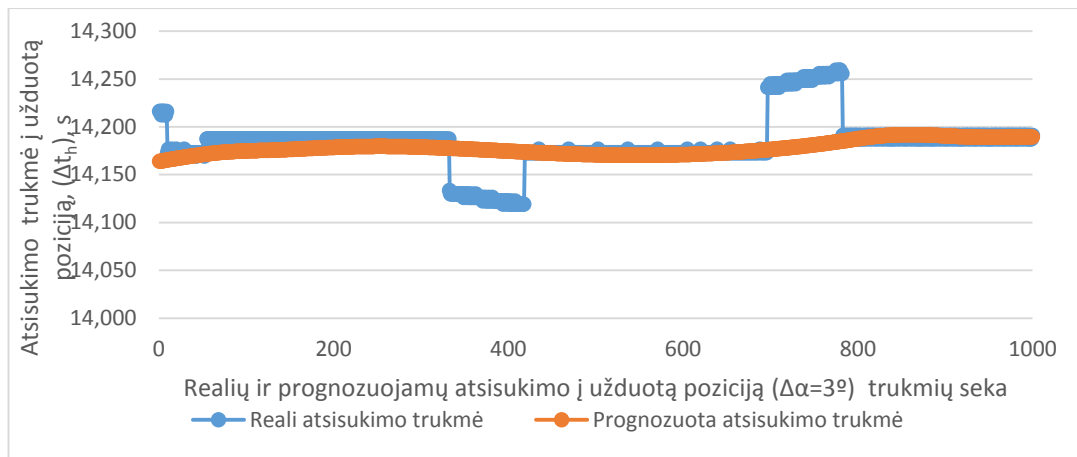


56 pav. Atsisukimo trukmių į užduotą horizontalią poziciją ($\Delta\beta=3^\circ$) prognozių paklaidų pasiskirstymas, atlikus 10000 prognozių

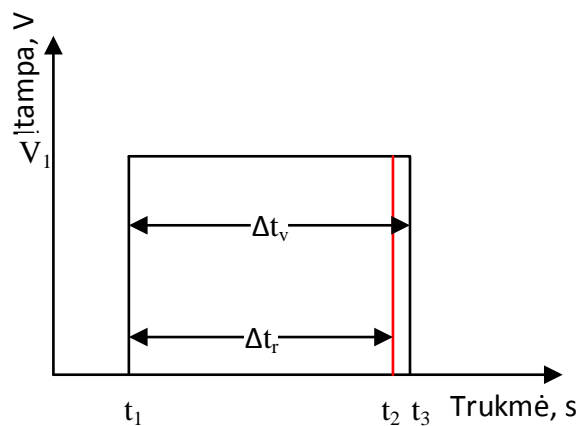
2 lentelė. RBFN atsisukimo trukmių į užduotą poziciją ($\Delta\alpha, \beta = 3^\circ$) prognozavimo bandymų duomenys

Bandymo numeris	Atsisukimo trukmės į užduotą poziciją prognozių vidutinė kvadratinė paklaida, s	Atsisukimo trukmės į užduotą poziciją prognozių paklaidų standartinis nuokrypis, s	Atsisukimo trukmės į užduotą poziciją prognozių paklaidų moda, s	Atsisukimo trukmės į užduotą poziciją prognozių maksimali paklaida, s	10 ⁴ atsisukimo trukmių į užduotą poziciją prognozių trukmė, s
Atsisukimo trukmių į užduotą horizontalią poziciją ($\Delta\beta=3^\circ$) prognozavimo bandymai					
1	0,016	0,0200	0,004	0,107	1,98
2	0,016	0,0189	0,002	0,095	2,02
3	0,016	0,0191	0,003	0,092	2,02
4	0,016	0,0188	0,004	0,089	2,02
5	0,016	0,0188	0,003	0,094	2,08
Vidurkis	0,016	0,0191	0,003	0,095	2,02
Atsisukimo trukmių į užduotą vertikalią poziciją ($\Delta\alpha=3^\circ$) prognozavimo bandymai					
1	0,016	0,0194	0,004	0,104	1,98
2	0,016	0,0199	0,004	0,105	2,02
3	0,016	0,0188	0,003	0,097	2,02
4	0,016	0,0189	0,003	0,092	2,02
5	0,016	0,0188	0,004	0,096	2,08
Vidurkis	0,016	0,0192	0,004	0,099	2,02

Pirmojo bandymo realių ir prognozuotų atsisukimo trukmių į užduotą horizontalią poziciją prognozių pasiskirstymas testavimo duomenų sekos fragmente pateikiamas 57 paveiksle. Iš jo matome kaip skiriasi prognozuotos trukmės nuo realių trukmių. Prognozuotos (Δt_v) ir realios (Δt_r) atsisukimo trukmės, kai $\Delta\alpha=x^\circ$ arba analogiškai $\Delta\beta=3^\circ$ grafikas pateikiamas 58 paveiksle. Paklaida yra lygi prognozuotos ir realios atsisukimo trukmės skirtumui.



57 pav. Pirmo bandymo realių ir prognozuotų atsukimo trukmių į užduotą horizontalią poziciją ($\Delta\alpha=3^\circ$) prognozių pasiskirstymas testavimo duomenų sekoje



58 pav. Prognozuotos (Δt_v) ir realios (Δt_r) atsukimo trukmės, kai $\Delta\alpha=x^\circ$

Gauti rezultatai rodo, jog sukurta pozicionavimo variklių nuotolinio valdymo posistemė, leidžia tiksliai nuotoliniu būdu pozicijuoti radijo teleskopą, gauti valdymo parametrus ir juos išsaugoti. Sukurta grafinė vartotojo sąsaja pagreitina komandų siuntimą lyginant su rankiniu komandų vedimu. Sąsaja supaprastina valdymą, pateikdama detalius komandų paaiškinimus. Verifikuojant posistemę buvo gauti valdymo duomenys ir nustatyta, kad posistemė veikia pagal specifikuotus reikalavimus. Sudaryta RBFN struktūra, skirta atsukimo trukmės į nustatytą poziciją trukmės prognozavimui. RBFN buvo realizuotas Python programavimo kalba ir išbandytas su gautais valdymo duomenimis. Bandymuose naudojant gautus valdymo parametrų duomenimis buvo nustatyta, kad radialinių bazinių funkcijų neuroniniai tinklai tinka antenos atsukimui į užduotą koordinatę tikslumui pagerinti. Tyrimo metu gauta atsukimo trukmės (srovės impulso parametrai $U, I = \text{const}$) į užduotą poziciją ($\Delta(\alpha, \beta) = 3^\circ$) nuo prognozuotos reikšmės vidutinė kvadratinė paklaida 0.016 s yra šiai nagrinėtai sistemai (RT-32) yra maža ir nedaro įtakos kosmoso signalų išgavimui.

IŠVADOS

1. Atlikus tiriamos srities literatūros analizę buvo nustatyta, kad nors pozicionavimo variklių valdymo, duomenų gavybos, apdorojimo ir išsaugojimo srityse vykdoma daug mokslinių tyrimų, tačiau didžiųjų radijo astronomijos teleskopų variklių valdymo sritis nėra iki galo iširta. Taip pat trūksta tyrimų, kuriuose būtų analizuojamos radijo teleskopo pozicionavimo variklių nuotolinio valdymo ir jo tobulinimo posistemės, ypač naudojant modernų ir inovatyvų *National Instruments LabVIEW* programinį paketą.
2. Buvo sukurtas radijo teleskopo RT-32 antenos pozicionavimo variklių valdymo posistemės bendras architektūros modelis, bei sudaryta posistemės duomenų srautų diagrama, parodanti duomenų srautus tarp sukurtos posistemės procesų.
3. Sukurta nuotolinio valdymo (stebėsenos) posistemė su integruotu duomenų išsaugojimu, skirta radijo teleskopo RT-32 antenos kėlimo ir sukimo pozicionavimo variklių valdymo charakteristikų stebėjimui pagerinti, leidžiančią nuotoliniu būdu tiksliai valdyti pozicionavimo variklius. Buvo sukurti virtualūs instrumentai *National Instruments LabVIEW* programavimo aplinkoje, skirti: nuotoliniam valdymui, duomenų gavimui, įrašymui į failą, valdymo parametrų stebėjimui.
4. Sukurta radijo teleskopo RT-32 pozicionavimo variklių nuotolinio valdymo posistemė verifikuota ir nustatyta, kad sukurta posistemė leidžia pozicionuoti radijo teleskopą taip tiksliai, kaip leidžia lokali valdymo sistema, bei tenkina specifikuotus funkcinius ir nefunkcinius reikalavimus.
5. Naudojant gautus valdymo parametrų duomenimis buvo nustatyta, kad radialinių bazinių funkcijų neuroniniai tinklai tinka antenos atsisukimui į užduotą koordinatę tikslumui pagerinti. Tyrimo metu gauta atsisukimo trukmės (srovės impulso parametrai $U, I = const$) į užduotą poziciją (pvz. $\Delta(\alpha, \beta) = 3^\circ$) nuo prognozuotos reikšmės vidutinė kvadratinė paklaida 0.016 s yra šiai nagrinėtai sistemai (RT-32) yra maža ir nedaro įtakos kosmoso signalų išgavimui.

Ateityje planuojama praplėsti sukurtą posistemę panaudojant *NI LabVIEW* paskirstytų sistemų valdymo modulį, kurio pagalba bus sukurta sistema leidžianti sinchroniškai nuotoliniu būdu valdyti radijo teleskopų RT-32 ir RT-16 pozicionavimo variklius. Pasinaudojant debesų technologijomis padaryti radijo teleskopus lengvai pasiekiamus iš bet kurios pasaulio vietos, kur yra pakankamai spartus interneto ryšys.

Rezultatai aprobuoti moksliniuose straipsniuose: 8-os mokslinės konferencijos „Technologijos mokslo darbai vakarų Lietuvoje“ medžiagoje, tarptautinės konferencijos „Nostradamus 2013“ medžiagoje, žurnale „Soft Computing“ su IF, tarptautinės konferencijos „Baltic Applied Astrominformatics and Space data Processing“ medžiagoje, nacionalinės konferencijos „Jūros mokslai ir technologijos – 2014“ medžiagoje.

LITERATŪRA

1. Renda A. 2011. Next Generation Innovation Policy: The future of EU innovation policy to support market[interaktyvus][žiūrėta 2014 m. balandžio 1 d.]. Prieiga per internetą:<<http://www.ceps.eu/book/next-generation-innovation-policy-future-eu-innovation-policy-support-market-growth>>.
2. Smith N., et al. 2012. Engaging the public with robotic and remote telescopes. Second Workshop on Robotic Autonomous Observatories ASI Conference Series, Vol. 7, 19–207 p.
3. Drungilas D., et al. 2012. Analysis and research of integration of different remote control methods and subsystems, for development of the distributed remote control radio telescope framework. Space Research Review - 2012, Ventspils: Engineering Research Institute, Vol. 1, 149–158 p.
4. Jakovlev S., et al. 2014. Application of predictive control methods for Radio telescope disk rotation control. Soft Computing, Springer Berlin Heidelberg. Vol. 18(4), 707 – 716 p.
5. Kodilkar J., et al. 2013. Developments of next generation monitor and control systems for Radio Telescopes. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 44(1), 1–4 p.
6. Jian Wang et al., 2013. Study of central control system for FAST. Experimental Astronomy, Vol. 36(3), 569–589 p.
7. Garcia-Sanz M., et al. 2012. High-performance switching QFT control for large radio telescopes with saturation constraints. Aerospace and Electronics Conference (NAECON), 2012 IEEE National, 25-27 July 2012, 84–91 p.
8. Kaidanovskiy M. N., et al. 2012. The RT-32 Radio Telescope Pointing System. Instruments and Experimental Techniques, Vol. 55(3), 357–367 p.
9. Ruibys K., ir kt. 2012. Radijo teleskopo RT-16 variklių valdymo monitoringo posistemės, skirtos pozicionavimo sistemai, naudojant CompactRIO 9073 platformą kūrimas. Mokslinė konferencija „Technologijos mokslo darbai vakarų Lietuvoje“. Klaipėdos universitetas, 245 – 248 p.
10. Ruibys K., et al. 2013. Development of distributed real time data acquisition system for radio telescope monitoring. Space Research Review – 2013, Ventspils: Engineering Research Institute; Vol. 2, 34–41 p.
11. Basher H. A., Isa S. A. 2005. LabVIEW-based position control system with synchro. Proc. IEEE SoutheastCon 2005, Fort Lauderdale, 23–28 p.
12. Basher H. A., Isa S. A. 2006. Control of a Radio-Telescope via the Internet. SoutheastCon, 2006. Proceedings of the IEEE, 40–45 p.
13. Taha Z., et al. 2010. Application of Data Acquisition and Telemetry System into a Solar

- Vehicle. 2010 Second International Conference on Computer Engineering and Applications.[interaktyvus][žiūrėta 2014 m. balandžio 1d.], 96–100 p.
14. Zia M. T, et al. 2011. Application of LabVIEW and cRIO for high precision positioning of mars rover using DC motors. 2011 2nd International Conference on Space technology (ICST). 1–4 p.
 15. Wodek Gawronski 2007. Control and Pointing Challenges of Large Antennas and Telescopes. IEEE transactions on control systems technology, Vol. 15, NO. 2, 276–289 p.
 16. Gimmeffman, V. G., et al. 2005. Identification of radiotelescope RT-70 pointing system as object of control. 5th International Conference on Antenna Theory and Techniques. Kyiv, Ukraine, 537–543 p.
 17. Seebacher R. R., Dannerer G., Krischan. K. 2007. Injecting position dependent currents in order to reduce oscillations caused by the gearbox of a dc-motor drive. 2007 European Conference on Power Electronics, 1–9 p.
 18. Suzdalev I., Stankūnas J., 2012. Dirbtinių neuronų tinklų taikymo apžvalga. 15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminė konferencija, 2012 m. balandžio 13 d. Vilnius, 3–7 p.
 19. Rubai A., et al. 2005. Hardware Implementation of an Adaptive Network-Based Fuzzy Controller for DC-DC Converters, IEEE transactions on industry Applications, Vol. 41(6) 1557–1565 p.
 20. Jakovlev S., et al 2013. Predictive control of radio telescope using multi-layer perceptron neural network. Nostradamus 2013: Prediction, Modeling and Analysis of Complex Systems. Advances in Intelligent systems and computing - 2013, Springer International Publishing Switzerland, Vol. 210, 233–244 p.
 21. Haykin S. 1999. Neural Networks: A Comprehensive Foundation, second edition. Pearson education, India, 278–330 p.
 22. Konstantinos N., et al. 2011. Nonlinear Control of a DC-Motor Based on Radial Basis Function Neural Networks. 2011 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), IEEE, 611–615 p.
 23. Faa-Jeng Lin, et al. 2008. Robust RBFN Control for Linear Induction Motor Drive Using FPGA. IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 23(4), 2170–2180 p.
 24. Chih-Ming Hong, et al. 2013. Development of intelligent MPPT (maximum power point tracking) control for a grid-connected hybrid power generation system, Energy Vol. 50, Elsevier, 270–279 p.
 25. Milevičienė E., Šilingas D. 2005. Programinės įrangos reikalavimų pasikeitimai ir jų valdymas. [interaktyvus][žiūrėta 2014 m. balandžio 2 d.]. Prieiga per

- internetą:<http://vaidila.vdu.lt/~i5dasi/se2/straipsniai/it2005_pi_reikalavimai.doc>.
26. Bezrukovs VI., et al. 2012. Receiving and data acquisition systems of RT-32 for VLBI observations. *Latvian journal of physics and technical sciences*, Vol. 6(2), 30–42 p.
 27. Bezrukov V., et al. 2011. Starting-up the Irbene 16-m fully steerable parabolic antenna for radioastronomic observations. *Latvian journal of physics and technical sciences*, Vol. 1, 13–27 p.
 28. Technical details of radio telescope RT-32. [interaktyvus][žiūrėta 2014 m. balandžio 2 d.]. Prieiga per Internetą: <http://virac.venta.lv/en/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=33/>.
 29. Gurskas A., 2010. *Virtualieji instrumentai LabVIEW terpėje*. Vilnius: Technika.
 30. National Instruments 2012. *The Benefits of Programming Graphically in NI LabVIEW*. [interaktyvus][žiūrėta 2014 m. balandžio 2 d.]. Prieiga per internetą:<<http://www.ni.com/labview/whatis/graphical-programming/>>.
 31. Bylų persiuntimas FTP protokolu: Prisijungimas prie tolimos sistemos TELNET. [interaktyvus][žiūrėta 2014 m. balandžio 2 d.]. Prieiga per internetą:<http://ausis.gf.vu.lt/kis/kompiuterija/ftp_telnet.doc>.
 32. Šiaudinis P. 2013. *Kompiuterinių tinklų saugumo terminų aiškinamasis žodynas: "Saugus apvalkalas"* [interaktyvus][žiūrėta 2014 m. balandžio 2 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.tinklusaugumas.lt/cgi-bin/moin.py/Secure%20Shell>>.
 33. Myers B., 1999. Timing accuracy of PC programs running under DOS and Windows. *Behavior Research Methods, Instruments, Computers*, Vol. 31 (2), 322–328 p.