



VILNIAUS GEDIMINO
TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTRONINIŲ SISTEMŲ KATEDRA

Laurynas RAIŠIS

**ATVIROJO KODO SISTEMA IŠMATUOTŲ BIOLOGINIŲ SIGNALŲ
ANALIZĖS METODŲ TYRIMAS**

**INVESTIGATION OF ANALYSIS METHODS FOR BIOLOGICAL
SIGNALS MEASURED BY OPEN SOURCE SYSTEM**

Magistro baigiamasis darbas

Elektronikos studijų programa, valstybinis kodas 621H61003

Kompiuterizuotų elektroninių sistemų specializacija

Elektronikos inžinerijos studijų kryptis

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTRONINIŲ SISTEMŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(parašas)
Prof. dr. D. Navakauskas
2019 m. _____ mėn. ____ d.

Laurynas RAIŠIS

**ATVIROJO KODO SISTEMA IŠMATUOTŲ BIOLOGINIŲ SIGNALŲ
ANALIZĖS METODŲ TYRIMAS**
**INVESTIGATION OF ANALYSIS METHODS FOR BIOLOGICAL
SIGNALS MEASURED BY OPEN SOURCE SYSTEM**

Magistro baigiamasis darbas

Elektronikos studijų programa, valstybinis kodas 621H61003

Kompiuterizuotų elektroninių sistemų specializacija

Elektronikos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

prof. dr. Artūras Serackis

(pedag. vardas, moksl. laipsnis, vardas, pavardė) _____ (parašas) (data)

Lietuvių kalbos konsultantas

lekt. dr. Anželika Gaidienė

(pedag. vardas, moksl. laipsnis, vardas, pavardė) _____ (parašas) (data)

Atvirojo kodo sistema išmatuotų biologinių signalų analizės metodų tyrimas. Magistro baigiamasis darbas elektronikos inžinerijos laipsniui. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius, 2019, 54 p., 35 iliustr., 4 lent., 21 bibl., 3 priedų.

Magistro baigiamojo darbo tikslas – ištirti galimybes aptikti kibernetinės ligos momentus, kai yra žiūrimas virtualiosios realybės turinys, naudojant atvirojo kodo EEG signalų matavimo galimybes. Šiame darbe atlikta požymių skaičiavimo EEG signaluose analitinė apžvalga, apžvelgtos atvirojo kodo programos, skirtos analizuoti EEG signalus. Atliekant eksperimentinį tyrimą buvo sukurtos programos EEG signalams matuoti ir analizuoti. Tyrimui atlikti ir požymiams gauti pasirinkti statistiniai analizės metodai – aritmetinis vidurkis, standartinis nuokrypis, ekscesas, entropija, asimetrija, spektrinio galios tankio įvertinimas. Tyrimo metu gauti požymiai buvo analizuojami trejais metodais – rankiniu būdu, ANOVA ir kryžmine koreliacija. Magistro baigiamojo darbo metu nustatyta, kad naudojant atvirojo kodo sistemą negalima išmatuoti kibernetinės ligos momentų.

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Elektronikos fakultetas
Elektroninių sistemų katedra

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

Antrosios pakopos studijų **Elektronikos inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Atvirojo kodo sistema išmatuotų biologinių signalų analizės metodų tyrimas**

Autorius **Laurynas Raišis**

Vadovas **Artūras Serackis**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Magistro baigiamojo darbo tikslas - ištirti galimybes aptikti kibernetinės ligos momentus, kai yra žiūrimas virtualiosios realybės turinys, naudojant atvirojo kodo EEG signalų matavimo galimybes. Šiame darbe atlikta požymių skaičiavimo EEG signaluose analitinė apžvalga, apžvelgtos atvirojo kodo programos, skirtos analizuoti EEG signalus. Atliekant eksperimentinį tyrimą buvo sukurtos programos EEG signalams matuoti ir analizuoti. Tyrimui atlikti ir požymiams gauti pasirinkti statistiniai analizės metodai - aritmetinis vidurkis, standartinis nuokrypis, ekscesas, entropija, asimetrija, spektrinio galios tankio įvertinimas. Tyrimo metu gauti požymiai buvo analizuojami trejais metodais - rankiniu būdu, ANOVA ir kryžmine koreliacija. Magistro baigiamojo darbo metu nustatyta, kad naudojant atvirojo kodo sistemą negalima išmatuoti kibernetinės ligos momentų. Atvirojo kodo sistema išmatuotų biologinių signalų analizės metodų tyrimas. Magistro baigiamasis darbas elektronikos inžinerijos laipsniui. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius, 2019, 54 p., 35 iliustr., 4 lent., 21 bibl., 3 priedų.

Prasminiai žodžiai: EEG, ANOVA, kryžminė koreliacija, virtualioji realybė, statistiniai metodai, atvirojo kodo sistema

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Electronics
Department of Electronic Systems

ISBN ISSN
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Electronics Engineering** study programme Master Graduation Thesis

Title **Investigation of Analysis Methods for Biological Signals Measured by Open Source System**

Author **Laurynas Raišis**

Academic supervisor **Artūras Serackis**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The aim of Master's degree thesis is to investigate cybersickness detection methods using open source measuring system when watching virtual reality content. In this final thesis an analytical analysis of feature extraction methods in EEG signals were made and open source programs used in EEG signal analysis were reviewed. During experimental research two programs were made for EEG signal acquisition and analysis. Statistical analysis methods were chosen for EEG signal feature calculation, such as mean, standard deviation, kurtosis, entropy, skewness and spectral density estimation. Three methods were used for feature comparison - manual, ANOVA and cross-correlation. In this Master's degree thesis the study found that it is not possible to detect cybersickness moments when using open source system. Investigation of Analysis Methods for Biological Signals Analysis Measured By Open Source System. Master's Thesis for Electronic Engineering. Vilnius Gediminas Technical University. Vilnius, 2019, 54p., 35 figures, 4 tables, 21 bibl. entries, 3 appendixes.

Keywords: EEG, ANOVA, cross-correlation, virtual reality, statistical methods, open source system

TURINYS

Žymenys ir santrumpos	6
Santrumpos:	6
Žymenys:.....	6
Ivadas	7
Darbo aktualumas ir tikslas.....	7
Darbo uždaviniai	7
Naudoti tyrimo ir analizės metodai	7
Darbo naujumas ir praktinė nauda	7
Darbo struktūra	8
1. Požymių EEG signaluose išskyrimo metodų analitinė apžvalga	9
1.1. Elektroencefalografijos signalų išankstinis apdorojimas.....	9
1.2. Elektroencefalografijos signalų požymių išskyrimo algoritmai	9
1.2.1. Greitosios Furjė transformacijos algoritmas.....	10
1.2.2. Bangelių transformacijos požymių išskyrimo algoritmas	10
1.2.3. Autoregresyvus požymių išskyrimo algoritmas	11
1.3. EEG signalų klasifikavimo metodai	11
1.3.1. Tiesiniai klasifikatoriai	11
1.3.2. Klasifikavimas naudojant neuronų tinklus	13
1.4. Analogiškų programų analizė	13
1.5. Trumpas skyriaus apibendrinimas	17
2. Žmogaus reakcijos į vizualizavimą virtualiojoje realybėje statistinio metodo analizė	18
2.1. Aritmetinis vidurkis	18
2.2. Standartinis nuokrypis	18
2.3. Ekscesas	19
2.4. Entropija.....	20
2.5. Asimetrija.....	20
2.6. Trumpas skyriaus apibendrinimas	21
3. Tyrimų scenarijaus sudarymas ir duomenų eksperimentiniams tyrimams atranka	22
3.1. Eksperimentiniams tyrimams atlikti naudojama techninė įranga	22
3.2. Tyrimo scenarijaus sudarymas.....	22
3.2.1. Elektroodų išdėstymo galvos srityje parinkimas	22
3.2.2. Virtualiosios realybės žaidimų parinkimas.....	24
3.2.3. Virtualiosios realybės žaidimų eiliškumo ir režimo sudarymas	24
3.3. Trumpas skyriaus apibendrinimas	25
4. EEG signalų analizės metodo eksperimentinis tyrimas	26
4.1. Programinės įrangos duomenims nuskaityti kūrimas	26
4.2. Maketo kūrimas kibernetinės ligos momentams fiksuoti realiuoju laiku	32
4.3. Programinės įrangos EEG signalams analizuoti kūrimas	33
4.3.1. Išankstinis signalų apdorojimas.....	35
4.3.2. Požymių išskyrimas iš signalų.....	37
4.3.3. Požymių analizavimas	40
4.4. Rankiniu būdu užfiksuotų kibernetinės ligos momentų rezultatai.....	42
4.5. Išankstinio signalų apdorojimo rezultatai	42
4.6. Spektrinio galios tankio analizės rezultatai.....	44
4.7. Statistinės analizės rezultatai	47
4.7.1. Kryžminės koreliacijos rezultatai	48
4.7.2. ANOVA rezultatai	49
4.8. Trumpas skyriaus apibendrinimas	50

Apibendrinimas. Išvados	51
Literatūra	54
PRIEDAI	56
A priedas. Eksperimentiniams tyrimams naudotos programos išeities kodas	56
B priedas. Pranešimo 22-oje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje medžiaga	56
C priedas. Spektrinio galios tankio grafikai	60

ŽYMENYS IR SANTRUMPOS

Santrumpos:

- ANOVA – dispersijos analizė
- EEG – elektroencefalografija
- ICA – nepriklausomų komponentų analizė (angl. *Independent Component Analysis*)

Žymenys:

- μ^4 – ketvirtosios eilės centrinis momentas
- μ^3 – trečiosios eilės centrinis momentas
- σ – standartinis nuokrypis
- a_i – modelio parametrų vertė
- $e[n]$ – baltojo triukšmo vertė
- E – matematinė viltis
- N – atskaitų skaičius
- $x[n - i]$ – ankstesnė signalo vertė
- $\bar{x}$ – analizuojamo viso signalo ar jo dalies vidurkis

ĮVADAS

Darbo aktualumas ir tikslas

Virtualioji realybė – tai sparčiai šiame dešimtmetyje išpopuliarėjusi technologija, kuri sulaukė susidomėjimo visame pasaulyje. Tačiau ši naujovė turi trūkumų. Vienas iš jų yra virtualiosios realybės žaidėjui kylanti kibernetinė liga (angl. *cybersickness*), kuri pasireiškia pykinimu, prakaitavimu, galvos svaigimu ir nuovargiu. Dėl šios ligos dalis žmonių negali visiškai žiūrėti jokio arba specifinio virtualiosios realybės turinio. Todėl reikia ieškoti metodų, leidžiančių užfiksuoti kibernetinės ligos momentus, kuriuos būtų galima panaudoti tobulinant virtualiosios realybės technologiją.

Magistro baigiamojo darbo tikslas – ištirti galimybes aptikti kibernetinės ligos momentus, kai yra žiūrimas virtualiosios realybės turinys, naudojant atvirojo kodo EEG signalų matavimo galimybes. Iki šiol Lietuvoje nieko nebuvo atlikta tema, susijusia su kibernetinės ligos aptikimu iš EEG signalų. Pasaulyje šia tema yra atlikta keletas mokslinių tyrimų. Tyrinėta, kaip EEG signalai kinta žmonėms, sergantiems išsėtine skleroze (angl. *multiple sclerosis*) [1], kai virtualiojoje aplinkoje yra žiūrimas vairavimo simulatorius, kaip keičiasi EEG ir ECG signalai, kintant kibernetinės ligos intensyvumui [2].

Darbo uždaviniai

- Atlikti požymių skaičiavimo EEG signaluose metodų analitinę apžvalgą.
- Paruošti eksperimentinių tyrimų maketą virtualiosios realybės akinius naudojančio žaidėjo EEG signalams matuoti.
- Eksperimentiškai ištirti, kaip kinta EEG signalai žiūrint virtualiosios realybės turinį.

Naudoti tyrimo ir analizės metodai

Darbui atlikti buvo pasirinkta naudoti statistinės analizės požymių išskyrimo metodus, tokius kaip – aritmetinis vidurkis, standartinis nuokrypis, ekscesas, entropija, asimetrija ir spektrinis galios tankis. Šiems požymiams analizuoti buvo pasitelktas signalų apdorojimo kryžminės koreliacijos metodas ir statistinės analizės modelis ANOVA. Taip pat buvo parengtas eksperimentinių tyrimų maketas virtualiosios realybės akinius naudojančio žaidėjo EEG signalams matuoti. Tyrimo metu eksperimentiškai buvo surinkti duomenys.

Darbo naujumas ir praktinė nauda

Priežastis, dėl ko ši tema yra aktuali šiais laikais yra tai, kad virtualioji realybė atranda naujų unikalių panaudojimo sričių, tokių kaip virtualus architektūros projektų atvaizdavimas, dalyvavimas

muzikos koncerte jame nebūnant, robotų kūrimas daugiadimensinėje erdvėje, kurių negalima įgyvendinti įprastinėmis atvaizdavimo technologijomis. Nors virtualioji realybė šiuo metu yra dažniausiai naudojama pramogų srityje (virtualiosios realybės žaidimai ir 3D kinas), ši technologija gali būti pritaikyta psichologijoje, medicinoje ir darbo praktikos aplinkai simuliuoti.

Psichologijoje virtualioji realybė yra naudojama nerimo sutrikimams ir baimėms gydyti [3, 4]. Medicinoje ši technologija yra pritaikoma chirurgams mokytis [5], fizinei reabilitacijai atlikti [6, 7], Parkinsono ligai gydyti [8]. Darbo aplinka gali būti simuliuojama sveikatos, saugumo ir mokymo tikslais, kur darbuotojas gali mokytis nejausdamas baimės padaryti klaidų. Pavyzdžiui, virtualioji realybė gali būti pritaikyta astronautams [9–11], šachtininkams mokytis [12], skrydžių simuliacijoms atlikti [13, 14], architektūrai projektuoti [15], mokytis vairuoti [16, 17].

Darbo struktūra

Magistro baigiamojo darbo struktūrą sudaro požymių EEG signaluose išskyrimo metodų analitinė apžvalga, kurioje apžvelgiami naudojami metodai bei sukurtos programos EEG signalų analizei. Žmogaus reakcijos į vizualizavimą virtualiojoje realybėje statistinio metodo analizės skyriuje apžvelgiami pasirinkti statistinė analizės metodai, kurie taikomi atliekant eksperimentinį tyrimą. Tyrimų scenarijaus sudarymo ir duomenų eksperimentiniams tyrimams atrankos skyriuje pateikta naudojama techninė įranga, sudaryta matavimų metodika ir pateiktas planas. EEG signalų analizės metodo eksperimentinio tyrimo dalyje pateikti programos kūrimo etapai, naudotos funkcijos, detalai aprašyti naudoti požymių tinkamumo patikrinimo metodai. Magistro baigiamojo darbo išvadose atsakyta į klausimą, ar įmanoma išmatuoti kibernetinės ligos simptomų momentus, kylančius žiūrint virtualiosios realybės turinį, naudojant atvirojo kodo sistemą.

1. POŽYMIŲ EEG SIGNALUOSE IŠSKYRIMO METODŲ ANALITINĖ APŽVALGA

Šis skyrius skirtas analitinei literatūros apžvalgai: analogiškiems įrenginiams, programoms, sistemoms aptarti, įvertinti, analizuoti (schemotechniniame, programiniame ar sisteminiame lygmenyse), palyginti tarpusavyje ir su tiriamu (kuriamu) įrenginiu, programa ar sistema. Pagrindinis apžvalgos tikslas – atskleisti tiriamo (kuriamo) įrenginio, programos ar sistemos vietą tarp analogų ir pasirinkti darbo užduotyje iškeltų uždavinių sprendimo būdus.

1.1. Elektroencefalografijos signalų išankstinis apdorojimas

Matuojant EEG signalus, yra naudojamas neinvazinis matavimo būdas (signalai matuojami ant žmogaus galvos odos pridedant elektrodus). Šiuo metodu gauti signalai yra vos kelių mikrovoltų diapozono. Kadangi išmatuoti signalai yra labai silpni, prieš atliekant požymių išskyrimą ir klasifikavimą, signalai turi būti daug kartų sustiprinti. Tačiau kartu su išmatuotais naudingais signalais yra išmatuojami ir nenaudingi triukšmai – akies, veido raumenų sukurti signalai arba į kitas kūno dalis siunčiami signalai, skirti atlikti motorinius judesius. Todėl yra reikalingas išankstinis signalų apdorojimas triukšmams pašalinti [18].

Išankstinis EEG signalų apdorojimas turi pašalinti iš išmatuoto naudingo signalo nenaudingus triukšmus. Šią užduotį apsunkina tai, kad gautų triukšmų amplitudės būna daug didesnės nei EEG signalų, todėl atsiranda didelė tikimybė prarasti naudingą signalo informaciją. Šiems triukšmams pašalinti, galima panaudoti žemų, aukštų dažnių ir juostinius filtrus. EEG signalams tinkamiausias yra nepriklausomų komponentių analizės (angl. *Independent Component Analysis* (ICA)) algoritmas. Tačiau kartais šių triukšmų panaikinti yra neįmanoma, todėl nepageidaujamus triukšmus tenka rankiniu būdu pašalinti iš signalo.

Nepriklausomų komponentių analizės algoritmas – tai skaičiavimo metodas, skirtas išskaidyti sudėtinį signalą į jo subkomponentes. Norint pritaikyti šį algoritmą, turi būti padarytos dvi prielaidos. Pirmoji – signalai turi būti vienas nuo kito nepriklausomi, antroji – signalo vertės yra ne Gauso skirstiniai. Šiuo metodu išskaidžius signalus į skirtingas subkomponentes, galima atmesti nereikalingas triukšmo vertes, paliekant tik naudingą signalą. Gautas naudingas signalas toliau yra apdorojamas kitais metodais.

1.2. Elektroencefalografijos signalų požymių išskyrimo algoritmai

Atliekant EEG signalų analizę reikia iš jų išgauti naudingą informaciją. Jai gauti yra pasitelkiami įvairūs matematiniai metodai. Šiame poskyryje aptarsiu kelis dažniausiai naudojamus metodus – greitąją Furjė transformaciją, bangelių transformaciją ir autoregresyvųjį požymių išskyrimo metodus.

1.2.1. Greitosios Furjė transformacijos algoritmas

Vienas iš algoritmų, naudojamų analizuojant EEG yra greitoji Furjė transformacija [19]. Šiuo metodu analizuojant EEG, signalas yra paverčiamas iš laiko srities į dažnių sritį. Pavertus signalą į dažnių sritį, atsiranda galimybė išskirti skirtingus dažnių ruožus, kurie atitinka skirtingas EEG signalų rūšis. Toliau panaudojant klasifikatorius, skirtingi dažnių ruožai yra priskiriami skirtingoms klasėms.

Privalumai, išskiriant požymius greitosios Furjė transformacijos metodu:

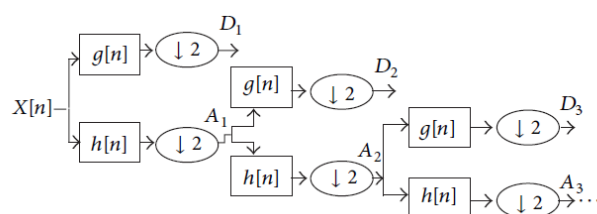
- Labai gerai tinka apdoroti stacionarius signalus.
- Gerai tinka apdoroti siaurajuosčius signalus.
- Realiojo laiko taikymams šis algoritmas yra greičiausias.

Trūkumai išskiriant požymius greitosios Furjė transformacijos metodu:

- Prastai analizuoja nestacionarius signalus.
- Netinka analizuoti trumpus EEG signalus.
- Jautrus triukšmui.

1.2.2. Bangelių transformacijos požymių išskyrimo algoritmas

Bangelių transformacijos algoritmas yra vienas iš tinkamiausių EEG signalo apdorojimo priemonių, norint išskirti signalo požymius [19, 20]. Šis metodas ypatingas tuo, kad leidžia dirbti su nestacionariais EEG signalais. Bangelių transformacijos metodas turi lankstesnę signalo atvaizdavimo būdą laikinėje ir dažninėje srityse, kadangi šiam metodui galima pritaikyti kintamo lango funkciją. Tai reiškia, kad žemo dažnio signalams gali būti naudojamas ilgos trukmės langas, o aukšto dažnio signalams yra naudojamas trumpos trukmės langas. Toks lango funkcijos trukmės keitinėjimas leidžia gauti detalesnę dažnių raišką.



1.1 pav. Bangelių transformacijos panaudojimas signalui išskaidyti

1.1 paveiksle yra pavaizduotas bangelių transformacijos metodas. Čia $g[n]$ yra aukšto dažnio filtras; $h[n]$ yra žemo dažnio filtras; D_n yra išskaidyto signalo komponentės. Matome, kad bangelių transformacijos metodas naudoja aukštų dažnių filtrą išskirti pirmajam požymiui. Žemų dažnių filtras yra naudojamas gauti likusiai signalo daliai, iš kurios bus išgaunamas kitas požymis.

Bangelių transformacijos metodo privalumai:

- Turi keičiamo dydžio lango funkciją, kuri yra plati žemuose dažniuose ir siauria aukštuose.
- Geriau tinka apdoroti staigius ir trumpalaikius signalo pasikeitimus.

Bangelių transformacijos metodo trūkumai:

- Reikia daug kompiuterinių resursų skaičiavimams atlikti.
- Sunkiau interpretuoti rezultatus, lyginant su kitais metodais.

1.2.3. Autoregresyvus požymių išskyrimo algoritmas

Šis požymių išskyrimo algoritmas apskaičiuoja EEG signalo spektrinį galios tankį, naudodamas parametrinius metodus [19, 20]. Autoregresyvaus metodo privalumas, skirtingai nuo neparametrinių metodų – turi didesnę dažnio raišką. Autoregresyvaus metodo esmė – esamos šio signalo vertės tiesiškai priklauso nuo ankstesnių to paties signalo verčių ir nepriklausomų komponentų. Šiuo atveju nagrinėjant EEG signalus nepriklausoma komponentė yra baltasis triukšmas. Tokį EEG signalų prognozavimą galima aprašyti formule:

$$x[n] = \sum_{i=1}^{p_t} a_i x[n-i] + e[n], \quad (1.1)$$

čia $e[n]$ yra baltojo triukšmo vertė; a_i – modelio parametru vertė; $x[n-i]$ – signalo ankstesnė vertė.

Autoregresyvaus požymių išskyrimo algoritmo privalumai:

- Autoregresyvus metodas duoda geresnę dažnių raišką.
- Labai gerai tinka analizuoti trumpiems signalams.

Autoregresyvaus požymių išskyrimo trūkumai:

- Sunku pasirinkti modelio parametru vertę.
- Prastas spektrinis dažnių tankis, kai parenkamos netinkamos modelio parametru vertės.
- Jautrus dideliems signalo svyravimams.

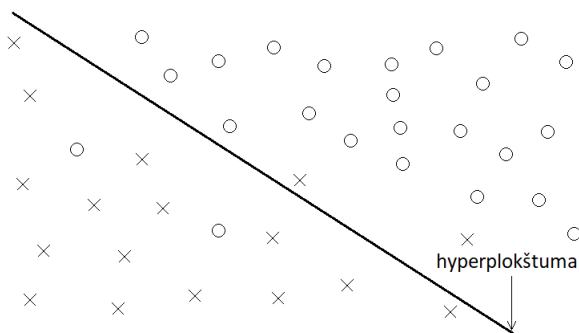
1.3. EEG signalų klasifikavimo metodai

Atlikus EEG signalų požymių išskyrimą, tolimesnis veiksmas yra jų klasifikavimas. Klasifikuojant visų pirma būna aprašomos klasės, į kurias bus suskirstomi požymiai. Toliau naudojant klasifikatorius šie požymiai yra priskiriami vienai ar kitai klasei. Dažniausiai naudojami klasifikatoriai yra tiesiniai, atraminių vektorių (angl. *support vector machines*) ir neuronų tinklai.

1.3.1. Tiesiniai klasifikatoriai

Tiesiniai klasifikatoriai yra diskriminanto algoritmai, kurie naudoja tiesines funkcijas klasėms atskirti. Šis klasifikatorius yra bene populiariausias ir paprasčiausias iš visų naudojamų EEG signalų klasifikatorių. Yra išskiriamos dvi pagrindinės tiesinių klasifikatorių grupės: tiesinė diskriminanto analizė ir atraminiai vektorių klasifikatoriai.

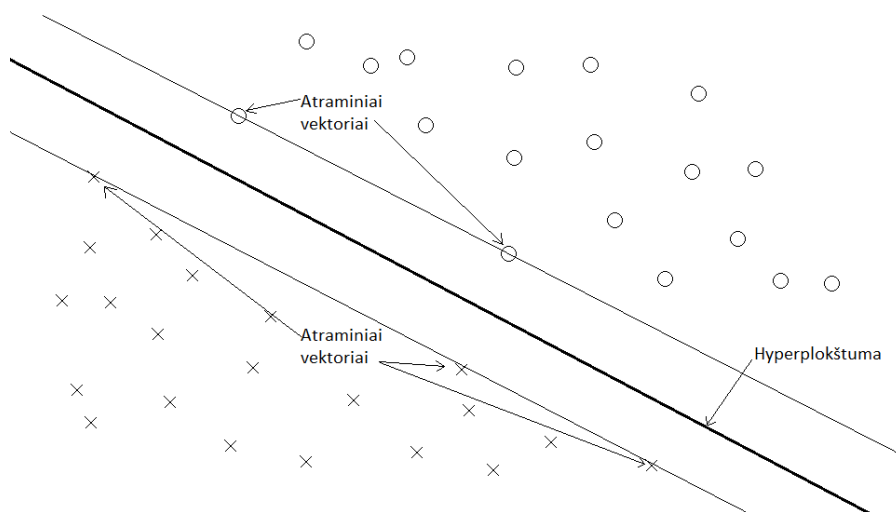
Tiesinių klasifikatorių analizei yra naudojamos hyperplokštumos, kurios skirtos atskirti skirtingas duomenų klases [21]. Jeigu yra nagrinėjami duomenys, sudaryti iš dviejų klasių, plokštumoje yra išdėstomi šių klasių duomenys ir atskiriami hyperplokštuma, tokiu būdu plokštuma padalinama į dvi skirtingas dalis. Jeigu yra klasifikuojami duomenys, kurie turi daugiau nei dvi klases, tokiu atveju yra naudojama daugiau nei viena hyperplokštuma. Šis klasifikatorius nereikalauja daug kompiuterinių resursų, taip pat juo nesunku naudotis ir duoda gerų rezultatų.



1.2 pav. Hyperplokštuma, atskirianti dvi klases – rutuliukus ir kryžiuokus

1.2 paveiksle parodytas tiesinės diskriminanto analizės metodas, kuriame išdėstyti duomenys, atitinkantys rutuliukus ir kryžiuokus. Šie duomenys yra atskirti hyperplokštuma. Matome, kad šis metodas klasifikuoja netobulai, kadangi keli rutuliukai ir kryžiuukai yra ne jiems skirtoje hyperplokštumos pusėje.

Atraminis vektorių klasifikatorius taip pat naudoja hyperplokštumas [21]. Tačiau pagrindinis skirtumas nuo tiesinio diskriminanto klasifikavimo yra tai, kad atraminis vektorių klasifikatorius duomenis klasifikuoja parinkdamas hyperplokštumą taip, kad būtų paliktas kiek įmanoma didesnis atstumas nuo skirtingų klasių artimiausių verčių. Tam tikslui pasiekti yra panaudojami papildomi pagalbiniai vektoriai.



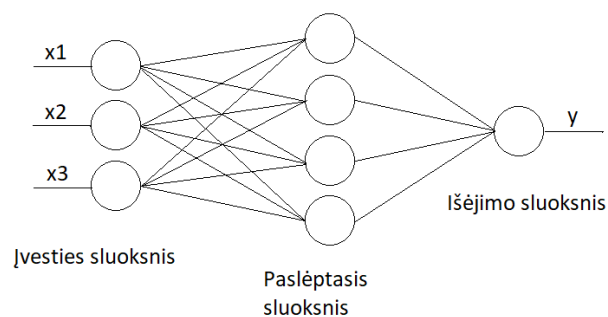
1.3 pav. Atraminų vektorių klasifikatorius randa optimaliausią hyperplokštumą

1.3 paveiksle parodyta, kaip yra parenkama optimali hyperplokštuma, skirta dviejų klasių duomenims klasifikuoti. Matome, kad yra brėžiami du pagalbiniai vektoriai, kurie eina per

tolimiausius duomenų taškus. Tokiu būdu per vidurį yra brėžiama optimali hyperplokštuma, nutolusi vienodu atstumu nuo pagalbinių vektorių. Lyginant su tiesinės diskriminanto analizės klasifikatoriumi, atraminių vektorių klasifikatoriaus pranašumas yra didesnis tikslumas.

1.3.2. Klasifikavimas naudojant neuronų tinklus

Neuronų tinklai taip pat populiarus ir plačiai naudojamas požymių klasifikavimo metodas. [21]. Šiam klasifikatoriui sukurti dažniausiai yra naudojami daugiasluoksniai perceptronai. Daugiasluoksniai perceptronai yra sudaryti iš kelių sluoksnių neuronų: įvesties sluoksnio, vieno ar daugiau paslėptųjų sluoksnių ir išėjimo sluoksnio.



1.4 pav. Daugiasluoksnio perceptrono modelis

1.4 paveiksle yra pavaizduotas daugiasluoksnio perceptrono modelis. Iš čia matyti, kad kiekvieno neurono išėjimas yra sujungtas su kiekvienu sekančio sluoksnio neuronu. Šio daugiasluoksnio perceptrono išėjime yra gaunamas požymių vektorius, pagal kurį yra atliekamas signalų klasifikavimas.

Pagrindinės priežastys, kodėl daugiasluoksniai neuronų tinklai gerai tinka požymiams klasifikuoti – jų lankstumas ir universalus aproksimavimas. Jeigu kuriant neuronų tinklą yra panaudojama pakankamai daug neuronų tinklo lygmenų, šis klasifikatorius gali suklasifikuoti bet kokį klasių skaičių, darydamas mažai klaidų.

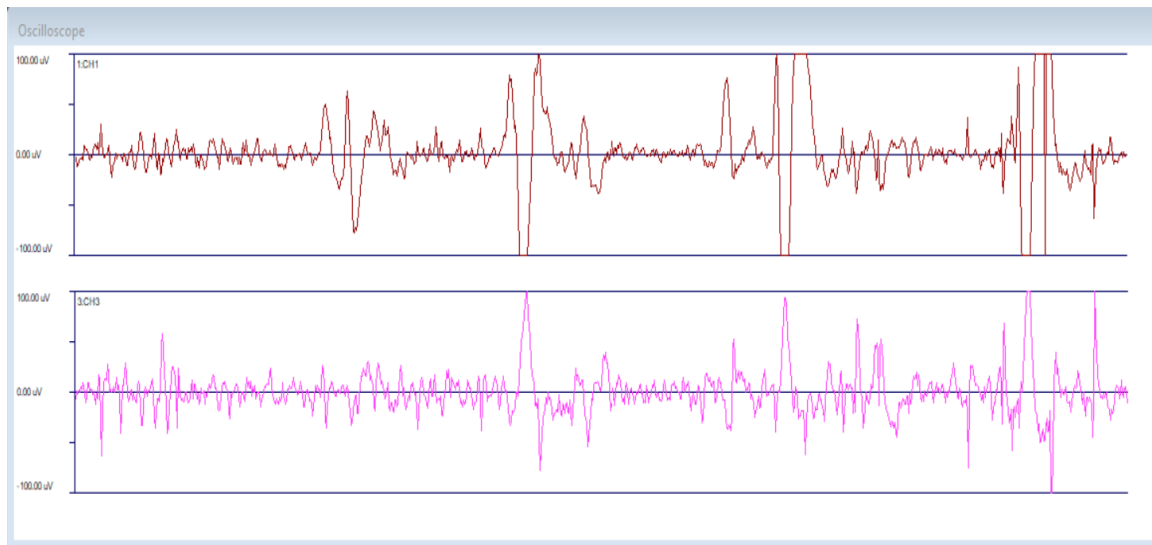
1.4. Analogiškų programų analizė

EEG signalams matuoti yra naudojama atvirojo kodo sistema „Olimex EEG-SMT“, turinti du diferencinius kanalus. Prie šios sistemos galima prijungti keturis aktyviuosius elektrodus, skirtus signalams matuoti. Išmatuotus signalus ši sistema perduoda per USB sąsają į kompiuterį, kur toliau jie yra analizuojami atvirojo kodo programa. Programinės įrangos analizei pasirinktos trys skirtingos atvirojo kodo sistemos: „Electric Guru“, „BrainBay“ ir „OpenVibe“.

▪ Atvirojo kodo programa „BrainBay“

Viena iš programų, palaikančių atvirojo kodo sistemas, yra „BrainBay“. Analizuojama atvirojo kodo programa turi tokias funkcijas, kaip: skaitmeniniai filtrai, greitoji Furjė transformacija,

matematinės funkcijos (koreliacija, slenksčio funkcija, vidurkio skaičiavimas ir kita), informacijos įrašymas į elektroninę laikmeną ir nuskaitymas iš jos, žmogaus-kompiuterio sąveikos funkcijos (pelė, klaviatūra), oscilogramų bei kitos informacijos grafinis atvaizdavimas.



1.5 pav. Programa „BrainBay“ gautos EEG oscilogramos

1.5 paveiksle yra pavaizduotos EEG būdu gautos oscilogramos. Šios oscilogramos buvo matuojamos žmogui esant ramybės būsenoje. Viršutinė oscilograma atvaizduoja pirmojo kanalo matavimus (matuojama priekinėje galvos dalyje), apatinė – antrojo kanalo (matuojama galinėje galvos dalyje). Iš čia matyti, kad pirmoji ir antroji oscilogramos yra skirtingos. Tai reiškia, kad šie elektrodai gana gerai izoliuoja skirtingų galvos dalių skleidžiamus signalus. Tačiau iš šių oscilogramų yra gana sudėtinga gauti naudingos informacijos, todėl analizuojant taip pat yra naudojamas atvirojo kodo programoje pateikta greitoji Furjė transformacija su signalo spektro atvaizdavimo funkcija.



1.6 pav. Galinės galvos dalies EEG signalo spektras

1.6 paveiksle pavaizduota EEG signalo spektras. Šis spektras yra gautas, kai žmogus sėdi ramybės būsenoje. Ramybės būseną atitinka Alfa grupės bangos, kurios yra išmatuojamos nuo 7,5 iki 12 Hz ruože. Iš spektro matyti, kad Alfa bangų dažnių ruože yra matomas žymus amplitudės

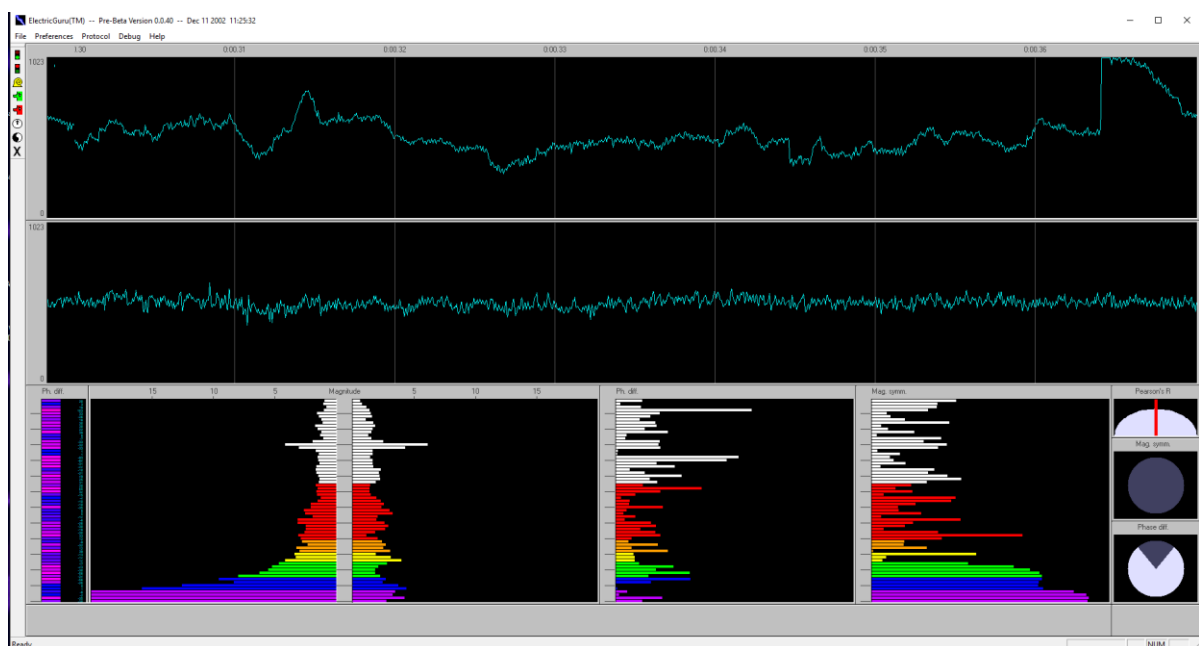
išaugimas. Tačiau taip pat yra matomas Delta (0,5–3,5 Hz) bangų sustiprėjimas. Šios rūšies bangos yra išmatuojamos, kai žmogus yra giliai miega.

	A	B	C
1	-6524	-1787	
2	25	47	
3	6	-11	
4	29	8	
5	29	7	
6	41	41	
7	24	58	
8	4	17	
9	36	11	
10	38	22	
11	62	72	
12	41	60	

1.7 pav. Programa „BrainBay“ išsaugotų duomenų pavyzdys

Programa „BrainBay“ turėjo tris problemas. Pirmoji – programai ne visada pavykdavo prisijungti prie matavimams skirto prietaiso. Dėl to programa negalėjo nuskaityti siunčiamų duomenų iš prietaiso ir EEG signalas nebuvo išsaugomas. Antroji problema – neaiškus duomenų saugojimo formatas (žr 1.7 pav.). Tais atvejais, kai programai pavykdavo prisijungti prie matavimams skirto prietaiso ir nuskaitytus duomenis išsaugoti, analizuojant gautus signalus nebuvo aišku, kurie duomenys priklauso pirmajam kanalui, kurie antrajam. Atskirti kanalų nebuvo įmanoma kadangi saugomame .csv formate duomenų stulpeliai neturi pavadinimų. Trečioji problema – nėra galimybės patikrinti, ar „BrainBay“ spėja iš USB buferio nuskaityti visus siunčiamus duomenis. Kadangi prietaisas, siųsdamas dviejų kanalų duomenis, perduoda atskaitos numerį, yra galimybė patikrinti, ar nuskaitymo metu nėra prarandami paketai. Tačiau ši programa tokios informacijos nepateikia.

■ Atvirojo kodo programa „Electric Guru“

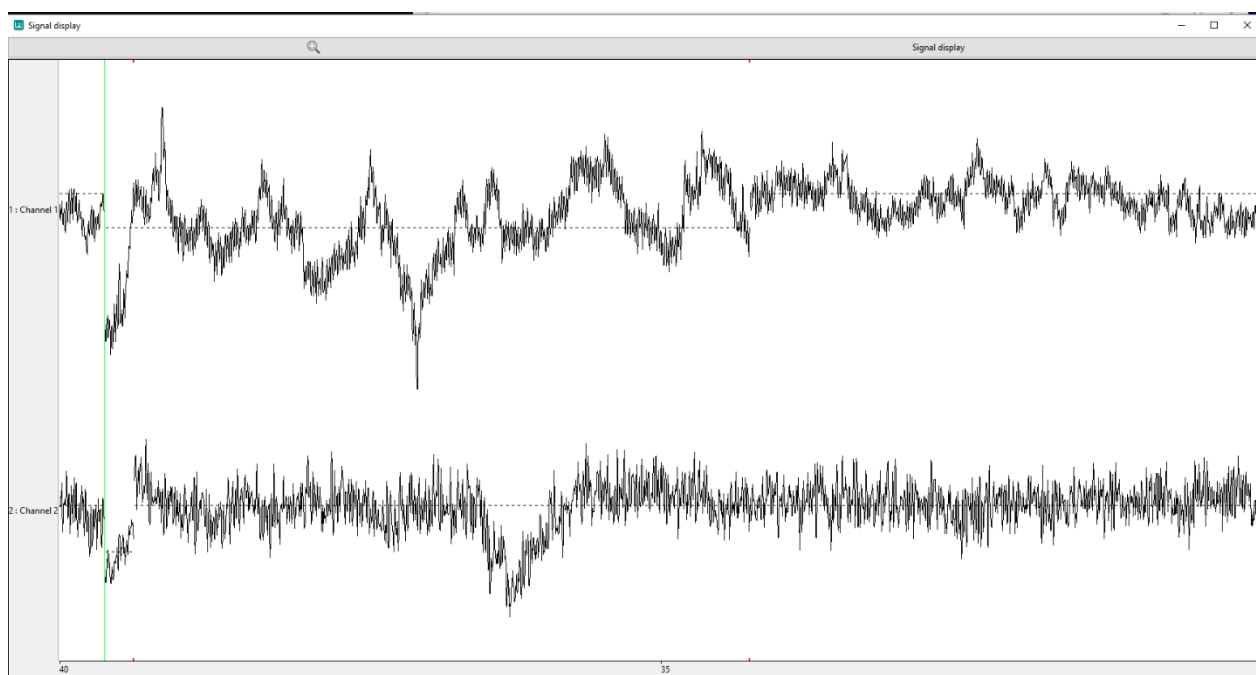


1.8 pav. Programos „Electric Guru“ pradžios vaizdas

Kita programa, skirta analizuoti EEG signalus yra „Electric Guru“. Skirtingai nuo prieš tai analizuotos programos, su šia galima naudoti tik vienintelę atvirojo kodo sistema – „Olimex EEG-SMT“. Lyginant su „BrainBay“ programa, ši turi daug mažiau funkcijų, leidžiančių analizuoti EEG signalus. „Electric Guru“ programos funkcijos: oscilogramos, spektro, fazių skirtumo atvaizdavimas, Pirsono koreliacijos skaičiavimas ir amplitudės simetriškumo tikrinimas. Visos šios funkcijos yra atvaizduojamos ir atliekamos realiuoju laiku. Šioje programoje yra pasigendama daugiau įrankių, leidžiančių analizuoti signalus ir galimybės juos išsaugoti ar nuskaityti iš elektroninės laikmenos.

1.8 paveiksle yra pavaizduotas „Electric Guru“ programos langas su realiuoju laiku matuojamais EEG signalais. Viršutinėje programos dalyje yra atvaizduojamos pirmojo ir antrojo kanalo oscilogramos, o žemiau iš šių signalų gauti parametrai. Apatinėje kairiojoje pusėje, vertikalia histograma, realiuoju laiku yra atvaizduojami pirmojo ir antrojo kanalo signalų spektro ruožų amplitudės. Iš viso spektras yra išskaidomas į 7 dažnių ruožus: delta, teta, alfa, beta žemi, beta vidutiniai, beta aukšti ir gama. Šių ruožų dažnius vartotojas gali pats pasirinkti. Spektrui gauti programa atlieka greitąją Furjė transformaciją. Vartotojas turi keletą parametrų pasirinkimų šiai transformacijai atlikti, tokių kaip atskaitų skaičius per sekundę (64, 128 arba 256) ir lango funkcijos tipas (Hamming, Hann arba Bartlett).

- Atvirojo kodo programa „OpenVibe“



1.9 pav. Programa „OpenVibe“ realiuoju laiku atvaizduojamas EEG signalas

Paskutinė analizuojama programa skirta dirbti su EEG signalais yra „OpenVibe“. Ši programa, lyginant su jau nagrinėtomis programomis, turi daugiausiai funkcijų. Su „OpenVibe“ galima atlikti signalų filtravimą ir apdorojimą, požymių išskyrimą ir klasifikavimą realiuoju laiku bei nuskaityti iš

elektroninės laikmenos. Taip pat yra galimybė grafiškai atvaizduoti gautus rezultatus. Be to, ši programa palaiko daug uždarojo ir atvirojo kodo EEG matavimo sistemų.

	A	B	C	D
1	Time (s)	Channel 1	Channel 2	Sampling Rate
2	0.00E+00	7.00E+00	5.50E+01	256
3	3.91E-03	1.00E+00	5.00E+01	
4	7.81E-03	-4.00E+00	6.00E+00	
5	1.17E-02	1.80E+01	-1.20E+01	
6	1.56E-02	3.90E+01	-8.00E+00	
7	1.95E-02	4.50E+01	3.50E+01	
8	2.34E-02	2.30E+01	4.70E+01	
9	2.73E-02	1.60E+01	5.00E+00	
10	3.13E-02	2.70E+01	2.10E+01	
11	3.52E-02	2.40E+01	4.50E+01	
12	3.91E-02	3.00E+01	8.60E+01	
13	4.30E-02	6.00E+00	3.90E+01	
14	4.69E-02	-1.00E+01	-2.20E+01	
15	5.08E-02	4.00E+00	1.40E+01	

1.10 pav. Programos „OpenVibe“ išsaugomų duomenų pavyzdys

Programa „OpenVibe“ turi dvi problemas. Pirmoji – ši programa visiškai nepalaiko .csv formato. 1.10 paveiksle yra pavaizduotas įrašytas į .csv failą EEG signalas. Iš čia matyti, kad programa konvertuoja signalo atskaitas į teigiamus ir neigiamus skaičius slankiojo kablelio formatu. Išsaugodama .csv formatu, ši programa išsaugo ne skaičių, o simbolių eilutę. Tačiau EEG signalams matuoti naudojamas prietaisas siunčia sveikuosius teigiamus skaičius. Antroji problema tokia pati, kaip ir „BrainBay“ – nėra galimybės patikrinti, ar nuskaitymo metu nėra prarandami matavimo prietaiso siunčiami paketai, kadangi programa nesaugo atskaitų .csv faile.

1.5. Trumpas skyriaus apibendrinimas

Požymių EEG signaluose išskyrimo metodų analitinės apžvalgos skyriuje buvo aptarti naudojami išankstiniai EEG signalų apdorojimo metodai. Nustatyta, kad signalų filtravimas, nepriklausomų komponentų analizė ir rankinis triukšmų atmetimas yra dažniausiai naudojami metodai, skirti EEG signalų analizei atlikti. Aptarti požymių išskyrimo ir klasifikavimo metodai. Taip pat apžvelgtos naudojamos atvirojo kodo programos, skirtos EEG signalų analizei. Aprašytos pagrindinės šių programos funkcijos ir trūkumai, dėl kurių yra pasirinkta kurti savo programinę įrangą.

2. ŽMOGAUS REAKCIJOS Į VIZUALIZAVIMĄ VIRTUALIOJOJE REALYBĖJE STATISTINIO METODO ANALIZĖ

Moksliniuose tyrimuose statistiniai metodai yra labai dažnai taikomas metodas duomenims analizuoti, interpretuoti ir atvaizduoti. Dirbant su dideliais duomenų rinkiniais yra naudinga ir tikslinga juos atvaizduoti viena verte, kuri apibūdintų nagrinėjamus duomenis. Šiame skyriuje bus aptarti naudojami statistiniai metodai, skirti analizuoti žmogaus reakcijos į vizualizavimą virtualiojoje realybėje. Pasirinkti šie statistiniai metodai – aritmetinis vidurkis, standartinis nuokrypis, ekscesas, entropija, asimetrija.

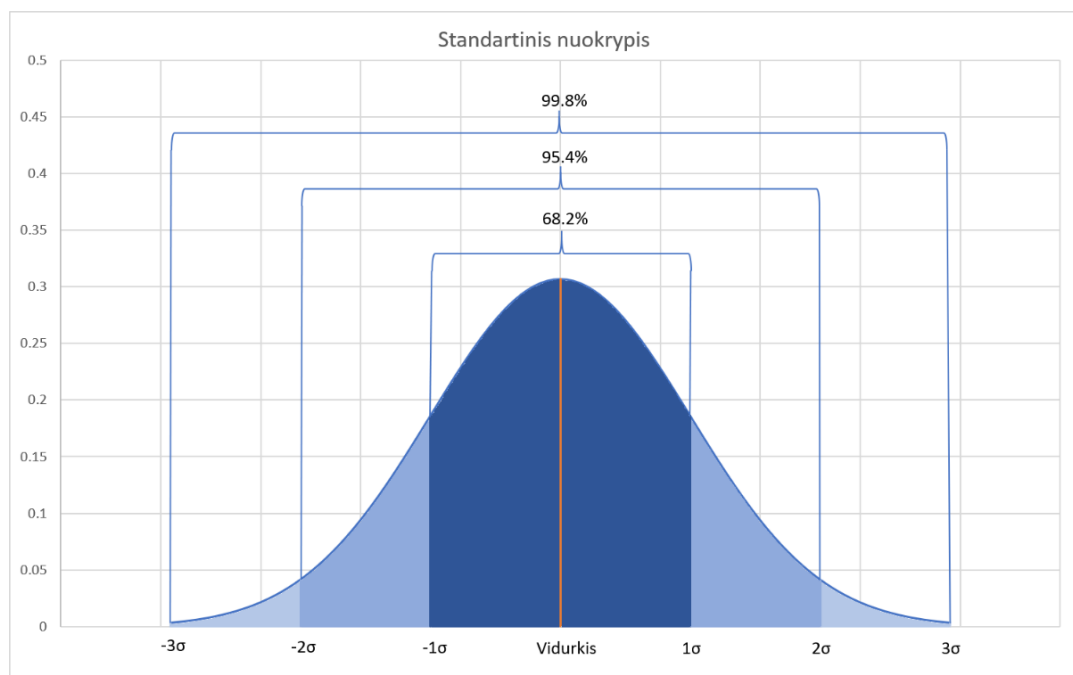
2.1. Aritmetinis vidurkis

Vienas iš statistinių metodų yra aritmetinis vidurkis. Aritmetinis vidurkis parodo visų signalo atskaitų vidurkį. Šis statistinis požymis gaunamas sudedant visus skaičius ir gautą sumą padalinant iš jų skaičiaus. Tiriamojo darbo metu šį skaičių atitiks signalo atskaitų vertės. Analizuojant signalus aritmetinis vidurkis bus skaičiuojamas visam signalui ir jo daliai. Aritmetinis vidurkis apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right), \quad (2.1)$$

čia n – atskaitų skaičius signale; x_i – signalo atskaitos vertė.

2.2. Standartinis nuokrypis



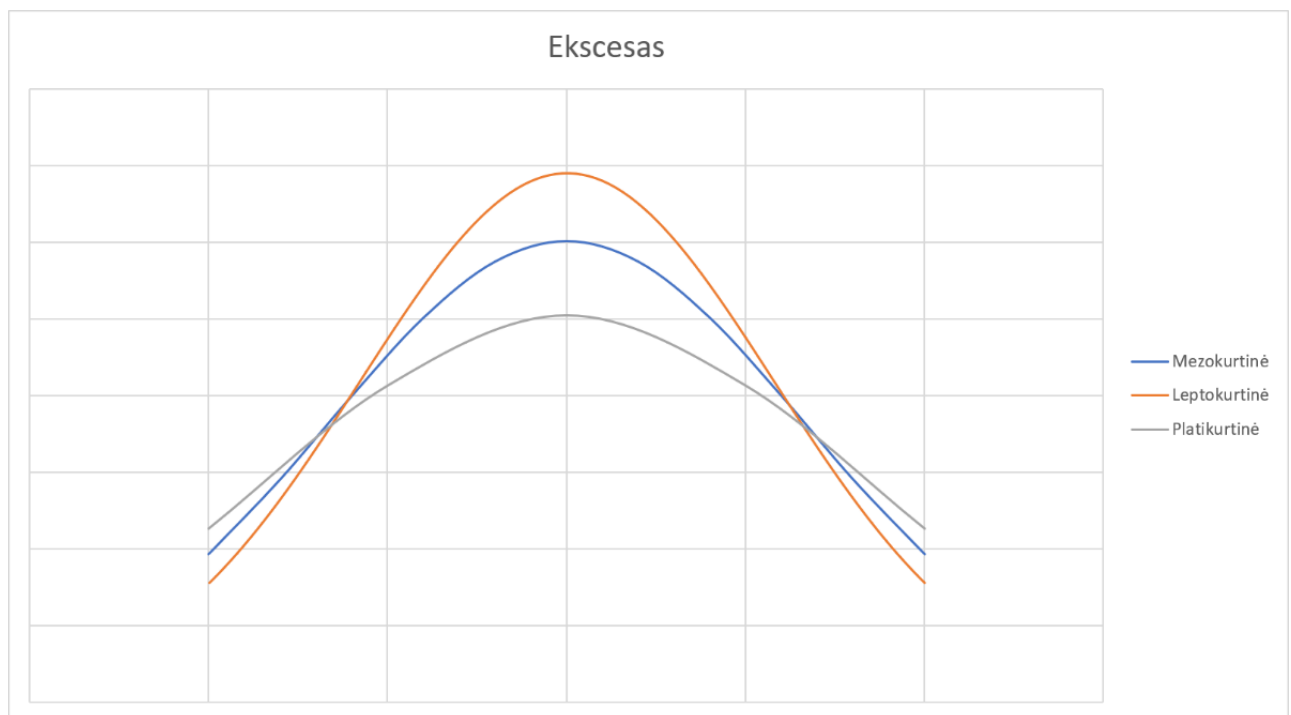
2.1 pav. Normalusis skirstinys su standartinio nuokrypio juostomis

Standartinis nuokrypis parodo, kaip signalo atskaitos svyruoja apie signalo vidurkį. Jeigu šis dydis gaunamas didelis tai reiškia, kad analizuojamų duomenų vertės yra labai nutolusios nuo aritmetinio vidurkio arba kitaip pasakius, jos yra išsibarsčiusios. Mažas standartinis nuokrypis reiškia, kad duomenų vertės nėra taip išsibarsčiusios ir yra arti aritmetinio vidurkio. 2.1 paveiksle parodytas normalusis skirstinys su trejais standartiniais nuokrypiais. Pirmasis standartinis nuokrypis apima 68,2 % visų normaliojo skirstinio duomenų. Ribos -1σ gaunama iš vidurkio atimant vieno standartinio nuokrypio vertę, o 1σ ją pridedant. Antrasis standartinis nuokrypis -2σ ir 2σ apima 27,2 % normaliojo skirstinio. Jeigu normaliojo skirstinio vertė yra gaunama tarp $\pm 1\sigma$ ir $\pm 2\sigma$ yra laikoma, kad vertė yra nutolusi per du standartinius nuokrypius nuo vidurkio. Trečiąjį standartinį nuokrypį sudaro 4,4 % visų duomenų. Standartinį nuokrypį galime apskaičiuoti pagal šią formulę:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2.2)$$

čia N – atskaitų skaičius; $\bar{x}$ – analizuojamo viso signalo ar jo dalies vidurkis; x_i – signalo atskaitos vertė.

2.3. Ekscesas



2.2 pav. Skirtingos kreivių viršūnės, esant skirtingiems eksceso dydžiams

Ekscesas – statistinis dydis, kuris parodo skirstinio kreivės viršūnės aštrumą, lyginant su normaliojo skirstinio kreivės aštrumu (žr. 2.2 pav.). Kai ekscesas gaunamas 3, šis yra lygus normaliajam skirstiniui ir tokia kreivė yra vadinama mezokurtine. Esant šiam dydžiui didesniau už 3, laikoma, kad nagrinėjama kreivė turi aštresnę viršūnę ir ji vadinama leptokurtine. Kai šis dydis

mažesnis negu 3, kreivė yra mažiau aštri ir ji vadinama platikurtine. Jeigu ekscesas yra gaunamas nelygus 3, tuo atveju yra manoma, kad duomenys nėra paprastai pasiskirstę. Ekscesą galima apskaičiuoti pagal šią formulę:

$$Kurt[X] = E\left[\left(\frac{X - \mu}{\sigma}\right)^4\right], \quad (2.3)$$

čia μ – ketvirtosios eilės centrinis momentas; σ – standartinis nuokrypis; E – matematinė viltis.

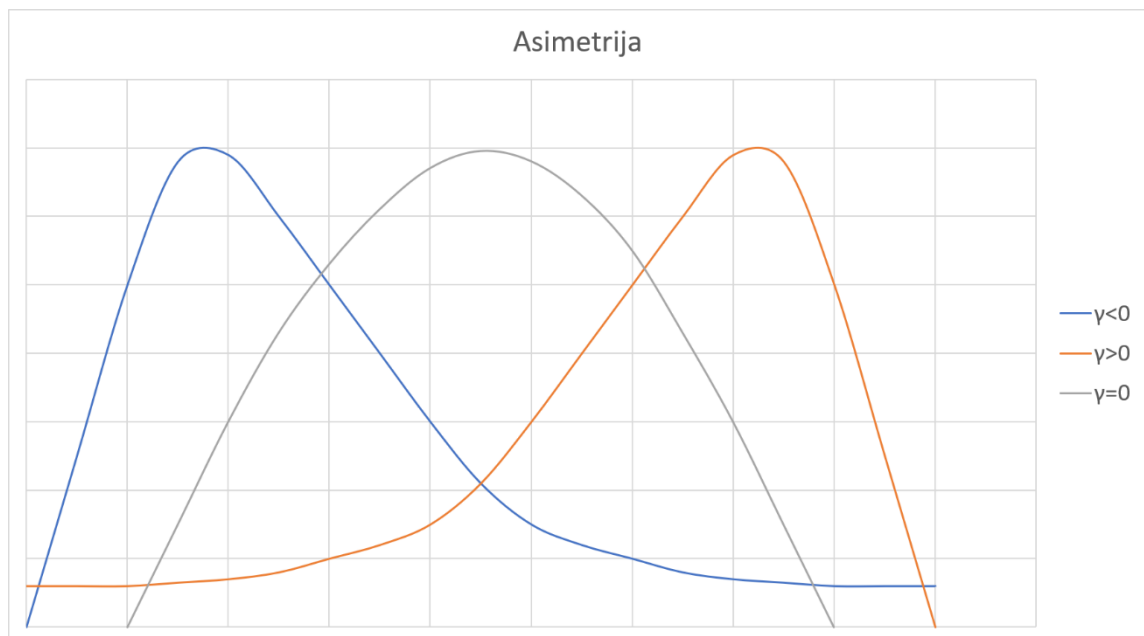
2.4. Entropija

Entropija – sistemos netvarkos matas. Analizuojant EEG signalus yra naudojama Shannon'o entropija ir šis požymis parodo, kiek atsitiktinumo yra signale. Atsitiktinumas yra tiesiogiai susijęs su informacijos kiekiu, esančiu signaluose. Kai šis dydis yra mažas, tai reiškia, kad analizuojamame signale yra daugiau naudingos informacijos. Entropijos dydžiui esant dideliui naudingos informacijos kiekis mažėja. Entropija apskaičiuojama pagal šią formulę:

$$S = -\sum_i P_i \log P_i, \quad (2.4)$$

čia P_i – analizuojamo signalo vertės.

2.5. Asimetrija



2.3 pav. Normalusis skirstinys kartu su kairiaja ir dešiniąja asimetrijomis

Asimetrija – statistinis dydis, kuris parodo skirstinio grafinės funkcijos asimetriškumą. Jeigu šis koeficientas yra lygus 0, tai reiškia, kad turima kreivė yra simetriška ir nesiskiria nuo normaliojo

skirstinio. Jeigu šis dydis didesnis negu 0, tuo atveju yra laikoma, kad kreivės dešinioji dalis yra labiau ištempta. o kai mažiau – kairioji dalis. Asimetriją galima apskaičiuoti pagal šią formulę:

$$\gamma = E \left[\left(\frac{X - \mu}{\sigma} \right)^3 \right], \quad (2.5)$$

čia μ – trečiosios eilės centrinis momentas; σ – standartinis nuokrypis; E – matematinė viltis.

2.6. Trumpas skyriaus apibendrinimas

Žmogaus reakcijos į vizualizavimą virtualiojoje realybėje statistinių metodų analizės skyriuje buvo aptarti metodai – aritmetinis vidurkis, standartinis nuokrypis, ekscesas, entropija ir asimetrija, kurie bus naudojami analizuojant EEG signalus. Standartinis nuokrypis yra susijęs su aritmetiniu vidurkiu ir jis parodo, kaip toli nuo vidurkio yra nutolusios vertės. Ekscesas, entropija ir asimetrija parodo, kaip duomenys yra išsidėstę, lyginant juos su normaliuoju skirstiniu.

3. TYRIMŲ SCENARIJAUS SUDARYMAS IR DUOMENŲ EKSPERIMENTINIAMS TYRIMAMS ATRANKA

Šiame skyriuje bus aprašyta eksperimentiniams tyrimams naudojama techninė įranga. Taip pat bus sudarytas fizinio eksperimentinio tyrimo scenarijus, kuriame bus paaiškintas elektrodų išdėstymas galvos srityje, nurodyti, kokie virtualiosios realybės žaidimai pasirinkti ir kodėl, taip pat bus sudarytas žaidžiamų žaidimų eiliškumas.

3.1. Eksperimentiniams tyrimams atlikti naudojama techninė įranga

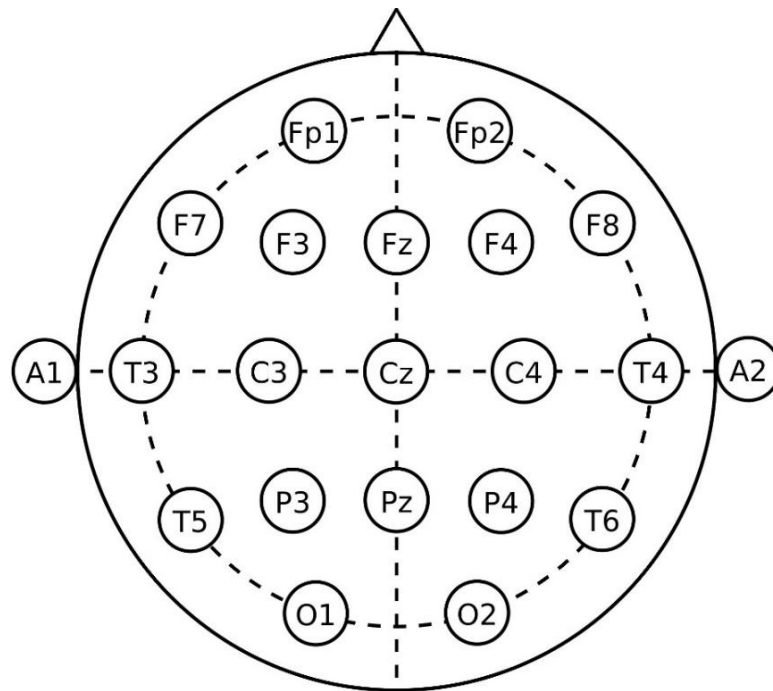
Virtualiosios realybės turiniui atkurti bus naudojami virtualiosios realybės akiniai „HTC VIVE Pro“. Šie akiniai turi 1440 x 1600 pikselių rezoliuciją (bendrai 2880 x 1600 per abi akis). Gamintojas rekomenduoja virtualiosios realybės akinius naudoti su kompiuteriu turinčiu bent „Intel i5 4590“ procesorių ir „NVIDIA GeForce GTX 970“ vaizdo plokštę taip pat 4 GB operatyviosios atminties, kad būtų pasiektas minimalus 90 kadrų per sekundę vaizdas. Virtualiosios realybės turinys bus žiūrimas naudojant nešiojamąjį kompiuterį, turintį „Intel i7-4720HQ“ procesorių bei „NVIDIA GeForce GTX 1070“ vaizdo plokštę taip pat 16 GB operatyviosios atminties. EEG signalams matuoti bus naudojama atvirojo kodo prietaisas „Olimex EEG-SMT“.

3.2. Tyrimo scenarijaus sudarymas

Prieš atliekant matavimus yra būtina sudaryti tyrimo scenarijų. EEG signalų tyrimo scenarijaus sudarymas yra susijęs su virtualiosios realybės žaidimų parinkimu, elektrodų išdėstymu galvos srityje parinkimu, virtualiosios realybės žaidžiamų žaidimų eiliškumo ir režimo sudarymu.

3.2.1. Elektrodų išdėstymo galvos srityje parinkimas

Matuojant EEG signalus yra svarbus elektrodų išdėstymas galvos srityje. Turint prietaisą su dideliu kanalų skaičiumi yra nesudėtinga parinkti jų išdėstymo poziciją, kad būtų matuojami EEG signalai pagrindinėse žmogaus smegenų dalyse. Tačiau turint tik du kanalus reikalingas prasmingas elektrodų išdėstymas. Taip pat ne ką mažiau svarbu yra užtikrinti gerą kontaktą tarp elektrodų ir žmogaus galvos odos. Šiam tikslui pasiekti būna naudojamos specialios kepurės su EEG elektrodams montuoti skirtomis skylėmis ir laidumą gerinantis gelis. Dėl naudojamų elektrodų formos ir jų montavimo galimybių trūkumo reikia sugalvoti metodą, kaip juos tvirtinti ant žmogaus galvos.



3.1 pav. Tarptautinė EEG elektrodų išdėstymo galvos srityje 10–20 sistema

Tiriamajame darbe yra pasirinkta naudoti tarptautinę 10–20 EEG elektrodų išdėstymo sistemą, kurioje galima aiškiai ir suprantamai nurodyti matuojamas galvos sritis (žr. 3.1 pav.). Tyrimui atlikti yra pasirinktos C3 ir C4 sritys pirmajam kanalui, O1 ir O2 sritys antrajam kanalui. Šios sritys, apima parietinę bei pakaušio sritis. Parietinė smegenų dalis yra atsakinga už žmogaus pagrindinę jutiminę sistemą, kūno pojūtį erdvėje ir judėjimą. Pakaušio sritis yra atsakinga už žmogaus vaizdo suvokimą. Šios sritys pasirinktos, kadangi nagrinėjama virtualiosios realybės žaidimų sukeliama kibernetinė liga (angl. *cyber sickness*). Pakaušio srityje išdėstyti elektrodai leis užfiksuoti potencialiai atsirandančius EEG signalų pokyčius susijusius su virtualiosios realybės turinio žiūrėjimu. Parietinėje smegenų dalyje išdėstyti elektrodai fiksuos EEG signalų pokyčius, kai žiūrimame virtualiosios realybės turinyje vyksta judėjimas, kuris gali sutrikdyti testuojamo žmogaus sensorinę sistemą ir kūno pojūtį erdvėje. Pasyvusis elektrodas buvo montuojamas kairiojoje galvos dalyje už ausies.

Elektrodams montuoti ant žmogaus galvos yra pasirinkta naudoti silikoninę plaukimo kepurę. Kadangi ji pagaminta iš silikono, t. y. elektrai nelaidžios medžiagos, matuojant ji netūrėtų įnešti papildomų triukšmų. Matavimams atlikti yra naudojami aktyvieji elektrodai, kuriems nereikia laidumą gerinančio gelio, kai elektrodai turi tiesioginį kontaktą su žmogaus oda. Tačiau pasirinktose matavimo zonose tarp elektrodo ir galvos odos bus plaukai, kurie gali trukdyti išmatuoti EEG signalus. Laidumui pagerinti vietoje gelio prieš kiekvieną matavimą bus šlapinami plaukai. Pasirinktas toks laidumą gerinantis metodas, kadangi silikoninė kepurė drėgmę palaikys visą matavimo laiką ir kontaktas turėtų išlikti pastovus.

3.2.2. Virtualiosios realybės žaidimų parinkimas

Parenkant virtualiosios realybės žaidimus yra remiamasi vienu pagrindiniu kriterijumi – kuo mažiau kūno judesių. Šis kriterijus yra labai svarbus, kadangi matuojami EEG signalai yra labai silpni, jų amplitudė yra vos keli mikrovoltai. Rankos, kaklo bei kitų raumenų judesių sukeltų signalų amplitudė yra keli milivoltai ir šie signalai sukelia triukšmus matuojamuose EEG signaluose, kuriuos pašalinti yra labai sunku ar net kai kuriais atvejais neįmanoma. Todėl šiam tyrimui pasirinkti žaidimai yra sėdimi, t. y. žaidėjas sėdi kėdėje, ir reikalaujantys labai minimalių rankos judesių. Ramybės būseną taip pat yra matuojama sėdint ant kėdės ir visą matavimo laiką yra stengiamasi nejudėti ir būti užsimerkus.

Tyrimui atlikti yra parinkti 5 virtualiosios realybės žaidimai: „Detached VR“, „Epic Roller Coaster“, „Windlands 2“, „House of the Dying Sun“, Project Cars 2“. „Detached VR“ yra valdomas „HTC VIVE Pro“ valdikliais. Žaidimui žaisti nereikia daryti staigių rankos judesių, užtenka judinti tik riešus. „Epic Roller Coaster“ taip pat valdomas tais pačiais valdikliais, tačiau rankų judesiai nenaudojami. „Windlands 2“ kaip ir pirmi du žaidimai yra valdomas tais pačiais valdikliais ir reikalauja tiek pat rankų judesių, kiek ir pirmasis žaidimas. „House of the Dying Sun“ yra valdomas „PlayStation DUALSHOCK 3“ valdikliu ir nereikalauja jokių rankos judesių. Paskutinis žaidimas yra „Project Cars 2“. Šis žaidimas taip pat valdomas „PlayStation DUALSHOCK 3“ valdikliu ir nereikalauja jokių rankos judesių. Nei vienam iš žaidimų nėra reikalingi papildomi kūno judesiai, tokie kaip kaklo pasukimas ir kraipymas, atsistojimas, pritūpimas.

3.2.3. Virtualiosios realybės žaidžiamų žaidimų eiliškumo ir režimo sudarymas

Tyrimui atlikti yra sudaromas virtualiosios realybės žaidimų režimas, kurio yra laikomasi kiekvieną kartą atliekant matavimus. Režimą sudaro duomenų matavimas nustatytu paros metu su nustatytu valgymo režimu. Matavimams yra pasirinktas laikas nuo 19 iki 21 valandos. Prieš atliekant matavimus bent vieną valandą nevalgoma bei nevartojama saldžiųjų gėrimų.

Žaidimų sąrašas su priskirtais žaidimo numeriais:

- „Detached VR“ – 1
- „Epic Roller Coaster“ – 2
- „House of The dying Sun“ – 3
- „Project Cars 2“ – 4
- Ramybės būseną – 5
- „Windlands 2“ – 6

3.1 lentelė. Sudarytų Virtualiosios realybės žaidimų eiliškumas

	Pirmas matavimas	Antras matavimas	Trečias matavimas	Ketvirtas matavimas	Penktas matavimas	Šeštas matavimas
1 diena	5	4	1	6	2	3
2 diena	5	3	4	6	2	1
3 diena	5	1	6	2	3	4
4 diena	5	2	1	6	3	4
5 diena	5	1	4	3	6	2
6 diena	5	6	2	1	3	4
7 diena	5	1	2	6	4	3
8 diena	5	2	6	1	3	4
9 diena	5	4	3	6	2	1
10 diena	5	6	2	1	4	3

Virtualiosios realybės žaidimų eiliškumas yra sudaromas atsitiktine tvarka ir kiekvieną kartą atliekant matavimus, šis eiliškumas yra keičiamas (žr. 3.1 lentelę). Matavimai visada yra pradami nuo ramybės būsenos. Iš viso vienos dienos matavimo metu yra gaunami šeši matavimai (5 žaidimai ir ramybės būseną). Vieno žaidimo matavimo trukmė yra 10 minučių. Ramybės būsenos matavimo trukmė tokia pati, kaip ir žaidimų. Tarp matavimų yra daroma 2–5 minučių pertrauka, per kurią pasirošama kitam matavimui.

3.3. Trumpas skyriaus apibendrinimas

Aptarėme, kokia techninė įranga bus naudojama virtualiosios realybės turiniui atvaizduoti ir atkurti. Naudojamo nešiojamojo kompiuterio techninė specifikacija visiškai atitinka minimalius reikalavimus, keliamus atkurti virtualiosios realybės turiniui. Todėl visų žaidimų metu turėtų būti palaikomas minimalus 90 kadrų per sekundę vaizdas.

Sudarant tyrimo scenarijų buvo nurodytos galvos vietos, kuriose bus atliekami EEG signalų matavimai ir paaiškinta, kodėl būtent jos pasirinktos. Taip pat paaiškinta, kaip bus montuojami elektrodai ant žmogaus galvos ir koku būdu bus gerinamas laidumas tarp elektrodo ir galvos odos.

Šiame skyriuje taip pat aptarta koku kriterijumi vadovaujantis parinkti virtualiosios realybės žaidimai. Nurodyti, kokie žaidimai parinkti ir kokių fizinių judesių yra reikalaujama juos žaidžiant. Taip pat sudarytas žaidžiamų žaidimų eiliškumo planas ir sudarytas režimas.

4. EEG SIGNALŲ ANALIZĖS METODO EKSPERIMENTINIS TYRIMAS

Šiame skyriuje bus detaliai aprašytas EEG signalų matavimo programinės įrangos kūrimas, nurodyta šios programos įvestis ir išvestis. Taip pat bus aprašytas maketo kūrimas, kurio paskirtis – rankiniu būdu matuoti kibernetinės ligos momentus. Toliau bus apžvelgtas EEG signalų analizei skirtos programinės įrangos kūrimas, apibūdinti pasirinkti signalų paruošimo, požymių išskyrimo ir analizavimo metodai. Taip pat šiame skyriuje bus pateikti gauti signalų apdorojimo, požymių išskyrimo ir analizavimo rezultatai.

4.1. Programinės įrangos duomenims nuskaityti kūrimas

Pirmame skyriuje buvo aptartos trys programos, skirtos analizuoti EEG signalus. Tačiau tik dvi iš jų turėjo funkciją, leidžiančią signalus įrašyti į elektroninę laikmeną. Bandymų metu buvo pastebėtos kelios problemos, kai buvo atliekamas EEG signalų matavimas ir įrašymas. Dėl to buvo nuspręsta susikurti programinę įrangą, leidžiančią realiuoju laiku fiksuoti ir atvaizduoti EEG signalus.

Norint tirti encefalografijos signalus visų pirma reikia šiuos signalus gauti. Šiam tikslui pasiekti yra naudojamas EEG signalų matavimo prietaisas „Olimex EEG-SMT“. Šis prietaisas turi du diferencinius kanalus, skirtus EEG signalams matuoti. Iš viso prietaisas gali naudoti iki 5 elektrodų, iš kurių 4 (aktyvieji elektrodai) naudojami signalui gauti, o vienas (pasyvusis elektrodas) triukšmui slopinti. Aktyvusis elektrodas – tai toks elektrodas, kuris naudojamas gaunant EEG signalus. Jis turi integruotą grandinę, skirtą signalams stiprinti, dar prieš jį pradedant siųsti į matavimo prietaisą. Toks elektrodas leidžia nenaudoti laidumą gerinančio gelio. Pasyvusis elektrodas integruotos grandinės neturi, tačiau šiuo atveju šis elektrodas EEG signalų nefiksuoja, todėl stiprinimas nereikalingas. Toliau išmatuoti neapdoroti signalai yra siunčiami per USB sąsają į kompiuterį ar kitą prietaisą.

Programai kurti yra naudojama „Python 3.7“ programavimo kalba. Programa yra kuriama „PyCharm 2018.3 Community Edition“ programavimo aplinkoje. Pasirinkta ši programavimo kalba, dėl savo paprastumo bei lankstumo. „Python 3.7“ taip pat turi labai daug atvirojo kodo bibliotekų, kurios palengvina ir paspartina darbą, kuriant programą.

Prieš pradedant kurti programą, visų pirma reikia išsiaiškinti, kaip duomenis siunčia atvirojo kodo prietaisas „Olimex EEG-SMT“. Kadangi ši sistema yra atvirojo kodo, gamintojas savo internetiniame puslapyje yra pateikęs programinės aparatinės įrangos kodą. Parsisiųstame kode galima atrasti gamintojo nurodytą komentarą su paaiškinimais, kokių formatu prietaisas siunčia duomenis. Iš viso šis atvirojo kodo prietaisas diskretizuoja signalus 256 Hz dažniu ir siunčia septyniolikos baitų paketus. Gamintojas nurodo, kad perdavimo greitis per USB sąsają turi būti 57 600 bitų per sekundę, taip pat vienas siunčiamas baitas yra sudarytas iš 1 pradžios bito, 8 duomenų bitų ir 1 pabaigos bito. Iš viso 10 bitų per vieną paketą.

Read	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0a	0b	0c	0d	0e	0f	Packet #
000000c0	02	00	01	60	01	fb	01	f7	01	f3	01	ee	00	01	60	a5	76
000000d0	5a	02	b8	02	01	02	00	01	01	60	fa	01	f4	01	ef	01	80
000000e4	ea	00	01	60	a5	5a	02	b9	02	00	01	ff	01	01	60	fa	82
000000f0	01	f5	01	ef	01	e9	00	01	60	a5	5a	02	ba	02	00	01	86
00000100	ff	01	fb	01	60	01	f7	01	f2	01	ec	00	01	60	a5	5a	88
00000110	02	bb	02	00	01	ff	01	fd	01	60	01	fa	01	f6	01	f1	92
00000120	00	01	60	a5	5a	02	bc	02	01	02	00	01	fc	01	01	60	94
00000130	f8	01	f3	01	ee	00	01	60	a5	5a	02	bd	02	01	02	00	98
00000140	01	fa	01	f4	01	60	01	ef	01	ea	00	a5	01	60	5a	02	100
00000150	be	02	01	02	00	01	fa	01	f4	01	60	01	ef	01	e9	00	104
00000160	a5	01	60	5a	02	bf	02	00	01	ff	01	fb	01	f7	01	01	106

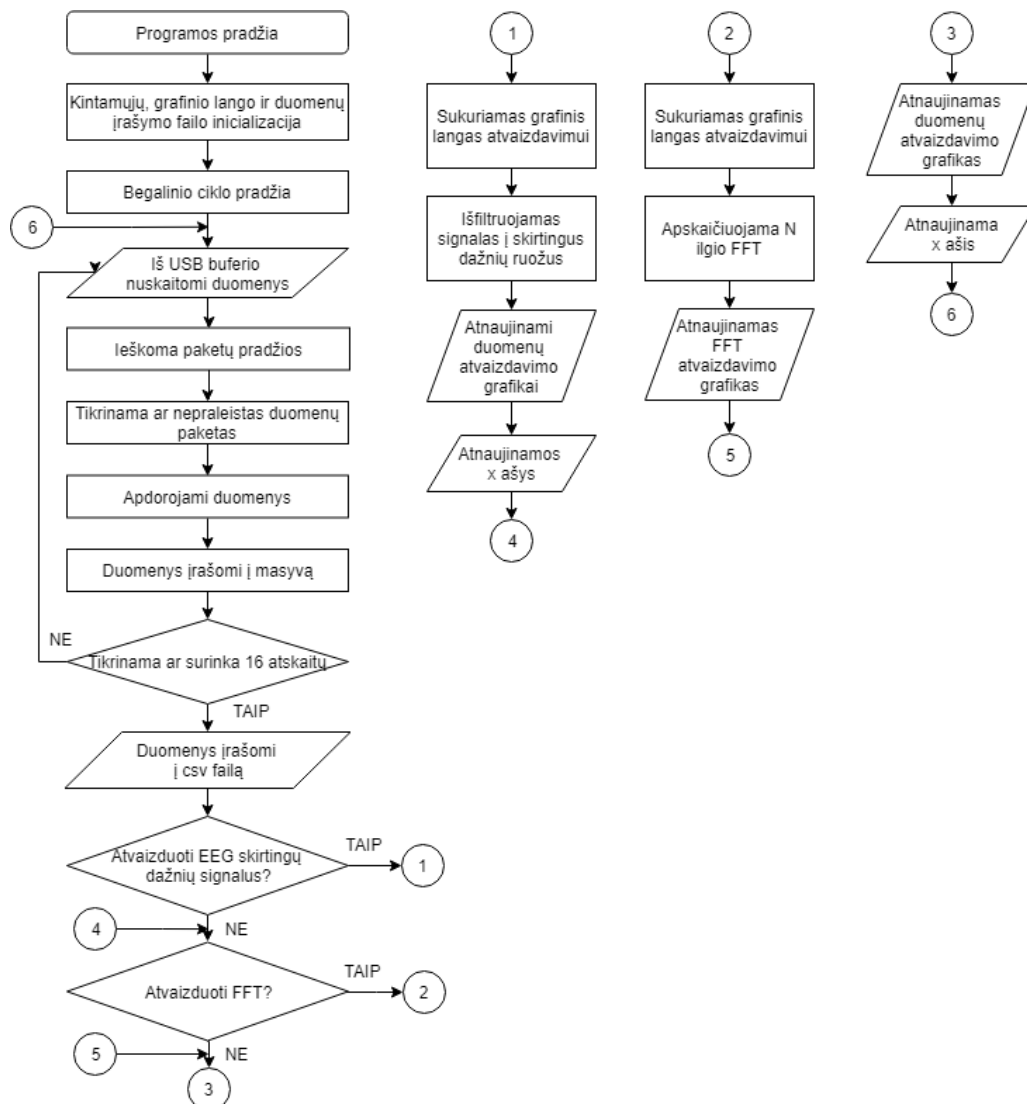
4.1 pav. Prietaiso „Olimex EEG-SMT” siunčiami duomenų paketai

4.1 paveiksle pavaizduoti nuskaityti paketai gaunami iš prietaiso. Šiems paketams nuskaityti yra naudojama programa „Device Monitoring Studio“. Ši programa leidžia realiuoju laiku stebėti per USB sąsają gaunamus bei siunčiamus duomenis. 4.1 paveiksle yra apibrėžti siunčiami dviejų atskaitų duomenų paketai. Gamintojas programinės aparatinės įrangos kode nurodo, kad duomenų siuntimas visada prasideda dviem sinchronizacijos paketais „0xa5“ ir „0x5a“. Toliau seka programinės aparatinės įrangos versijos skaičius. Šiuo atveju šis skaičius visuose paketuose yra „0x02“. Po versijos numerio seka siunčiamos atskaitos skaičius. 4.1 paveiksle, apibrėžtame lauke, šie skaičiai yra „0xb9“ ir „0xba“. Pavertus šiuos šešiolyktainius skaičius į dešimtainius gauname, kad tai 185 ir 186 atskaitos. Toliau gamintojas nurodo, kad prietaisas siunčia šešių kanalų informaciją dešimties bitų formatu. Naudojamas prietaisas turi tik du kanalus, todėl 3–6 paketų informacija bus ignoruojama siunčiant duomenis. Kadangi USB sąsaja vienu paketu gali perduoti tik 8 bitus, o prietaisas siunčia 10, tai ši informacija yra išskaidoma į du atskirus paketus ir siunčiama viena po kito. 4.1 paveiksle, apibrėžtame lauke, penktas ir šeštasis paketai yra pirmojo kanalo duomenys. Norint iš šių atskirų paketų gauti vieną, tiesiog penktojo paketo duomenys yra padauginami iš 256 ir pridedami šeštojo paketo duomenys. Šiuo atveju $2 \cdot 256 + 0 = 512$. Tokiu pat būdu gaunami ir antrojo kanalo duomenys, tik vietoj penktojo ir šeštojo paketo naudojami septintas ir aštuntas.

Žinant, kokių formatu duomenis siunčia atvirojo kodo sistema „Olimex EEG-SMT“, galima pradėti kurti programinę įrangą, su kuria būtų galima įrašyti EEG signalus ir realiuoju laiku juos atvaizduoti. Kuriant programinę įrangą, bus naudojama nemažai programavimo kalbai „Python 3.7“ jau sukurtų bibliotekų, kurios palengvins skaičiavimus, atvaizdavimą ir įrašymą. Naudojamos šios bibliotekos:

- „NumPy“ – naudojama masivams kurti, veiksams su jais ir matematiniams skaičiavimams atlikti.
- „SciPy“ – naudojama matematiniams skaičiavimams atlikti.
- „pySerial“ – naudojama komunikuoti su atvirojo kodo sistema per USB sąsają.

- „winsound“ – naudojama garsiniam signalui generuoti, tuo atveju, jeigu atsiranda duomenų nuskaitymo klaida.
- „csv“ – naudojama nuskaitytiems duomenims išsaugoti į .csv formato failą.
- „PyQtGraph“ – naudojama grafikams piešti realiuoju laiku.



4.2 pav. Duomenims nuskaityti iš atvirojo kodo sistemos sukurto algoritmo struktūrinė schema

4.2 paveiksle yra pavaizduota kuriamo algoritmo struktūrinė schema, skirta EEG signalams nuskaityti iš atvirojo kodo sistemos „Olimex EEG-SMT“, išsaugoti ir atvaizduoti realiuoju laiku. Programos vykdymo pradžioje yra inicializuojami pradiniai kintamieji, nuskaityti programos nustatymai, atidaromas papildomas langas, skirtas oscilogramai atvaizduoti realiuoju laiku, sukuriamas .csv formato failas, į kurį bus įrašomi duomenys. Priklausomai nuo programos atvaizdavimo nustatymų, jų yra du – atvaizduoti EEG skirtingų dažnių signalus ir atvaizduoti greitąją Furjė transformaciją, yra sukuriama juostiniai filtrai, nustatomas greitosios Furjė transformacijos ilgis ir persidengimas. Juostiniam filtrui sukurti yra pasirinktas Čebyševio 2 filtras, kurio eilė yra 30 ir slopinimas 80 dB. Iš viso yra sukuriama septyni filtrai, su skirtingomis EEG signalo bangų dažnių juostomis: Delta bangos (0,5–4 Hz), Teta bangos (4–7 Hz), Alfa bangos (8–12,5 Hz), Beta žemų

(12,5–16 Hz), Beta vidutinių (16–20 Hz), Beta aukštų (20–32), Gama (32–45). Taip pat inicializacijos metu yra sukuriama 17-os baitų ilgio žiedinis buferis, kuris veikia pirmas įėjimo, pirmas išėjimo (angl. *FIFO, first in, first out*) principu. Šio buferio paskirtis yra saugoti kiekvieną iš EEG signalams matuoti skirtą prietaiso siunčiamą paketą. Užsipildžius šiam buferiui, iš jo yra išimamos sinchronizacijos atskaitos bei pirmojo ir antrojo kanalo duomenų paketai. Pasirinktas toks laikinų duomenų saugojimo būdas, kadangi iš anksto galima išskirti fiksuotą atminties dydį, taip paspartinant nuskaitymo procesą ir nesunku palaikyti duomenų sinchronizaciją. Paskutinis iš veiksmų, kuris yra atliekamas inicializacijos metu – tai programa prisijungia prie nurodytos USB jungties ir yra nustatomi USB komunikacijos parametrai: 1 pradžios bitas, 8 duomenų bitai, 0 lyginumo bitų, 57600 bitų per sekundę duomenų perdavimo greitis.

Kitas programos vykdymo etapas yra begalinis ciklas, kuris tęsiasi visą programos veikimo laiką. Iš 4.2 paveikslo galima matyti, kad sukurta programa neturi pabaigos. Taip yra padaryta todėl, kad signalo matavimus būtų galima atlikti neribotą laiką. Norint sustabdyti įrašymus, tiesiog naudojamoje programavimo aplinkoje „PyCharm 2018.3 Community Edition“ yra sustabdomas programos veikimas.

Begalinio ciklo metu yra atliekami pagrindiniai veiksmai, susiję su signalo nuskaitymu ir atvaizdavimu. Ciklo pradžioje visų pirma naudojant bibliotekos „pySerial“ nuskaitymo funkciją *ser.read()*. Ši funkcija iš USB buferio išima iš „Olimex EEG-SMT“ matavimo prietaiso gautą paketą. Kadangi šis paketas yra sudarytas iš nulių ir vienetų eilutės, jį reikia dešifruoti į žmogui suprantamą simbolį. Šiuo atveju yra naudojamas mažiausiojo bito (angl. *Big Endian*), tik teigiamo simbolio (angl. *unsigned char*) šifravimas. Duomenims iššifruoti yra panaudojama funkcija *unpack()*. Iššifruoti duomenys yra įrašomi į žiedinį buferį.

Nuskaityti duomenis ir įrašinėjant juos į žiedinį buferį, kiekvieno įrašymo metu yra tikrinama duomenų sinchronizacija ir ieškoma duomenų siuntimo pradžios. Tai atliekama tikrinant pirmus du žiedinio buferio elementus. Jeigu pirmasis elementas yra lygus skaičiui 165 ir antrasis lygus 90 yra laikoma, kad atrasta 17 baitų duomenų pradžia. Toliau yra tikrinama, ar nėra praleistas duomenų paketas, kai yra atrasta duomenų siuntimo pradžia. Tai daroma tikrinant žiedinio buferio ketvirtą baitą. Jeigu nuskaitytasis baitas yra vienetu didesnis negu praeitasis yra laikoma, kad duomenų siuntimas vyksta nuosekliai. Kitu atveju duomenų siuntimo įvyko klaida ir programa apie tai informuoja garsiniu signalu. Garsiniam signalui sukurti naudojama biblioteka „winsound“. Panaudojant šios bibliotekos funkciją *beep()* yra sukuriama 2500 Hz dažnio 0,5 s trukmės įspėjamasis tonas.

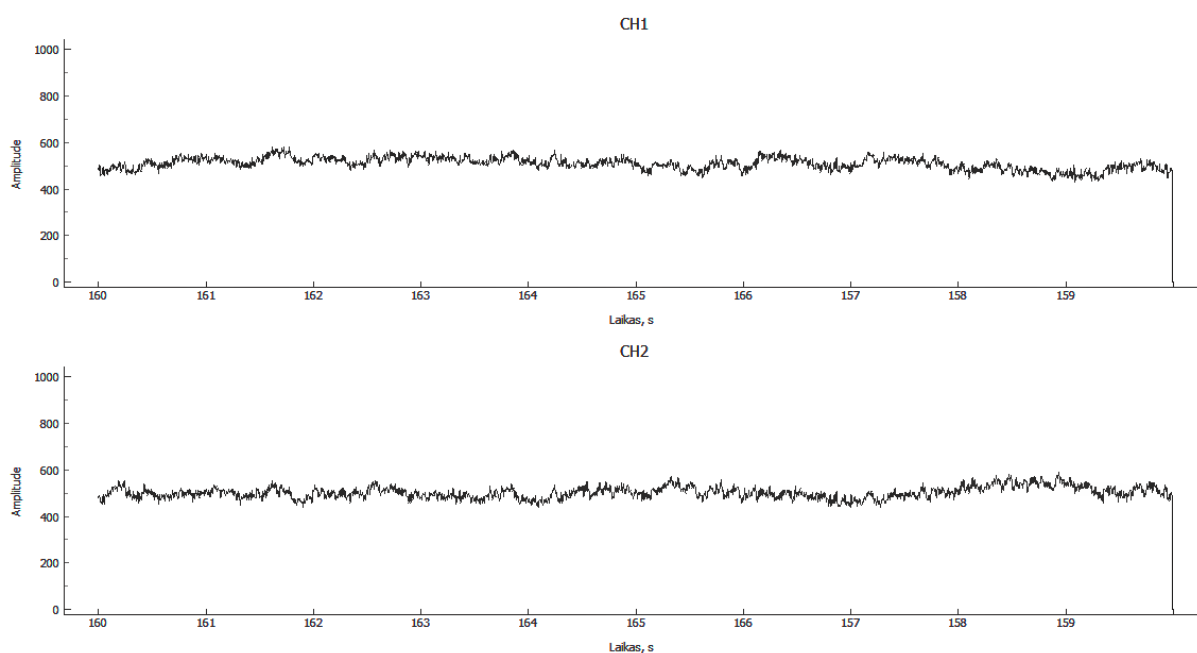
Apdorojimo etape iš nuskaitytų duomenų yra atkuriamos atskaitų reikšmės. Kadangi EEG signalams matuoti skirtas prietaisas naudoja 10 bitų analoginį skaitmeninį keitiklį, siunčiama informacija irgi yra 10 bitų. Tačiau prietaiso naudojamas USB komunikacijos lustas palaiko tik 8 bitų

ilgio duomenų paketus. Norint siųsti 10 bitų informaciją, prietaisas ją išskaido į 2 paketus. Vienaime pakete yra siunčiami pirmi du informaciniai bitai, o kitame aštuoni. Nuskaitant iš prietaiso atsiųstą informaciją, ją reikia vėl padaryti 10 bitų ilgio. Tai yra padaroma iš žiedinio buferio paimant penktąjį ir šeštąjį baitus. Toliau naudojant logines bitų operacijas iš dviejų paketų yra padaromas vienas dešimties bitų skaičius. Šiuo atveju yra naudojamos dvi operacijos: bitų postūmio į kairę ir loginė sudėtis (operacija ARBA). Apdorojant duomenis penktojo baito bitai yra pastumiami į kairę per aštuonias vietas ir prie gauto rezultato pridedami šeštojo baito bitai. Tokiu būdu yra gaunami pirmojo kanalo duomenys. Tokiu pačiu metodu gaunami ir antrojo kanalo duomenys, tik šiuo atveju yra naudojami septintasis ir aštuntasis baitai.

Atkurta dviejų kanalų informacija kartu su sinchronizacijos baitais, atskaitos skaičiumi ir kompiuterio užfiksuota duomenų nuskaitymo laiko žyma yra įrašomi į atskirą dvimatį masyvą. Į šį masyvą įrašius šešiolika atskaitų, duomenys yra išsaugomi .csv faile ir atvaizduojami grafike.

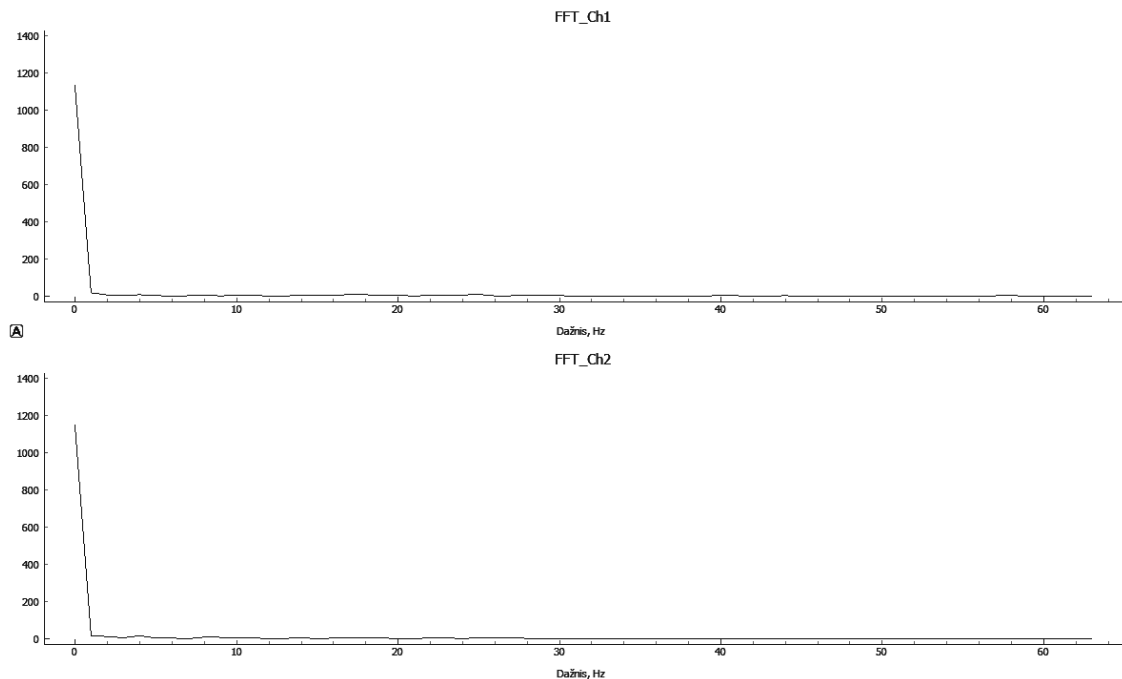
Jeigu nustatymo kintamuosiuose buvo nurodyta atvaizduoti EEG skirtingų dažnių kintamuosius, tada papildomai abiejų kanalų signalai yra išfiltruojami į atskirus dažnių ruožus. Taip pat yra sukuriamas papildomas grafiko langas, šiems dažnių ruožams atvaizduoti. Iš viso yra atvaizduojama 7 skirtingi nuskaityto signalo dažnių ruožai.

Jeigu nustatymo kintamuosiuose buvo nurodyta atvaizduoti EEG signalo greitąją Furjė transformaciją, tai 16 nuskaitytų atskaitų yra įrašomos į atskirą masyvą bei sukuriamas papildomas grafiko langas, skirtas grafikui atvaizduoti. Šio masyvo ilgis yra nurodomas nustatymo kintamuosiuose. Nuo masyvo ilgio priklauso atliekamos greitosios Furjė transformacijos ilgis. Greitoji Furjė transformacija yra apskaičiuojama naudojant bibliotekos „SciPy“ funkciją *fft()*. Atlikus skaičiavimus, gautos spektro dažnių amplitudžių vertės yra atvaizduojamos grafike.



4.3 pav. Sukurtos programos realiuoju laiku atvaizduojama signalo oscilograma

4.3 paveiksle yra pavaizduotas sukurtos programos, skirtos duomenims nuskaityti ir atvaizduoti, grafinis langas. Šiame lange realiuoju laiku yra brėžiama EEG signalo oscilograma. Tai yra naudinga programos funkcija, kadangi kas kartą atliekant matavimus galima patikrinti, ar elektrodai turi gerą kontaktą su žmogaus oda, ar elektrodai arba matavimo prietaisas nėra sugedę. Esant gedimui arba prastam kontaktui, oscilogramoje iš karto būtų galima pamatyti labai didelius triukšmus.



4.4 pav. Sukurtos programos realiuoju laiku atvaizduojamas signalo spektras

4.4 paveiksle pavaizduotas realiuoju laiku skaičiuojamas signalo spektras. Spektrui skaičiuoti galima pasirinkti greitosios Furjė transformacijos lango ilgį ir persidengimą tarp langų. Ši funkcija yra naudinga, kadangi prieš pradedant įrašinėti matavimus, su ja galima pasitikrinti, ar signale nėra ryškių pašalinių signalų, tokių kaip tinklo įtampas.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	a5	5a	FW Rev	Sample	Ch1	Ch2	SW	
2	165	90	2	207	601	569	0	19:26:36
3	165	90	2	208	499	472	0	19:26:36
4	165	90	2	209	430	377	0	19:26:36
5	165	90	2	210	479	399	8	19:26:36
6	165	90	2	211	558	472	8	19:26:36
7	165	90	2	212	608	491	8	19:26:36
8	165	90	2	213	519	413	8	19:26:36
9	165	90	2	214	439	344	8	19:26:36
10	165	90	2	215	502	368	8	19:26:36
11	165	90	2	216	573	476	8	19:26:36
12	165	90	2	217	630	546	8	19:26:36
13	165	90	2	218	557	448	8	19:26:36
14	165	90	2	219	461	402	0	19:26:36

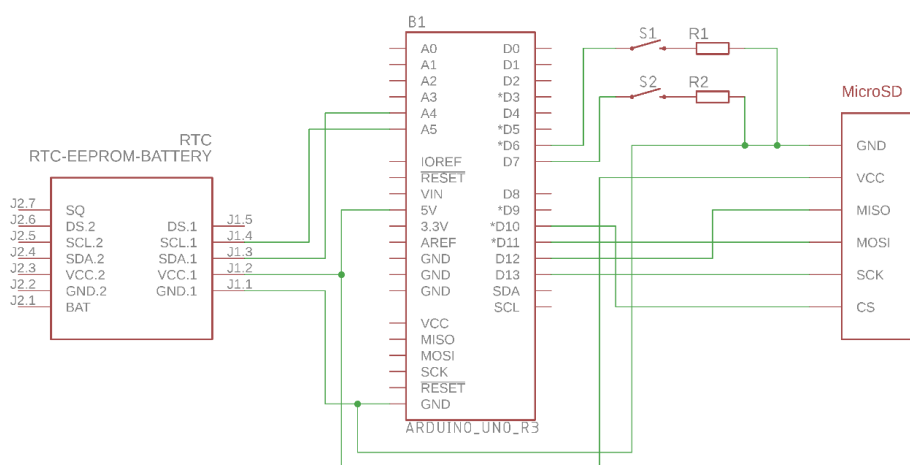
4.5 pav. Sukurtos programos saugoma signalo informacija

4.5 paveiksle yra pavaizduota programos saugoma išmatuoto signalo informacija. Ši informacija yra išsaugoma .csv formatu. Pasirinktas šis formatas, kadangi juo yra nesunku išsaugoti ir

nuskaityti duomenis. Svarbiausia informacija įrašytame faile yra saugoma E, F ir H stulpeliuose. E ir F stulpelyje yra saugomi pirmojo ir antrojo kanalo neapdoroti duomenys, o H stulpelyje saugoma laiko žymos informacija, kada šie duomenys užfiksuoti. Laiko žyma bus reikalinga vėliau analizuojant EEG signalus.

4.2. Maketo kūrimas kibernetinės ligos momentams fiksuoti realiuoju laiku

Palengvinti EEG signalų tyrimą bus naudojamas maketas, skirtas įrašyti laiko žymas, kai yra paspaudžiamas mygtukas. Laiko žymos parodys kibernetinės ligos (angl. *cyber sickness*), kylančios žaidžiant virtualiosios realybės žaidimus, pradžią ir pabaigą.



4.6 pav. Sukurto maketo, skirto kibernetinės ligos momentams fiksuoti rankiniu būdu

4.6 paveiksle pavaizduotas kuriamo maketo, skirto kibernetinės ligos momentams fiksuoti rankiniu būdu, principinė elektrinė schema. Kuriamą maketą sudarys „Arduino UNO R3“ mikrovaldiklio plokštė, realiojo laiko modulis, microSD kortelių skaitytuvas, 9 V baterija ir du mygtukai. Realiojo laiko modulis bus reikalingas laikui fiksuoti. Šio modulio laikas bus sinchronizuotas kartu su matavimams naudojamu kompiuteriu. microSD kortelių skaitytuvas bus reikalingas microSD atminties kortelei skaityti. Atminties kortelėje bus sukuriamas tekstinis failas, kuriame bus saugomos laiko žymos. Vieno mygtuko paskirtis bus fiksuoti matavimo pradžią ir pabaigą, kito – kibernetinės ligos momentus. Visi šie komponentai bus jungiami ir valdomi „Arduino UNO R3“ mikrovaldiklio plokštės.

Maketo valdymas yra sudarytas iš dviejų mygtukų be fiksacijos. Paspaudus mygtuką „S2“ (žr. 4.6 pav.) microSD kortelėje yra sukuriamas tekstinis failas su matavimų pradžios laiko žymos įrašu. Laiko žyma yra gaunama iš realiojo laiko modulio. Dar kartą paspaudus šį mygtuką įrašymas yra nutraukiamas ir į tą patį tekstinį failą įrašoma matavimo pabaigos laiko žyma. Tol kol yra laikomas nuspaustas mygtukas „S1“ į microSD kortelėje esantį tekstinį failą kas 0,1 s yra įrašinėjama laiko žyma. „S1“ mygtukas yra spaudžiamas tik jaučiant kibernetinės ligos požymius.

```
#####
Testo pradžia #1
2019/4/6      19:42:52

2019/4/6      19:43:17
2019/4/6      19:43:17
2019/4/6      19:43:17
2019/4/6      19:43:18
2019/4/6      19:43:18
2019/4/6      19:43:18
2019/4/6      19:43:18
2019/4/6      19:43:18
2019/4/6      19:43:35
2019/4/6      19:43:35
2019/4/6      19:43:36
2019/4/6      19:43:36
2019/4/6      19:43:36
2019/4/6      19:43:36
2019/4/6      19:43:36
2019/4/6      19:43:36
2019/4/6      19:43:36
2019/4/6      19:43:36
2019/4/6      19:43:36

Testo pabaiga #1
2019/4/6      19:52:53
#####
```

4.7 pav. Tekstiniame faile išsaugotos laiko žymos

4.7 paveiksle pavaizduotos į tekstinį failą įrašomos laiko žymos. Pačiame failo viršuje yra įrašyta matavimo pradžios laiko žyma, kai yra nuspaustas mygtukas „S2“, žyminti matavimų pradžią, o apačioje žyminti matavimų pabaigą. Šios laiko žymos yra svarbios, kadangi jos parodo ar kompiuteris ir maketas yra susisinchronizavę. Viduryje paveikslo yra parodytas pavyzdys, kaip atrodo laiko žymos, kai laikomas nuspaustas mygtukas „S1“.

Roller Coaster	20:26:40	20:36:40	20:27:06	20:27:07	00:00:26	00:00:27	26	27
			20:27:14	20:27:16	00:00:34	00:00:36	34	36
			20:27:21	20:27:24	00:00:41	00:00:44	41	44
			20:27:30	20:27:31	00:00:50	00:00:51	50	51
			20:28:33	20:28:49	00:01:53	00:02:09	113	129
			20:29:39	20:29:41	00:02:59	00:03:01	179	181

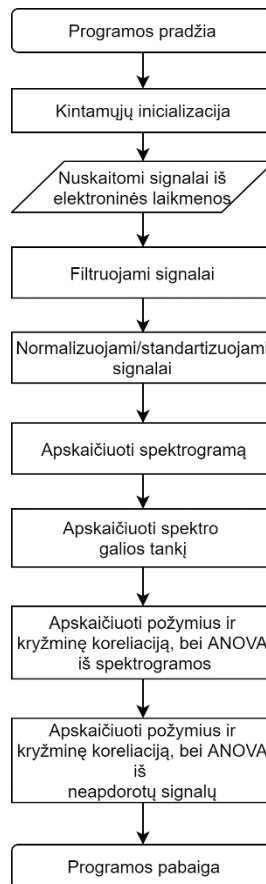
4.8 pav. EEG signalų analizei atlikti paruoštos laiko žymos

Prieš atliekant signalų analizę, informacija iš tekstinių failų yra rankiniu būdu išimama ir sutvarkoma taip, kad ją būtų nesunku suprasti ir analizei skirta programa automatiškai galėtų pasiimti laiko žymas (žr. 4.8 pav.). Pertvarkant laiko žymas iš užfiksuotosios, kai buvo laikomas „S1“ mygtukas, yra atimama matavimų pradžios žyma. Kadangi informacija yra saugoma valandos, minutės, sekundės formatu, o analizei skirtai programai duomenis geriau paduoti sekundėmis, gautas rezultatas yra padauginamas iš 86400 (sekundžių skaičius paroje).

4.3. Programinės įrangos EEG signalams analizuoti kūrimas

Atliekant EEG signalų tyrimą turės būti atliktas išankstinis signalų apdorojimas, požymių skaičiavimas ir požymių analizė. Išankstiniam signalų apdorojimui bus naudojamas juostinis filtras. Šio filtro paskirtis bus nufiltruoti 50 Hz triukšmus ir jo harmonikas, atsirandančias dėl tinklo įtampos. Prieš pradėdant skaičiuoti požymius, signalams bus atliekama normalizacija ir standartizacija. Pasirinkta minimalių-maksimalių verčių (angl. *min-max normalization*) normalizacija ir z-reikšmių (angl. *z-score*) standartizacija. Požymių skaičiavimams pasirinkti statistiniai metodai, tokie kaip

aritmetinis vidurkis, standartinis nuokrypis, entropija, ekscesas, asimetrija. Šie požymiai bus lyginami su rankiniu būdu išmatuotais momentais naudojant kryžminės koreliacijos metodą (angl. *cross-correlation*) ir statistinį metodą ANOVA. Taip pat neapdorotiems signalams bus apskaičiuojamas spektrinis galios tankis (angl. *power spectrum density*).



4.9 pav. Požymiams analizuoti algoritmo struktūrinė schema

Programinei įrangai kurti, EEG signalams analizuoti bus naudojama programavimo kalba „Python 3.7“. Pasirinkta ši programavimo kalba, kadangi ji turi jau sukurtą bibliotekų, skirtų statistinei analizei atlikti bei kryžminei koreliacijai ir spektriniam galios tankiui apskaičiuoti. Kuriant programą bus naudojamos šios bibliotekos:

- „NumPy“ – naudojama veiksams su masyvais, aritmetiniam vidurkiui, standartiniam nuokrypiui ir matematiniams skaičiavimams atlikti
- „SciPy“ – biblioteka, skirta entropijai, ekscesui, asimetrijai, kryžminei koreliacijai, spektriniam galios tankiui apskaičiuoti, matematiniams skaičiavimams atlikti ir juostiniams filtrams sukurti
- „csv“ – naudojama išsaugotiems signalų duomenims nuskaityti
- „Matplotlib“ – grafikams kurti, atvaizduoti ir išsaugoti skirta biblioteka
- „Pandas“ – biblioteka, skirta duomenims nuskaityti, struktūrizuoti, spektrogramai skaičiuoti

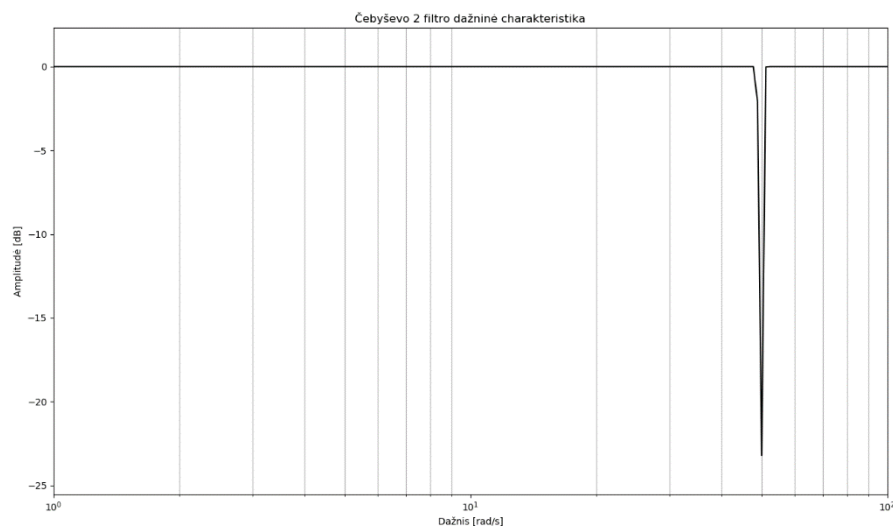
- „mne“ – biblioteka, skirta spektriniam galios tankiui skaičiuoti Tomsono daugiajuosčiu metodu (angl. *Multitaper*)
- „Pickle“ – biblioteka, skirta duomenims saugoti ir nuskaityti
- „OpenPyXL“ – naudojama duomenims saugoti .xlsx formatu
- „Seaborn“ – biblioteka, skirta statistiniams duomenims vizualizuoti
- „Stats“ – ANOVA statistiniams požymiams palyginti

4.9 paveiksle pavaizduota kuriamos programos, skirtos analizuoti EEG signalus, algoritmo struktūrinė schema. Programos vykdymo pradžioje yra inicializuojami pradiniai kintamieji ir naudojamos bibliotekos, nuskaitomi programos nustatymai. Signalų analizės programoje yra tokie nustatymai, kaip greitosios Furjė transformacijos lango ilgis ir persidengimas, signalų diskretizavimo dažnis, analizuojamo signalo pradžia, pabaiga, lango trukmė, spektrinio galios tankio lango ilgis.

Įrašytiems signalams nuskaityti yra naudojama bibliotekos „Pandas“ funkcija *read_csv()*. Ši funkcija leidžia iš karto nuskaityti vieno žaidimo abu kanalus. Toliau signalai yra filtruojami naudojant tris juostinius filtrus. Normalizuojant ir standartizuojant signalus bus gaunami du atskiri duomenų rinkiniai vieno žaidimo kanalui, iš kurių toliau bus atliekama signalų analizė.

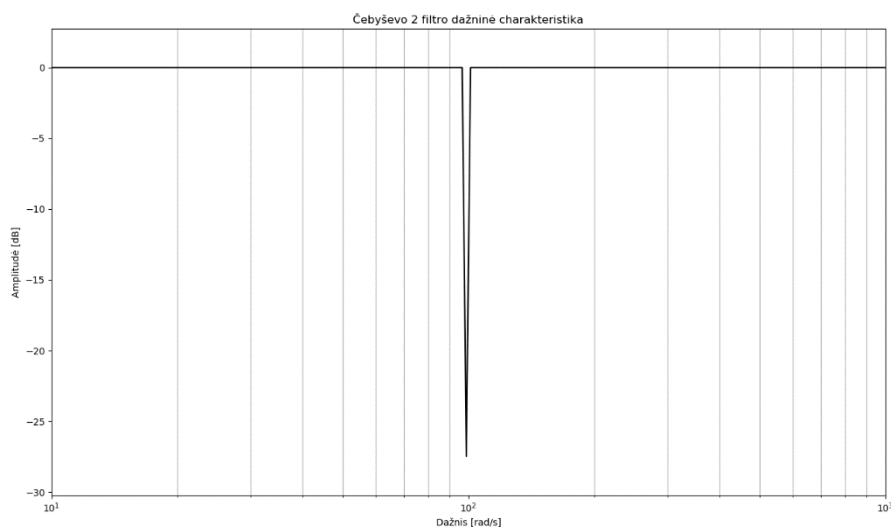
4.3.1. Išankstinis signalų apdorojimas

Išankstiniam signalų apdorojimui pasirinkta naudoti juostinius filtrus ir signalo dalių atmetimą. Realio laiku analizuojant signalus buvo pastebėta, kad pastovūs triukšmai vyrauja ties 50 Hz, 100 Hz ir 110 Hz. Šiems triukšmams panaikinti bus naudojami Čebyševio 2 juostiniai filtrai.



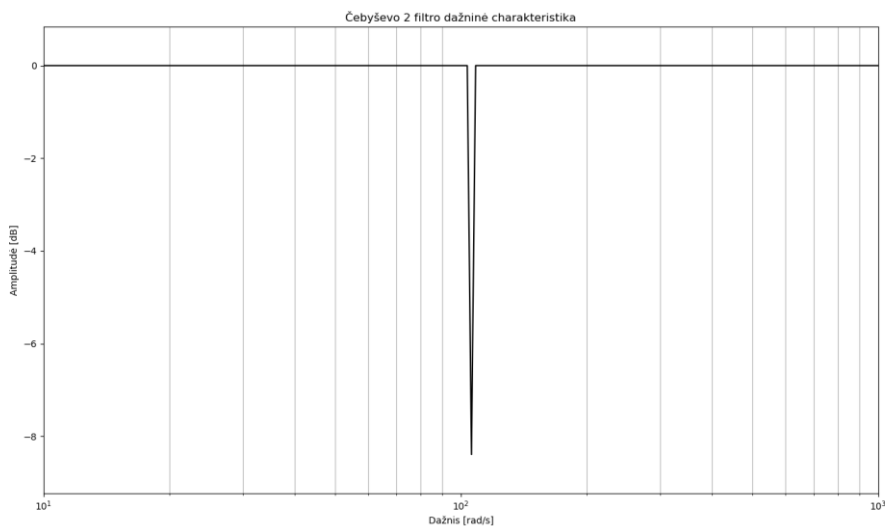
4.10 pav. Čebyševio 2 juostinis filtras

4.10 paveiksle pavaizduota sukurto filtro dažninė charakteristika. Kuriant filtrą naudoti tokie parametrai: filtro eilė 5, slopinimas 23 dB, slopinimo pradžia 49 Hz, pabaiga 50,5 Hz. Šis filtras skirtas slopinti triukšmus, atsirandančius ties 50 Hz.



4.11 pav. Čebyševio 2 juostinis filtras

4.11 paveiksle pavaizduota sukurto filtro dažninė charakteristika. Šio filtro parametrai: filtro eilė 5, slopinimas 27 dB, slopinimo pradžia 98,7 Hz, pabaiga 100 Hz. Šis filtras skirtas slopinti triukšmus, atsirandančius ties 100 Hz.



4.12 pav. Čebyševio 2 juostinis filtras

4.12 paveiksle pavaizduota sukurto filtro dažninė charakteristika. Kuriant filtrą naudoti tokie nustatymai: filtro eilė 5, slopinimas 20 dB, slopinimo pradžia 106 Hz, pabaiga 107 Hz. Šis filtras skirtas slopinti triukšmus, atsirandančius ties 106 Hz.

Filtrams sukurti buvo panaudota bibliotekos „SciPy“ funkcija *signal.cheby2()*. Signalams filtruoti yra naudojama funkcija *signal.sosfilt()*. Išfiltruoti signalai toliau vienu tyrimo metu normalizuojami, kitu standartizuojami. Pasirinktos minimalių-maksimalių verčių (angl. *min-max normalization*) normalizacija ir z-reikšmių standartizacija (angl. *z-score*).

Minimalių-maksimalių verčių normalizacija – tai signalo maksimalios vertės susiejimas su nauja maksimalia ir minimalios vertės susiejimas su nauja minimalia. Normalizuojant šiuo metodu naujas minimumas yra parenkamas 0, o naujas maksimumas 1. Minimalių-maksimalių verčių normalizaciją galima išreikšti tokia formule:

$$z_i = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}, \quad (4.1)$$

čia z_i – naujoji i -tosios atskaitos vertė; x_i – i -tosios atskaitos vertė; $\min(x)$ – signalo minimumas; $\max(x)$ – signalo maksimumas.

Z-reikšmių standartizacijoje yra apskaičiuojamas viso signalo aritmetinis vidurkis ir standartinis nuokrypis. Šią standartizaciją galima išreikšti tokia formule:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s}, \quad (4.2)$$

čia z_i – naujoji i -tosios atskaitos vertė; x_i – i -tosios atskaitos vertė; $\bar{x}$ – signalo aritmetinis vidurkis; s – signalo standartinis nuokrypis.

Skaičiuojant požymius vienu metu jie bus skaičiuojami naudojant normalizuotus duomenis, kitu standartizuotus. Taip pat prieš pradedant požymių skaičiavimą signalams, iš jų bus atmetamos pirmosios 30 s signalo. Tai daroma todėl, nes matavimų pradžioje, kol yra užsidedami virtualiosios realybės akiniai, EEG signalų matavimo prietaisas užfiksuoja daug triukšmų, atsirandančių elektrodams trinantis su oda arba plaukais.

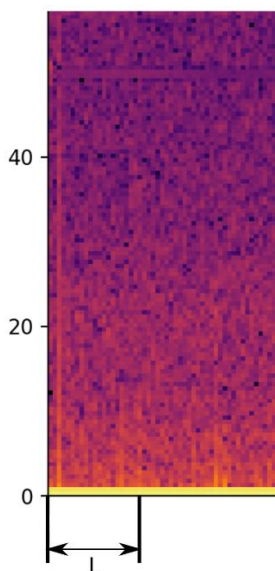
4.3.2. Požymių išskyrimas iš signalų

Atlikus EEG signalų pirminį apdorojimą, toliau galima atlikti požymių gavimą iš jų. Vienas iš šių požymių yra spektrinis galios tankis. Šis požymis parodys, kaip keičiasi signalo galia visame signale ir skirtinguose dažnių ruožuose tarp skirtingų matavimų. Spektrinis galios tankis bus skaičiuojamas trejais metodais: periodogramos, Welch'o, Tomsono daugiajuosčiu (angl. *Thompson Multitaper*). Klasikinis periodogramos metodas turi gerą dažnių raišką, tačiau šiuo metodu gautos atskaitos per daug varijuoja. Welch'o metodu gautas spektrinis galios tankis varijuoja mažai, tačiau turi mažą dažnių rezoliuciją. Tomsono daugiajuostis metodas turi abiejų privalumus: mažai varijuoja ir didelė dažnių rezoliucija. Tyrimo metu bus palyginti šiais metodais gauti rezultatai.

Spektriniams galios tankiam gauti periodogramos ir Welch'o metodais bus naudojama bibliotekos „SciPy“ funkcija *periodogram()* ir *welch()*. Welch'o metodu skaičiuojamam spektriniam galios tankiui bus naudojamas 4 s trukmės langas. Skaičiuojant Tomsono daugiajuosčiu metodu bus naudojama bibliotekos „mne“ funkcija *psd_array_multitaper()*. Išskiriant skirtingų dažnių juostų spektrinį galios tankį, gauto viso galios tankio funkcija bus integruojama ruožuose, atitinkančius EEG signalų dažnių ruožus

Kiti pasirinkti požymių išskyrimo iš signalų metodai yra statistiniai. Šie požymiai bus skaičiuojami iš apdorotų signalų ir iš gautos spektrogramos. Spektrogramai skaičiuoti yra panaudojama bibliotekos „Matplotlib“ funkcija *specgram()*. Naudojant šią funkciją yra nustatomi spektrogramai skaičiuoti skirti pagrindiniai parametrai:

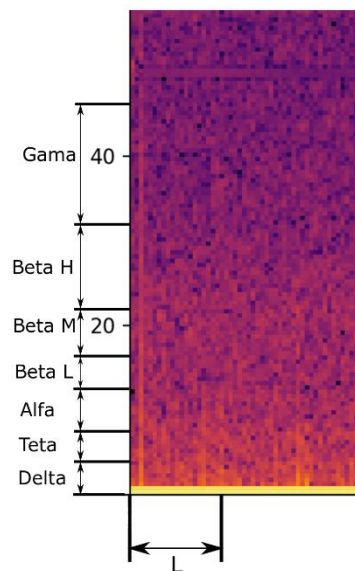
- Greitosios Furjė transformacijos lango plotis – 512 atskaitų.
- Signalo diskretizavimo dažnis – 256 Hz.
- Persidengimas tarp greitosios Furjė transformacijos langų – 64 atskaitos.



4.13 pav. Požymių išskyrimas iš spektrogramos analizės lango

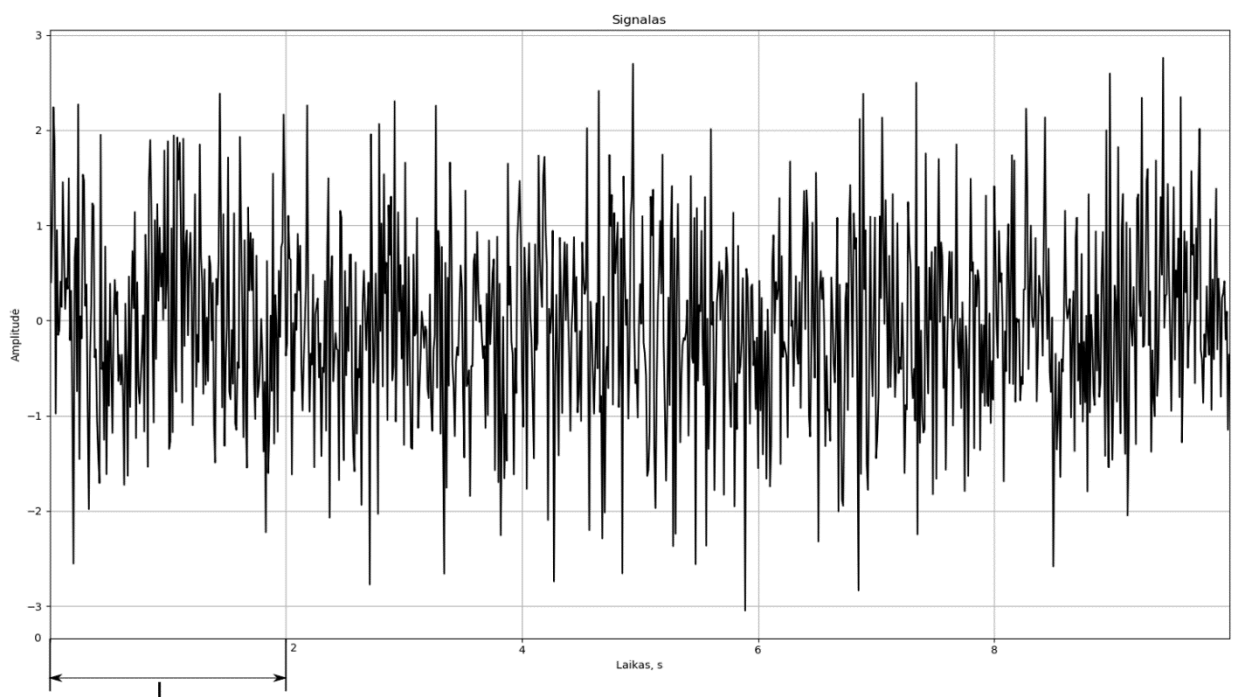
4.13 paveiksle pavaizduotas požymių skaičiavimas iš spektrogramos analizuojamam lango dydžiui L visame dažnių spektre. Tyrimas bus atliekamas keičiant lango dydžius. Pavyzdžiui, jeigu analizės langas parenkamas 2 s, o signalo ilgis yra 12 s, iš tokios spektrogramos bus gaunami 6 langai ir apskaičiuojami 6 vieno statistinio metodo požymiai. Jeigu analizės langas parenkamas 3 s, o signalo trukmė ta pati, tuo atveju gaunami 4 langai ir 4 požymiai.

Požymiai skaičiuojami paimant iš dvimačio duomenų matricos visas vertikalias ir analizės lango pločiu apribotas horizontalias vertes. Tada gautam skaičių vektoriui yra panaudojama statistinio metodo funkcija. Skaičiavimai kartojami, tol kol apskaičiuojamas vieno statistinio metodo požymis visiems analizės langams.



4.14 pav. Požymių išskyrimas iš spektrogramos analizės lango skirtingoms dažnių juostoms

Požymiai iš spektrogramos taip pat yra skaičiuojami skirtingoms EEG signalu dažnių juostoms. Taip pat kaip ir prieš tai bus keičiamas analizės lango plotis L . Tačiau dabar vertikalios spektrogramos vertės dar yra padalinamos į septynias dažnių juostas (žr pav. 4.14). Delta dažnių juosta nuo 0 iki 4 vertikalios spektrogramos vertės, Teta nuo 4 iki 8, Alfa nuo 8 iki 13, Beta žemi nuo 13 iki 17, Beta vidutiniai, nuo 17 iki 21, Beta aukšti nuo 21 iki 32, Gama nuo 32 iki 45. Tokiu būdu yra gaunami vieno analizės lango septynios spektrogramos verčių matricos, iš kurių apskaičiuojamas pasirinktas statistinis metodas. Pavyzdžiui, turime 12 s trukmės signalą, kuriam yra naudojamas 2 s trukmės analizės langas. Šiam signalui galima apskaičiuoti po 6 požymius kiekvienai EEG dažnių juostai.

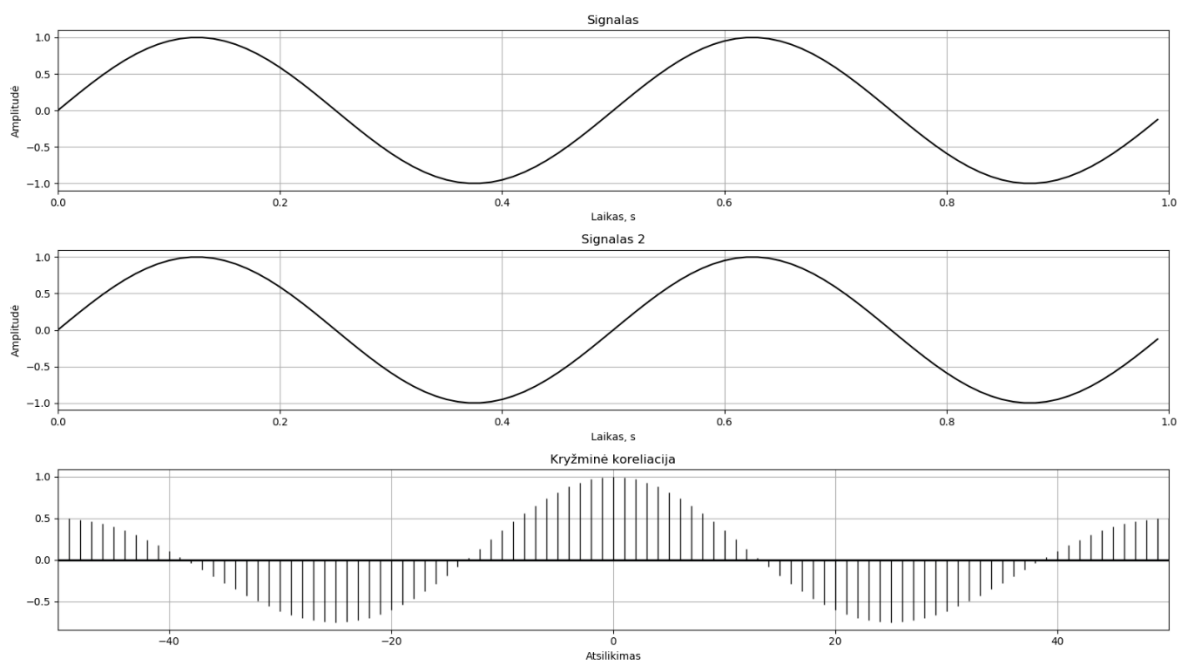


4.15 pav. Požymių išskyrimas iš neapdoroto filtruoto signalo analizės lango

Panašiu metodu požymiai bus skaičiuojami ir iš apdorotų filtruotų signalų. Šiuo atveju vietoje spektrogramos verčių bus imamos apdoroto signalo vertės. Požymiai bus skaičiuojami visam signalui, analizės langams ir jų skirtingoms dažnių juostoms. 4.15 paveiksle parodytas signalo pavyzdys su pasirinktu analizės lango pločiu L , kurio trukmė 2 s, o viso signalo – 10 s. Iš viso tokiame signalui yra gaunami penki vieno statistinio metodo požymiai. Skaičiuojant skirtingoms dažnių juostoms, analizės langas yra filtruojamas į septynias skirtingas dažnių juostas, naudojant juostinius filtras. Juostiniams filtrams sukurti yra pasirinktas Čebyševio 2 filtras, kurio eilė yra 30 ir slopinimas 80 dB. Iš viso yra sukuriama 7 filtrai, su skirtingomis EEG signalo bangų dažnių juostomis: Delta bangos (0,5–4 Hz), Teta bangos (4–7 Hz), Alfa bangos (8–12,5 Hz), Beta žemų (12,5–16 Hz), Beta vidutinių (16–20 Hz), Beta aukštų (20–32), Gama (32–45). Taip pat požymiams skaičiuoti bus naudojami vienos dažnių juostos signalai padalinti iš kitos dažnių juostos signalų. Pavyzdžiui, Delta juosta padalinama iš Teta ir gautoms vertėms apskaičiuojami požymiai.

Požymiams skaičiuoti bus naudojamos jau egzistuojančios bibliotekų „SciPy“ ir „NumPy“ funkcijos *kurtosis()* (ekscesus skaičiuoti), *entropy()* (entropijai skaičiuoti), *skewness()* (asimetrijai skaičiuoti), *mean()* (aritmetiniam vidurkiui skaičiuoti), *std()* (standartiniam nuokrypiui skaičiuoti). Taip pat bus atliekama vieno požymio dalyba iš kito – ekscesus dalinamas iš standartinės nuokrypos, standartinė nuokrypa dalinama iš asimetrijos, ekscesus dalinamas iš entropijos ir asimetrija dalinama iš eksceso.

4.3.3. Požymių analizavimas



4.16 pav. Kryžminės koreliacijos pavyzdys

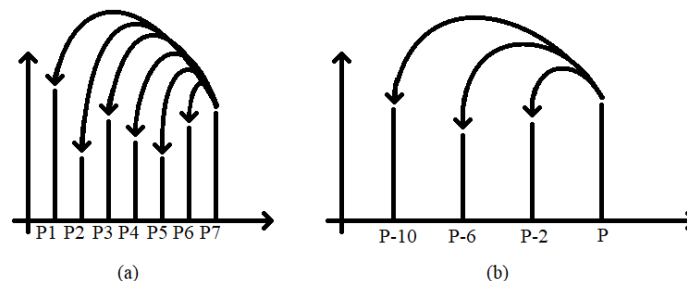
Požymiams analizuoti ir kibernetinės ligos momentams aptikti bus naudojamas kryžminės koreliacijos ir ANOVA (dispersinė analizė) metodai. Kryžminės koreliacijos metodas parodo

panašumą tarp dviejų signalų, o ANOVA – panašumą tarp statistinių požymių. 4.16 paveiksle pavaizduota kryžminės koreliacijos pavyzdys, kuriame palyginti 2 signalai. Iš čia matome, kad ties signalo postūmiu lygiu nuliui, kryžminės koreliacijos koeficientas gaunamas vienetas. Tai reiškia, kad perdengus šiuos du signalus, jie yra labai panašūs. Stumiant vieną signalą į kairę arba dešinę, šis koeficientas mažėja. Tai reiškia, kad pastūmus vieną signalą per N atskaitų ir juos abudu perdengus, jie tampa mažiau panašūs. Kryžminę koreliaciją galima apskaičiuoti pagal šią formulę:

$$\text{norm_corr}(x, y) = \frac{\sum_{n=0}^{n-1} x[n] * y[n]}{\sqrt{\sum_{n=0}^{n-1} x[n]^2 * \sum_{n=0}^{n-1} y[n]^2}}, \quad (4.3)$$

čia $x[n]$ – x signalo n -toji atskaita; $y[n]$ – y signalo n -toji atskaita.

ANOVA – tai statistinis modelis, leidžiantis įvertinti skirtingų kintamųjų dispersijas, kitaip tariant, ar skirtingų grupių vidurkiai yra vienodi. Šiuo atveju skirtingi kintamieji bus požymių vektoriai. Skaičiuojant ANOVA bus naudojama bibliotekos „Stats“ funkcija `anova_lm()`. Skaičiuojant kryžminę koreliaciją bus naudojama bibliotekos „SciPy“ funkcija `correlate()`. Tyrimo metu bus lyginami du vektoriai – rankiniu būdu užfiksuoto signalo su apskaičiuotais požymiais. Požymiai yra laikomi panašūs, jeigu ANOVA koeficientas p yra gaunamas mažesnis negu 0,05.



4.17 pav. Požymių palyginimas tarp kibernetinės ligos simptomų momentų

Atliekant požymių analizę naudojant ANOVA iš spektrogramos bus lyginami:

- Tie patys žaidimai ir dienos tarp skirtingų požymių. Ieškoma, kaip kinta vieno žaidimo skirtingi požymiai.
- Tie patys požymiai ir dienos tarp skirtingų žaidimų. Ieškoma, kaip kinta skirtingų žaidimų, vienas požymis.
- Tie patys požymiai ir žaidimai tarp skirtingų dienų. Ieškoma, kaip kinta vieno žaidimo tas pats požymis tarp skirtingų dienų.

Lyginami bus ne tik žaidimai, kuriuose atsirado kibernetinės ligos simptomai, tačiau visi gauti matavimai. Tokiu būdu bus ieškoma apgaulingų teigiamų rezultatų (angl. *false positives*). Rezultatas laikomas apgaulingu jeigu yra randama daug panašumų skirtinguose žaidimuose, tarp kurių neturėtų būti. Be to analizuojant gautus spektrogramų požymius bus lyginamas paskutinio kibernetinės ligos

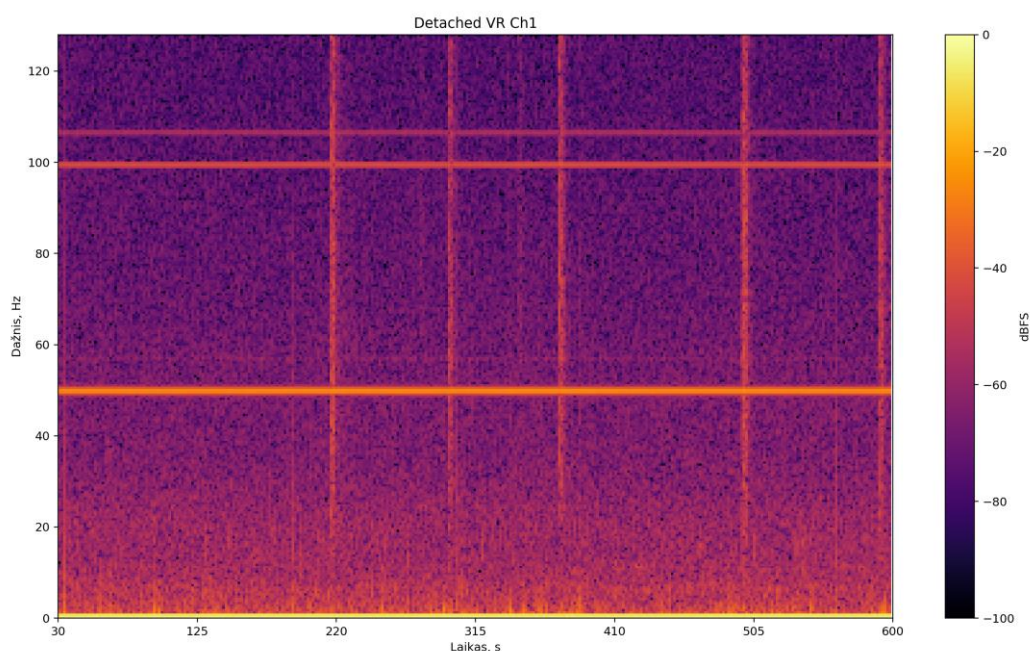
simptomo požymis su praeitais (žr. 4.17(a) pav.). Taip bus tikrinama, kaip vienas požymis kito žaidimo metu. Pavyzdžiui pradžioje žaidimo jis galbūt buvo mažesnis arba didesnis. Taip pat kiekvienas iš šių momento požymių bus lyginamas su požymiais įvykusiais prieš 2, 6 ir 10 sekundžių (žr. 4.17(b) pav.), kai nebuvo jaučiama kibernetinės ligos. Ieškoma ar požymis pakito prieš atsirandant kibernetinės ligos simptomui lyginant su simptomo metu gautu požymiu.

4.4. Rankiniu būdu užfiksuotų kibernetinės ligos momentų rezultatai

Atliekant eksperimentinį tyrimą, kurio metu matavau savo EEG signalus, buvo žaidžiami penki virtualiosios realybės žaidimai. Eksperimentų metu buvo pastebėta, kad tik du žaidimai iš penkių sukelia kibernetinę ligą, kurios metu yra jaučiamas pykinimas ir galvos svaigimas. Šie požymiai pasireiškėdavo trumpais 1–10 sekundžių impulsais, po keletą kartų žaidimo metu. Taip pat buvo pastebėta, kad pykinimas ir galvos svaigimas pasireiškėdavo nekontroliuojamo judėjimo momentais.

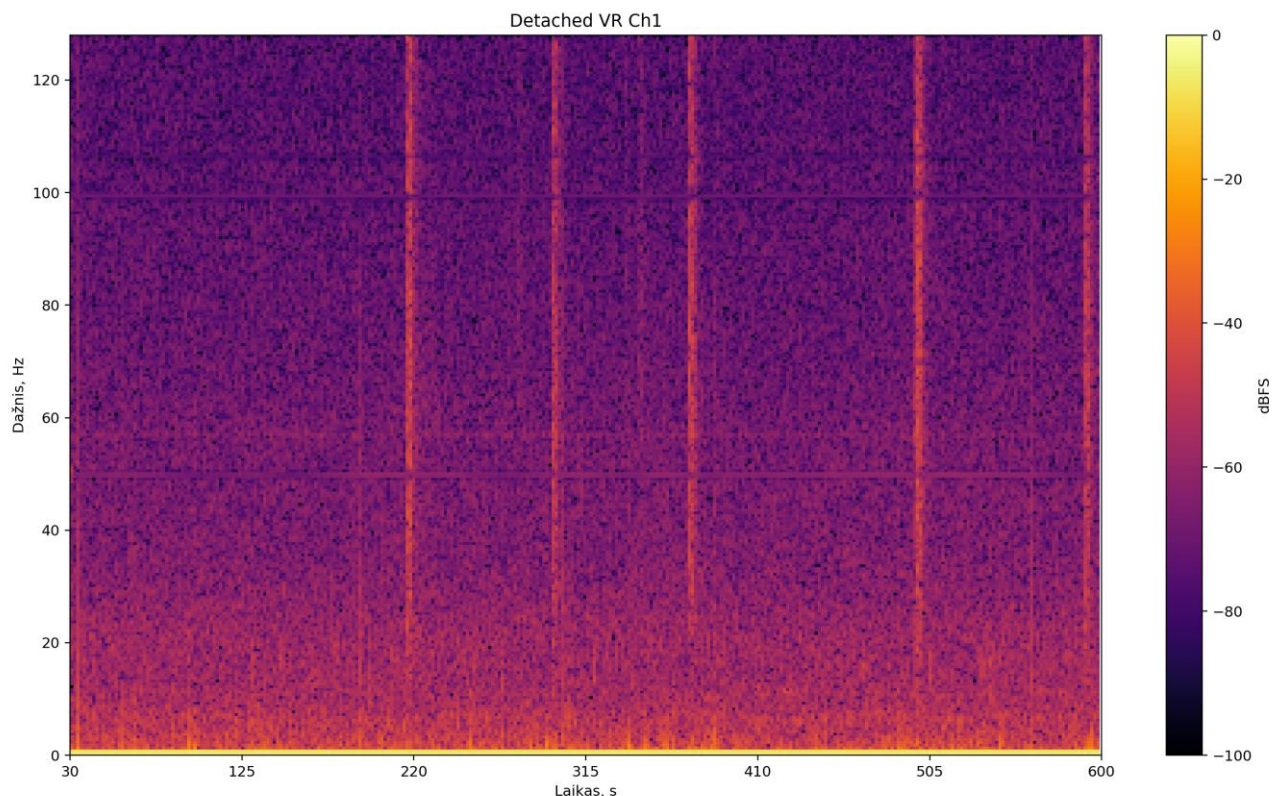
Nekontroliuojamo judėjimo momentai – tai tokie momentai, kai vaizde yra matomas kažkoks tai judėjimas, kurio žaidėjas negali jokių būdų jo pakeisti. Pavyzdžiui, viename žaidime „Epic Roller Coasters“, kuriame buvo jaučiamas pykinimas ir galvos svaigimas, šie momentai pasijausdavo, kai virtualus vežimėlis pakrypdavo į priekį, į dešinę, į kairę, atgal arba atlikdavo staigų posūkį. Kitame žaidime „Detached VR“ šie požymiai buvo jaučiami, kai skraidant virtualiojoje kosminėje erdvėje būdavo sunku orientuotis, kur yra grindys, o kur lubos. Toliau atliekant tyrimą bus atsižvelgta į tai, kad tik dviejuose žaidimuose buvo užfiksuoti kibernetinės ligos požymiai ir atitinkamai bus analizuojami gauti duomenys.

4.5. Išankstinio signalų apdorojimo rezultatai



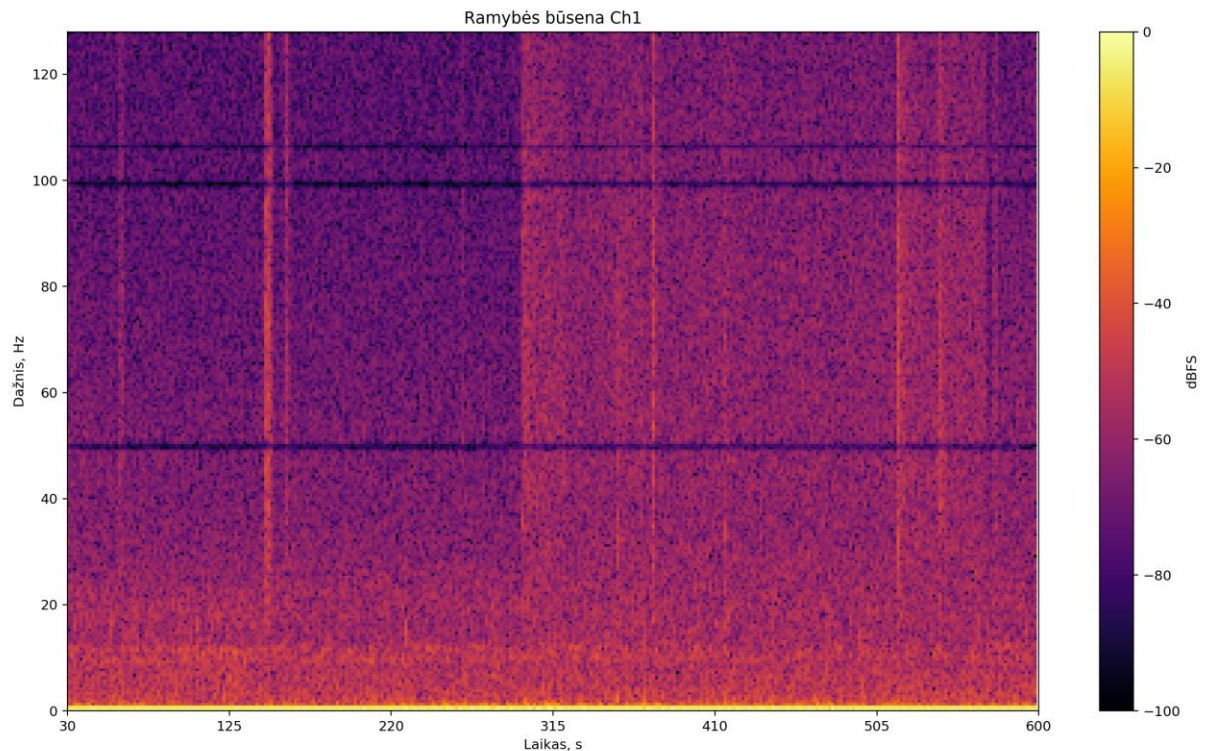
4.18 pav. Žaidimo „Detached VR“ nefiltruoto signalo spektrograma

Pirmasis atliktas žingsnis analizuojant EEG signalus buvo išankstinis signalų apdorojimas. Apdorojimą sudarė signalo filtravimas ir signalo dalių atmetimas rankiniu būdu. 4.18 paveiksle pavaizduota pirmosios matavimų dienos EEG neapdoroto signalo pirmojo kanalo spektrograma, gauta žaidžiant virtualiosios realybės žaidimą „Detached VR“. Iš čia matyti, kad ties 50 Hz, 98 Hz ir 107 Hz yra gaunamas labai didelis triukšmas, kuris gali trukdyti atlikti EEG signalų analizę. Filtravimui buvo naudojami trys Čebyševio 2 juostiniai filtrai. Taip pat rankiniu būdu buvo atmesta pirmosios 30 s ir likęs matavimo laikas nuo 600 s. Tai padaryta todėl, nes matavimų pradžioje ir pabaigoje, kol yra užsidedami ir nusiimami virtualiosios realybės akiniai, yra išmatuojama daug nereikalingo triukšmo.



4.19 pav. Žaidimo „Detached VR“ su išfiltruotu signalu spektrograma

4.19 paveiksle pavaizduota pirmosios matavimų dienos EEG signalo pirmojo kanalo spektrograma, gauta žaidžiant virtualiosios realybės žaidimą „Detached VR“. Šiam signalui buvo pritaikyti sukurti juostiniai filtrai. Iš paveikslo matyti, kad ties 50 Hz, 98 Hz ir 107 Hz triukšmai buvo pašalinti. Tačiau toks EEG signalų filtravimas turi vieną problemą. Signalams filtruoti negalima sukurti vieno filtro ir jo pritaikyti visiems atliktiems matavimams. Norint išfiltruoti bet kokią signalą, reikia kurti adaptyvųjį filtrą, kuris prisitaikytu prie triukšmo, esančio signalė.



4.20 pav. Ramybės būsenos išfiltruoto signalo spektrograma

4.20 paveiksle pavaizduota pirmosios matavimų dienos EEG signalo pirmojo kanalo spektrograma, gauta esant ramybės būsenoje. Iš čia matyti, kad tas pats filtras nufiltravo per stipriai ir gali būti buvo prarasta naudingos informacijos 50 Hz, 98 Hz ir 107 Hz dažnių ruožuose. Tai reiškia, kad norint neprarasti svarbios signalo informacijos reikia sukurti kiekvienos dienos kiekvienam žaidimui po šešis filtrus vienam kanalui, kad būtų pašalinti kylantys triukšmai šiuose dažniuose. Iš viso dvylika filtrų vienos dienos matavimams. Tai yra nepraktiškas ir daug laiko užimantis būdas triukšmams šalinti. Todėl buvo pasirinkta analizuoti EEG signalus nevisame spektro dažnių ruože, o nuo 0,01 Hz iki 45 Hz. Pasirinktas toks dažnių ruožas, kadangi jis apima visus EEG dažnius ir yra mažesnis negu atsirandančių triukšmų dažnių juostas.

4.6. Spektrinio galios tankio analizės rezultatai

Atliekant EEG signalų analizę buvo skaičiuojamas signalo spektrinis galios tankis. Šio metodo tikslas buvo patikrinti, kaip kinta viso signalo ir atskirų dažnių juostų galia, žaidžiant virtualiosios realybės žaidimus ir būnant ramybės būsenoje. Spektrinis galios tankis buvo skaičiuojamas trimis metodais – klasikiniu periodogramos, Welch'o ir Tomsono daugiajuosčiu. Atlikus skaičiavimus buvo pastebėta, kad klasikiniu periodogramos metodu gautas spektrinis galios tankis skiriasi nuo kitų dviejų metodų.

4.1 lentelė. Klasikiniu periodogramos metodu gautas pirmos dienos spektrinis galios tankis

	„Detached VR“	„Epic Roller Coaster“	„House of the Dying Sun“	„Project Cars 2“	„Ramybės būseną“	„Windlands 2“
Visa galia	0.0006254799	0.0021611150	0.0030941540	0.0016616877	0.0052829426	0.0019498086
Delta	0.0004688973	0.0019658265	0.0029194098	0.0015002643	0.0050662919	0.0017608627
Teta	0.0000637102	0.0000725138	0.0000775239	0.0000673584	0.0000571437	0.0000919649
Alfa	0.0000285032	0.0000341626	0.0000278573	0.0000264010	0.0000747654	0.0000327231
Beta žemi	0.0000147228	0.0000168457	0.0000144118	0.0000158126	0.0000197278	0.0000159841
Beta vidutiniai	0.0000144527	0.0000170684	0.0000139648	0.0000143499	0.0000188096	0.0000149012
Beta aukšti	0.0000214460	0.0000311756	0.0000234994	0.0000229717	0.0000284410	0.0000215777
Gama	0.0000132999	0.0000230648	0.0000170880	0.0000141139	0.0000172646	0.0000113103
Iš viso	0.0006250321	0.0021606574	0.0030937550	0.0016612718	0.0052824440	0.0019493240
Absoliutinė paklaida	0.0000004478	0.0000004576	0.0000003990	0.0000004159	0.0000004986	0.0000004846

4.1 lentelėje yra spektrinis galios tankis, gautas naudojant klasikinį periodogramos metodą. Visos galios vertė yra gaunama panaudojus funkciją *periodogram()*. Skirtingų dažnių ruožų vertės yra gaunamos integruojant visos galios funkciją. Iš viso vertė apskaičiuojama sudedant visų dažnių ruožų vertes. Palyginus funkcijos *periodogram()* gautą spektrinį galios tankį su apskaičiuotu integruojant gauname, kad šie dydžiai yra nevienodi. Tai parodo apskaičiuota absoliutinė paklaida.

4.2 lentelė Welch'o metodu gautas pirmos dienos spektrinis galios tankis

	„Detached VR“	„Epic Roller Coaster“	„House of the Dying Sun“	„Project Cars 2“	Ramybės būseną	„Windlands 2“
Visa galia	0.0005922425	0.0018158914	0.0023602136	0.0014506478	0.0043498865	0.0019168014
Delta	0.0004451057	0.0016273419	0.0021924073	0.0012952881	0.0041415463	0.0017350202
Teta	0.0000608723	0.0000725527	0.0000760996	0.0000665983	0.0000551969	0.0000917522
Alfa	0.0000262826	0.0000321389	0.0000260277	0.0000245998	0.0000727299	0.0000305850
Beta žemi	0.0000135073	0.0000155559	0.0000133854	0.0000145979	0.0000181017	0.0000146086
Beta vidutiniai	0.0000133667	0.0000158564	0.0000131322	0.0000136208	0.0000183115	0.0000135055
Beta aukšti	0.0000200174	0.0000297936	0.0000223009	0.0000219562	0.0000269386	0.0000203034
Gama	0.0000130904	0.0000226519	0.0000168604	0.0000139866	0.0000170617	0.0000110263
Iš viso	0.0005922424	0.0018158913	0.0023602135	0.0014506477	0.0043498866	0.0019168012
Absoliutinė paklaida	0.0000000001	0.0000000001	0.0000000001	0.0000000001	0.0000000001	0.0000000002

4.2 lentelėje yra spektrinis galios tankis gautas naudojant Welch'o metodą. Skirtingų dažnių spektriniai galios tankiai yra gaunami taip pat integruojant gautą funkciją. Iš lentelės galima iškart pastebėti, kad absoliutinė paklaida yra daug kartų mažesnė, nei skaičiuojant spektrinį galios tankį klasikiniu periodogramos metodu.

4.3 lentelė. Tomsono daugiajuosčiu metodu gautas spektrinis galios tankis

	„Detached VR“	„Epic Roller Coaster“	„House of the Dying Sun“	„Project Cars 2“	Ramybės būseną	„Windlands 2“
Visa galia	0.0005965666	0.0022899319	0.0032480187	0.0014746527	0.0056090759	0.0019731493
Delta	0.0004484850	0.0021012665	0.0030763271	0.0013227324	0.0054004990	0.0017909772
Teta	0.0000611426	0.0000719706	0.0000770693	0.0000637768	0.0000552240	0.0000905401
Alfa	0.0000264650	0.0000326711	0.0000267914	0.0000247485	0.0000724438	0.0000305834
Beta žemi	0.0000138080	0.0000157904	0.0000136749	0.0000146587	0.0000180995	0.0000149767
Beta vidutiniai	0.0000134074	0.0000160568	0.0000131951	0.0000133281	0.0000181953	0.0000139968
Beta aukšti	0.0000201960	0.0000299361	0.0000230996	0.0000218570	0.0000271849	0.0000206971
Gama	0.0000130626	0.0000222403	0.0000178614	0.0000135513	0.0000174294	0.0000113780
Iš viso	0.0005965666	0.0022899318	0.0032480188	0.0014746528	0.0056090759	0.0019731493
Absoliutinė paklaida	0.0000000000	0.0000000001	0.0000000001	0.0000000001	0.0000000000	0.0000000000

Paskutiniu metodu, kuriuo apskaičiuotas spektrinis galios tankis yra Tomsono daugiajuostis. Šiuo metodu skaičiuojant skirtingų dažnių spektrinius galios tankius taip pat gauta funkcija buvo integruojama. Gauti rezultatai pateikti 4.3 lentelėje. Iš jos matyti, kad absoliutinė paklaida yra taip pat labai maža, panaši kaip Welch'o metodu gautos absoliutinės paklaidos.

Klasikinės periodogramos metodu gautas spektrinis galios tankis turi tokią paklaidą, kadangi šiuo metodu gautos galios vertės labai varijuoja. Tuo tarpu Welch'o ir Tomsono daugiajuostis metodai pasižymi maža variacija. Tai galėjo padaryti įtaką gautiems rezultatams. Toliau nagrinėjant spektrinį galios tankį bus naudojami Tomsono daugiajuosčiu metodu gauti rezultatai. Pasirinktas šis metodas, kadangi jis yra tiksliausias ir apskaičiuojant šiuo metodu spektrinį galios tankį yra gaunama mažiausia absoliutinė paklaida.

Priede C yra pateiktos stulpelinės diagramos, kuriose pavaizduoti Tomsono daugiajuosčiu metodu apskaičiuoti spektriniai galios tankiai. Analizuojant šias diagramas buvo ieškoma spektro galios pokyčių panašumų tarp skirtingų žaidimų viso signalo ir atskirų dažnių juostų. Kadangi

rankiniu būdu kibernetinės ligos momentai buvo užfiksuoti tik dviejų žaidimų metu, tai šių jų spektriniai galios tankiai bus lyginami su kitais.

Lyginant spektrinius galios tankius buvo ieškota „Epic Roller Coasters“ ir „Detached VR“ žaidimų pokyčių spektro galios tankyje. Pavyzdžiui, jeigu iš šių žaidimų bent vienos dažnių juostos ar viso signalo galia yra gaunama didesnė arba mažesnė negu kitų žaidimų ir ramybės būsenos galias ir ši tendencija yra pastebima kitų dienų matavimuose, tai tuo atveju yra laikoma, kad yra galimybė aptikti kibernetinės ligos momentus iš spektrinio galios tankio.

Išanalizavus spektrines diagramas buvo pastebėta, kad septintą matavimo dieną žaidimo „Detached VR“ pirmame ir antrame kanale, delta ir teta dažnių juostos galia buvo stipriai didesnė negu kitų matavimų. Žaidime „Epic Roller Coasters“ šeštą dieną, delta dažnių juostos pirmojo kanalo, taip pat penktos dienos tos pačios dažnių juostos antrojo kanalo galia buvo daug didesnė negu kitos. Lyginant šiuos du žaidimus panašumų nepastebėta. Todėl galima teigti, kad naudojant atvirojo kodo sistemą „Olimex EEG-SMT“ signalams matuoti, nėra galimybės iš gautų spektrinių galios tankių pasakyti ar matavimuose yra kibernetinės ligos simptomų, ar nėra.

4.7. Statistinės analizės rezultatai

Atliekant tyrimų analizę statistiniais metodais požymiai lyginami buvo dvejais būdais – kryžmine koreliacija ir ANOVA. Toliau šiais metodais gauti rezultatai buvo patikrinami rankiniu būdu.

Kryžmine koreliacija buvo lyginami naudojant sukurtą maketą rankiniu būdu užfiksuoti kibernetinės ligos momentai su gautais požymių vektoriais. Rankiniu būdu signalams užfiksuoti buvo naudojamas sukurtas maketas, aptartas 4.2 skyriuje. Požymių vektoriai buvo gaunami iš:

- Spektrogramos viso dažnių ruožo skirtingiems analizės langams;
- Spektrogramos EEG dažnių ruožų skirtingiems analizės langams;
- Neapdoroto, filtruoto signalo EEG dažnių ruožų skirtingiems analizės langams;
- Neapdoroto, filtruoto signalo, kai EEG dažnių ruožai yra dalinami vienas iš kito.

Skaičiuojama atskiriems analizės langams. Pasirinkti analizės langai – 2 s, 6 s ir 10 s. Iš viso buvo sudaryta dešimt skirtingų galimų požymių. Penki statistiniai požymiai buvo tiesiogiai apskaičiuojami iš signalo, o kiti išvestiniai, gaunami padalinant vieną požymį iš kito. Gauti požymiai ir jų deriniai:

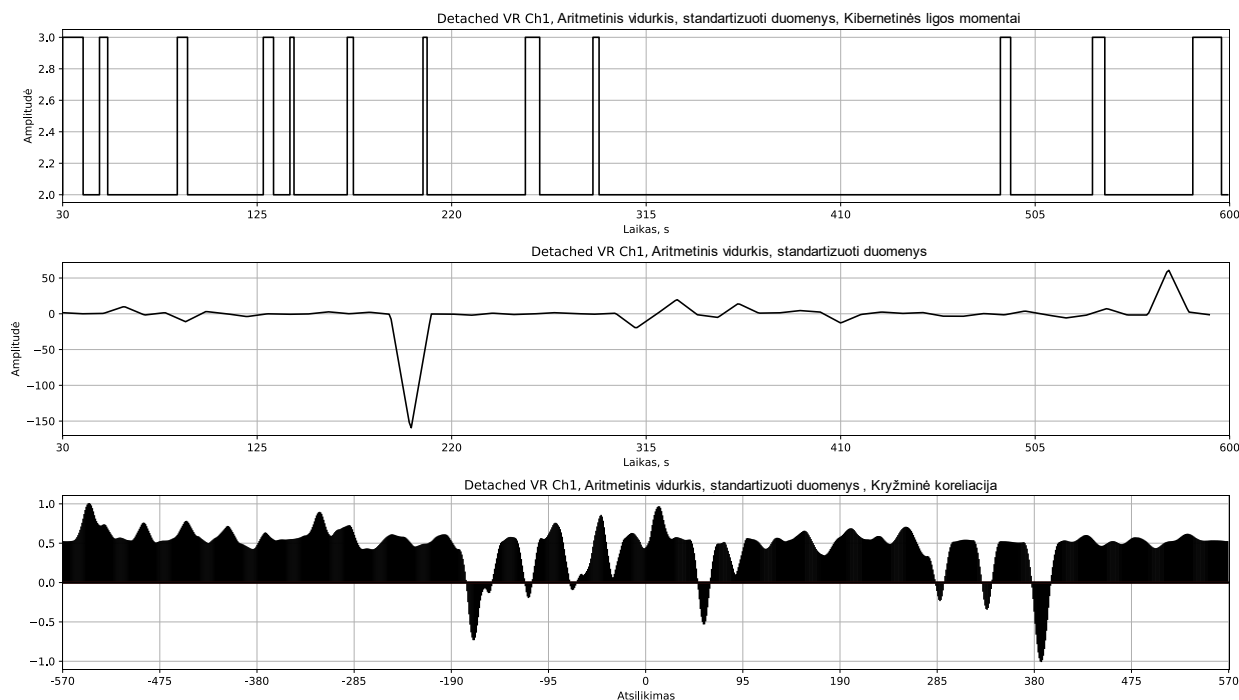
- Aritmetinis vidurkis;
- Standartinis nuokrypis;
- Ekscesas;
- Entropija;
- Asimetrija;

- Aritmetinis vidurkis padalintas iš standartinio nuokrypio;
- Ekscesas padalintas iš standartinio nuokrypio;
- Standartinis nuokrypis padalintas iš asimetrijos;
- Ekscesas padalintas iš entropijos;
- Asimetrija padalinta iš eksceso.

Naudojant ANOVA buvo naudojami tie patys gauti požymių vektoriai. Tačiau šiuo atveju buvo lyginama ne rankiniu būdu užfiksuoti signalai su požymių vektoriais, o požymių vektoriai tarpusavyje.

4.7.1. Kryžminės koreliacijos rezultatai

Vienas iš metodų, skirtų patikrinti gautus požymius su rankiniu būdu išmatuotais signalais buvo kryžminė koreliacija. Naudojant šį metodą buvo tikrinami spektrogramos požymiai, gauti 0–45 Hz ir atskiruose EEG dažnių ruožuose. Taip pat neapdorotų filtruotų signalų požymiai gauti EEG signalų dažnių ruožuose ir signalų dažnių ruožus dalinant vieną iš kito. Iš viso buvo sudaryta 467 200 požymių vektorių. Tačiau tik trečdalis iš jų buvo lyginami naudojant kryžminę koreliaciją. Taip pasirinkta daryti, kadangi tik dviejuose matavimuose iš šešių buvo jaučiami kibernetinės ligos simptomai.



4.21 pav. Vienas iš kryžmine koreliacija palygintų signalų rezultatų

4.21 paveiksle pavaizduotas kryžminės koreliacijos rezultatas. Iš viso buvo gauta 2 297 tokių paveikslų. Tai reiškia, kad iš 158 733 požymių palyginimų tik 1,47 % turėjo panašumą. Tačiau rankiniu būdu patikrinus visus gautus potencialius paveikslus, nei vienas iš jų neparodė, kad lyginami signalai panašūs. Tikrinimas buvo atliekamas ieškant kryžminės koreliacijos vektoriaus, kuriame

būtų tik vienas maksimumas atsilikimo ribose nuo -50 iki 50, kurios atitinka sekundes. Šiuo atveju kai atsilikimo riba yra 50, tai reiškia, kad atliekant kryžminę koreliaciją, požymių vektorius yra pastumiamas per 50 atskaitų į dešinę. Gavus maksimumą arba kitaip tariant signalo panašumą didesnėse ribose negalėtume sakyti, kad signalai koreliuoja, kadangi tarp kibernetinės ligos simptomo užfiksavimo ir požymio pokyčio momentų praėjo per daug laiko. Taip pat, ar signalai koreliuoja parodo vienas lokalus maksimumas kryžminės koreliacijos vektoriuje. Paveiksle 4.20 galima pamatyti, kad tokių maksimumų yra keli, kai atsilikimas lygus -550, -300, -50 ir 20. Tai reiškia, kad šie signalai panašumų neturi, o maksimumai gauti atsitiktiniu būdu.

4.7.2. ANOVA rezultatai

Tikrinant iš spektrogramos gautus požymius naudojant ANOVA metodą buvo patikrinti deriniai:

- Tie patys žaidimai ir dienos tarp skirtingų požymių.
- Tie patys požymiai ir dienos tarp skirtingų žaidimų.
- Tie patys požymiai ir žaidimai tarp skirtingų dienų.

Atliekant patikrinimą tarp tų pačių žaidimų ir dienų, tačiau skirtingų požymių vienam analizės langui buvo sudaryta 21 600 palyginimų. Kadangi tyrime buvo naudojami trys skirtingos trukmės analizės langai, iš viso palyginta 64 800 požymių, tarp kurių rasta 1 760 panašumų. Iš jų tik 150 priklausė „Detached VR“ ir 160 „Epic Roller Coaster“ žaidimams, kuriuos žaidžiant atsirasdavo kibernetinės ligos simptomai.

Lyginant tos pačios dienos požymius tarp skirtingų žaidimų vienam analizės langui buvo sudaryta 12 000 derinių, iš viso 36 000. Tarp jų rasta 968 panašumai, iš kurių 232 gauti, kai buvo lyginami „Detached VR“ ir „Epic Roller Coaster“ žaidimų požymiai. Lyginant skirtingas dienas iš viso buvo gauta 64 800 požymių palyginimų. Tačiau iš jų nei vienas netūrėjo panašumų.

Šie trys metodai taip pat yra patikrinami su dar dviem skirtingais duomenų rinkiniais, kuriuos sudaro požymių vektoriai gauti tik iš laiko momentų, kai atsiranda kibernetinė liga. Pavyzdžiui, jeigu buvo užfiksuoti kibernetinės ligos momentai ties 300, 450 ir 500 sekundę, tai paimami šių momentų požymiai iš požymių vektoriaus. Toliau vienas duomenų rinkinys gaunamas iš paskutiniojo momento atimant prieš tai buvusius. Šiuo atveju iš 500 s požymio atimamas 450 s ir 300 s požymiai. Tokiu būdu gaunami 2 skirtingi požymiai, kurie parodo, kaip žaidimo metu jie kito (didėjo arba mažėjo). Kitas duomenų rinkinys gaunamas iš kiekvieno užfiksuoto momento požymio atimant požymį buvusį prieš 2, 6, 10 sekundžių. Pavyzdžiui, iš 500 s momento požymio atimami 498 s, 494 s, ir 490 s požymiai. Šiais trimis metodais bus tikrinami tik 2 žaidimai tarpusavyje.

Rezultatai, kai iš paskutiniojo atimami prieš jį buvę požymiai. Atlikus duomenų rinkinių palyginimą pirmuoju metodu (tie patys žaidimai ir dienos, tarp skirtingų požymių) buvo gauta 7 168 palyginimų. Gauti rezultatai parodė, kad iš jų 532 turi panašumų. Antruoju metodu (tie patys

požymiai ir dienos tarp skirtingų žaidimų), buvo gauta 800 palyginimų, iš kurių 160 turėjo panašumų. Trečiuoju metodu (tie patys požymiai ir žaidimai tarp skirtingų dienų) buvo gauta 800 palyginimų, iš kurių nei vienas neturėjo panašumų.

Rezultatai, kai iš laiko momento požymio atimamas prieš kelias sekundes gautas požymis. Prieš 2, 6, 10 sekundžių gautų požymių palyginimui buvo sudaryta po 7 972 derinių, iš viso – 23 916. Pirmuoju metodu lyginant duomenis buvo gauti 260 panašumų, kai lyginama su momentu prieš 2 s. Iš jų 108 priklausė žaidimui „Detached VR“ ir 152 – „Epic Roller Coasters“. Momentams prieš 6 s gauti 112 panašumai, iš kurių 40 yra „Detached VR“ ir 72 – „Epic Roller Coaster“. Momentams prieš 10 s gauti 366 panašumai, iš kurių 198 yra „Detached VR“ ir 168 – „Epic Roller Coaster“. Atlikus duomenų rinkinių palyginimą antruoju metodu buvo gauta, kad iš 800 (iš viso 2 400) palyginimų tik 26 yra panašūs, kai lyginama su požymiu prieš 2 s, 14 – prieš 6 s, 30 – prieš 10 s. Trečiuoju metodu gauta po 800 palyginimų (iš viso 2 400), iš kurių nei vienas neturėjo panašumų.

Iš viso su ANOVA buvo palyginti 105 884 požymių rinkiniai, iš kurių 4 228 turėjo panašumų. 950 panašumų, kai lyginami „Detached VR“ požymiai tarpusavyje, 1092 – „Epic Roller Coaster“ ir 1 378 kai lyginami požymiai tarp žaidimų. Iš šių visų požymių rinkinių 28 716 sudarė tik lyginami žaidimai, kuriuose buvo jaučiami kibernetinės ligos simptomai. Tik 808 turėjo panašumų.

4.8. Trumpas skyriaus apibendrinimas

Šiame skyriuje buvo sudarytos EEG signalų nuskaitymo ir analizavimo programos, parinkti požymių palyginimo metodai ir atlikta požymių analizė. Kuriant EEG signalų analizavimo programą buvo pastebėta, kad nėra galimybės sukurti vieno filtro, tinkančio visiems matavimams. Todėl buvo nuspręsta analizuoti dažnių ruožą nuo 0 iki 45 Hz. Atliekant spektrinio galios tankio analizę trimis metodais buvo nustatyta, kad Tomsono daugiajuostis metodas tiksliausiai apskaičiuoja spektrinį galios tankį. Tačiau iš spektrinio galios tankio nebuvo galima nustatyti signalų panašumo, leidžiančio aptikti kibernetinės ligos momentus. Atliekant signalų palyginimą su kryžmine koreliacija buvo gauta 476 200 skirtingi deriniai, iš kurių palyginti 158 733. Taip padaryta todėl, kad tik dviejuose žaidimuose buvo jaučiami kibernetinės ligos simptomai. Palyginimo metu gauta, kad tik 2 297 signalų deriniai yra panašūs. Papildomai atlikus rankinę patikrą, nei vienas iš galimų derinių nebuvo tinkamas. Todėl galima teigti, kad naudojant kryžminę koreliaciją ir statistinius metodus aptikti kibernetinės ligos simptomų momentų negalima. Atlikus signalų palyginimą su ANOVA buvo sudaryti 105 884 požymių rinkiniai, iš kurių tik 4 228 buvo panašūs. Su ANOVA tikrinti tik žaidimai, kuriuose buvo jaučiami kibernetinės ligos simptomai. Šiuo statistinės analizės metodu gautas gana nedidelis panašumų skaičius, todėl galima teigti, kad naudojant statistinius metodus ir ANOVA aptikti kibernetinės ligos simptomų nepavyko.

APIBENDRINIMAS. IŠVADOS

1. Požymių EEG signaluose išskyrimo metodų analitinėje apžvalgoje buvo aptarti dažniausiai naudojami išankstiniai signalų apdorojimo metodai, požymių išskyrimo algoritmai, signalų klasifikavimo būdai. Atlikus apžvalgą buvo nustatyta, kad dažniausiai signalams iš anksto apdoroti yra naudojami įvairūs filtrai, nepriklausomų komponentų analizė ir rankinis triukšmo pašalinimas iš signalų. Požymiams išskirti iš EEG signalų populiariausi metodai yra greitoji Furjė transformacija, bangelių transformacija ir autoregresyvusis požymių išskyrimo metodai. Greitoji Furjė transformacija leidžia tirti signalus laikinėje srityje. Bangelių transformacija yra naudojama, kai norime nagrinėti signalus tiek laikinėje, tiek dažninėje srityse. Autoregresyvusis požymių išskyrimo metodas taikomas spektriniam galios tankiui gauti iš tiriamo signalo. Gautiems požymiams klasifikuoti yra naudojami paprasti tiesiniai klasifikatoriai arba atraminių vektorių mašinos. Dažniausiai, jeigu yra galimybė, požymiai yra klasifikuojami naudojant neuronų tinklus. Taip pat šiame skyriuje buvo apžvelgtos jau sukurtos atvirojo kodo programos, skirtos analizuoti EEG signalus. Išbandžius tris programas buvo aprašytos jų funkcijos ir nustatyti trūkumai, dėl kurių nuspręsta kurti savo programą atvirojo kodo sistemai.
2. Žmogaus reakcijos į vizualizavimą virtualiosios realybės statistinio metodo analizės skyriuje buvo pateikti pasirinkti statistiniai metodai požymiams išskirti iš EEG signalų. Pasirinkti metodai buvo aritmetinis vidurkis, standartinis nuokrypis, ekscesas, entropija ir asimetrija. Šiame skyriuje detalios aprašyti naudoti metodai, jų paskirtis, pateikta formulė, pagal kurias galima juos apskaičiuoti.
3. Tyrimų scenarijaus sudarymo ir duomenų eksperimentiniams tyrimams atrankos skyriuje buvo aprašyta naudojama techninė įranga, parinktas elektrodų išdėstymas, pasirinkti virtualiosios realybės žaidimai, sudarytas grafikas. Tyrimo metu buvo naudoti „HTC Vive PRO“ virtualiosios realybės akiniai, kurie buvo jungiami prie nešiojamojo kompiuterio. EEG signalams matuoti buvo naudojama „Olimex EEG-SMT“ atvirojo kodo sistema. Aktyvieji elektrodai buvo išdėstyti parietinėje ir pakaušio srityse, o pasyvusis – kairiojoje galvos dalyje už ausies. Kontaktui tarp elektrodo ir galvos odos gerinti buvo pasirinkta kiekvieno matavimo metu šlapinti galvą. Elektrodams tvirtinti prie galvos buvo naudojama silikoninė plaukimo kepurė, kuri atliko dar vieną papildomą funkciją – palaikė plaukus šlapius visą vienos dienos matavimo laiką. Virtualiosios realybės turiniui žiūrėti buvo parinkti penki skirtingi žaidimai. Šiems žaidimams žaisti buvo sudarytas režimas ir grafikas. Iš viso matavimai buvo atliekami dešimt dienų, po šešis matavimus per dieną (5 žaidimai + ramybės būsena). Surinkta 10 valandų trukmės įrašų.

4. EEG signalų analizės metodo eksperimentinio tyrimo skyriuje buvo detaliai aprašytas programinės įrangos duomenims nuskaityti ir analizuoti sudarymas, sukurtas maketas rankiniu būdu įrašyti kibernetinės ligos simptomų momentus. Toliau buvo atlikta eksperimentinio tyrimo metu gautų rezultatų analizė. Programinės įrangos, skirtos duomenims nuskaityti, poskyryje buvo detaliai išnagrinėtas naudojamos atvirojo kodo sistemos „Olimex EEG-SMT“ siunčiamų duomenų paketų formatas, pagal kurį buvo kuriama programa. Taip pat sudaryta programos algoritmo struktūrinė schema. Išsamiai paaiškinta programos įvestis ir išvestis. Programinės įrangos duomenims analizuoti poskyryje buvo detaliai aprašyta kuriama programa, kokios jau egzistuojančios funkcijos buvo panaudotos signalams filtruoti, statistiniams metodams skaičiuoti ir požymiams patikrinti. Rankiniu būdu užfiksuotų signalų rezultatų poskyryje buvo nustatyta, kad tik du žaidimai iš penkių sukelia kibernetinės ligos simptomus.
5. Išankstinio signalų apdorojimo rezultatų poskyryje buvo pateikti gauti rezultatai filtruojant išmatuotus EEG signalus. Nustatyta, kad neįmanoma sukurti vieno filtro, kuris tiktų visiems matavimų atvejams. Todėl buvo pasirinkta naudoti signalus nuo 0 iki 45 Hz. Taip buvo panaikinamas tinklo įtampos sukeliamas triukšmas. Šioje dalyje taip pat buvo pasirinkta naudoti rankinį signalų atmetimą, kurio metu buvo panaikinamos pirmosios 30 s signalo ir visas likęs laikas nuo 600 s.
6. Spektrinio galios tankio analizės rezultatų poskyryje buvo pateikta, kaip keičiasi viso signalo ir atskirų dažnių juostų galia. Atliekant analizę buvo ieškoma dviejų žaidimų („Detached VR“ ir „Epic Roller Coasters“) požymių panašumų, kuriuose buvo jaučiami kibernetinės ligos simptomai. Ieškota visos arba atskiros dažnių juostos spektro galios sumažėjimo arba padidėjimo, lyginant su kitais matavimais. Gauti rezultatai neparodė jokių panašumų, kurie leistų identifikuoti kibernetinės ligos atsiradimo momentą.
7. Statistinės analizės tyrimo rezultatų poskyryje buvo aprašyti skaičiuoti požymiai ir jų deriniai. Gautiems požymiams analizuoti buvo naudojami du metodai – kryžminė koreliacija ir ANOVA. Naudojant kryžminę koreliaciją buvo gauta 467 200 požymių vektorių, iš kurių trečdalis patikrinti su rankiniu būdu užfiksuotais signalais. Nustatyta, kad lyginant signalus su požymių vektoriais nėra galimybės aptikti kibernetinės ligos momentų. Naudojant ANOVA buvo patikrinta 105 884 įvairių požymių derinių, iš kurių 4 228 parodė, kad lyginami požymių vektoriai yra panašūs. Tačiau šis statistinės analizės metodas nenurodo, kurioje vietoje yra randamas panašumas. Norint patikrinti šių gautų požymių vektorių tinkamumą yra reikalingi papildomi tyrimai.
8. Magistro baigiamojo darbo metu buvo atliktas atvirojo kodo sistema išmatuotų biologinių signalų analizės metodų tyrimas, kurio metu nustatyta, ar yra galimybė naudojant atvirojo

kodo sistemą išmatuoti virtualiosios realybės sukeltus kibernetinės ligos simptomų momentus. Rezultatai parodė, kad naudojant atvirojo kodo sistemą „Olimex EEG-SMT“ ir naudojant statistinius metodus signalams analizuoti nėra galimybės nustatyti momentų, kai atsiranda šių simptomų. Tyrimą būtų galima pakartoti, tačiau šiuo atveju reikėtų testuoti su geresne, tikslesne EEG signalų matavimo sistema, pasirinkti kitokius signalų paruošimo, požymių išskyrimo ir klasifikavimo metodus.

LITERATŪRA

1. Imtiaz Muhammad Arafat, Sharif Muhammad Shahnewaz Ferdous, John Quarles. 2018. Cybersickness- Provoking Virtual Reality Alters Brain Signals of Persons with Multiple Sclerosis. Iš *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (113–119). Vokietija, Reutlingen: *IEEE*.
2. Yi-Tien Lin, Yu-Yi Chien, Hsiao-Han Wang, Fang-Cheng Lin, Yi-Pai Huang. 2018. The Quantization of Cybersickness Level Using EEG and ECG for Virtual Reality Head-Mounted Display, *Human Factors in AR/VR Systems* 49(1): 862–865.
3. Philip Lindner, Alexander Miloff, William Hamilton, Lena Reuterskiöld, Gerhard Andersson, Mark B. Powers, Per Carlbring. 2016. Creating state of the art, next-generation Virtual Reality exposure therapies for anxiety disorders using consumer hardware platforms: design considerations and future directions, *Cognitive Behaviour Therapy* 46(5): 404–420.
4. Marieke van Rooij, Adam Lobel, Owen Harris, Niki Smit, Isabela Granic. 2016. DEEP: A Biofeedback Virtual Reality Game for Children At-risk for Anxiety. Iš *Conference on Human Factors in Computing Systems* (1989–1997). JAV, Niujorkas: *ACM New York*.
5. Medhat Alaker, Greg R.Wynn, TanArulampalam. 2016. Virtual reality training in laparoscopic surgery: A systematic review & meta-analysis, *International Journal of Surgery* 29: 85–94.
6. Carlos Luque-Moreno, Alejandro Ferragut-Garcías, Cleofás Rodríguez-Blanco, Alberto Marcos Heredia-Rizo, Jesús Oliva-Pascual-Vaca, Pawel Kiper, Ángel Oliva-Pascual-Vaca. 2014. A Decade of Progress Using Virtual Reality for Poststroke Lower Extremity Rehabilitation: Systematic Review of the Intervention Methods, *BioMed Research International* 2015: 1–7.
7. Matt C.Howard. 2017. A meta-analysis and systematic literature review of virtual reality rehabilitation programs, *Computers in Human Behavior* 70: 317–327.
8. Janaína Barbosa Santos, Vinícius Ribas Fonseca. 2018. Effect of virtual reality in Parkinson's disease: a prospective observational study, *Arq. Neuro-Psiquiatr* 76(2): 78–84.
9. Jacob J. Bloomberg, Brian T. Peters, Helen S. Cohen, Ajitkumar P. Mulavara. 2015. Enhancing astronaut performance using sensorimotor adaptability training, *Frontiers in System Neuroscience* 9: 1–12.
10. Timothy Everson, Christopher McDermott, Aaron Kain, Cesar Fernandez, Ben Horan. 2017. Astronaut Training using Virtual Reality in a Neutrally Buoyant Environment. Iš *6th Engineering, Science and Technology Conference – Panama* (319–327). Panama: *KnE Publishing*.
11. Chen Wei, Chao Jian-Gang, Zhang Yan, Wang Jin-Kun, Chen Xue-Wen, Tan, Cheng. 2017. Orientation Preferences and Motion Sickness Induced in a Virtual Reality Environment, *Aerospace Medicine and Human Performance* 88(10): 903–910.
12. Zhang Hui. 2017. Head-mounted display-based intuitive virtual reality training system for the mining industry, *International Journal of Mining Science and Technology* 27(4): 717–722.
13. Turgay Aslandere, Daniel Dreyer, Frieder Pankratz. 2015. Virtual hand-button interaction in a generic virtual reality flight simulator. Iš *2015 IEEE Aerospace Conference* (1–8). JAV, Big Sky, MT: *IEEE*.

14. Matthias Oberhauser, Daniel Dreyer. 2017. A virtual reality flight simulator for human factors engineering, *Cognition, Technology & Work* 19(2–3). 263–277.
15. M.E.Portman, A.Natapov, D.Fisher Gewirtzman. 2015. To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning, *Computers, Environment and Urban Systems* 54. 376–384.
16. Sofia Ira Ktena, William Abbott, A. Aldo Faisal. 2015. A virtual reality platform for safe evaluation and training of natural gaze-based wheelchair driving. Iš *2015 7th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)* (236–239). Prancūzija, Montpellier: *IEEE*.
17. Daniel J. Cox, Timothy Brown, Veerle Ross, Matthew Moncrief, Rose Schmitt, Gary Gaffney, Ron Reeve. 2017. Can Youth with Autism Spectrum Disorder Use Virtual Reality Driving Simulation Training to Evaluate and Improve Driving Performance? An Exploratory Study, *Journal of Autism and Developmental Disorders* 47(8). 2544–2555.
18. Rakendu Rao, Reza Derakhshani. 2005. A Comparison of EEG Preprocessing Methods using Time Delay Neural Networks. Iš *Conference Proceedings. 2nd International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering, 2005* (5–7). JAV, Arlingtonas, VA: *IEEE*.
19. Amjed S. Al-Fahoum, Ausilah A. Al-Fraihat. 2014. Methods of EEG Signal Features Extraction Using Linear Analysis in Frequency and Time-Frequency Domains, *ISRN Neuroscience* 2014. 1–7.
20. Akshaya R.Mane, Prof. S. D. Biradar, Prof. R. K. Shastri. 2015. Review paper on Feature Extraction Methods for EEG Signal Analysis, *International Journal of Emerging Trend in Engineering and Basic Sciences (IJEEBS)* 2(1). 545–552.
21. Fabien Lotte, Marco Congedo, Anatole Lécuyer, Fabrice Lamarche, Bruno Arnaldi. 2007. A review of classification algorithms for EEG-based brain–computer interfaces, *Journal of Neural Engineering* 4(2). 1–24.

PRIEDAI

A priedas. Eksperimentiniams tyrimams naudotos programos išeities kodas

B priedas. Pranešimo 22-oje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje medžiaga



VILNIAUS GEDIMINO
TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

EEG SIGNALŲ TYRIMAS VIRTUALIOS REALYBĖS ŽAIDIMUOSE

22-OJI JAUNŲJŲ MOKSLININKŲ KONFERENCIJA
„MOKSLAS – LIETUVOS ATĖITIS: ELEKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA“

Laurynas RAIŠIS, laurynas.raisis@stud.vgtu.lt

Vadovas: prof. dr. Artūras SERACKIS

Elektroninių sistemų katedra

Vilnius, 2019



VILNIAUS GEDIMINO
TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Laurynas RAIŠIS

2019-03-15

Jaunųjų mokslininkų konferencija
„Mokslas – Lietuvos ateitis: Elektronika ir elektrotechnika“

Tyrimo tikslas ir uždaviniai

- **Tikslas:** EEG signaluose atrasti reikšmingus pokyčius, leidžiančius aptikti judesio ligą (angl. Motion sickness), kai yra žiūrimas virtualios realybės turinys.
- **Uždaviniai:**
 - Iširti skirtingų matavimo dienų įtaką pokyčių atradimui
 - Iširti skirtingų žaidimų tipų įtaką pokyčių atradimui
 - Rasti efektyviausią žaidimų tipų, dienų, matuojamų kanalų, dažnių juostų, bei laiko momentų parametrų derinį



Sprendimo eiga.

- Duomenų surinkimas
- Įvairių parametrų derinių sudarymas
- Rezultatų analizavimas

3 9



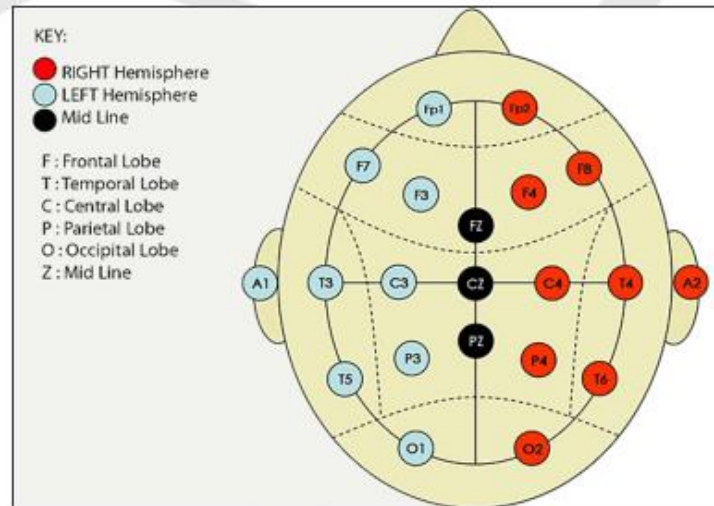
Aparatinė įranga

- Olimex EEG-SMT 2 diferencinių kanalų matavimo prietaisas
- 4 aktyvūs elektrodai + 1 pasyvus
- Dynamic Virtual Viewer virtualios realybės akiniai
- Samsung Galaxy S8+
- PlayStation DualShock 3 žaidimų pultas

4 9



Jutiklių išdėstymas



5 9



Eksperimento planas

- Testuoti 5 skirtingus žaidimus + ramybės būseną
- Testavimo trukmė: 10 minučių kiekvienam žaidimui
- Iširti užfiksuotus signalus naudojant statistinį modelį ANOVA:
 1. To paties kanalo ir dažnių ruožo, bet skirtingų žaidimų ir dienų signalus.
 2. Tas pats žaidimas, ta pati dažnių juosta, bet skirtingos dienos.
 3. Tas pats žaidimas, tos pačios dienos, skirtingos dažnių juostos.
 4. Pakartoti 1, 2 ir 3, signalo fragmentus skaidant į pasirinkto pločio langus, su pasirinktu persiklojimu ir jiems paskaičiuojant Kurtosis, bei Standartinės nuokrypos reikšmes.

6 9



Rezultatai

- Iš 4240 parametrų derinių, 30 ANOVA parametras $p < 0,05$
- Parametrų derinį sudarė tos pačios dienos, žaidimo, kanalo, signalo intervalo, tačiau skirtingos dažnių juostos.

7 9



Išvados

- Žiūrint virtualios realybės žaidimus galima aptikti judesio ligos požymių
- Signalai turi būti matuojami viršutinėje galvos dalyje (P3 ir P4 sritys)
- Reikia nagrinėti delta, theta, alfa, bei beta dažnių juostas

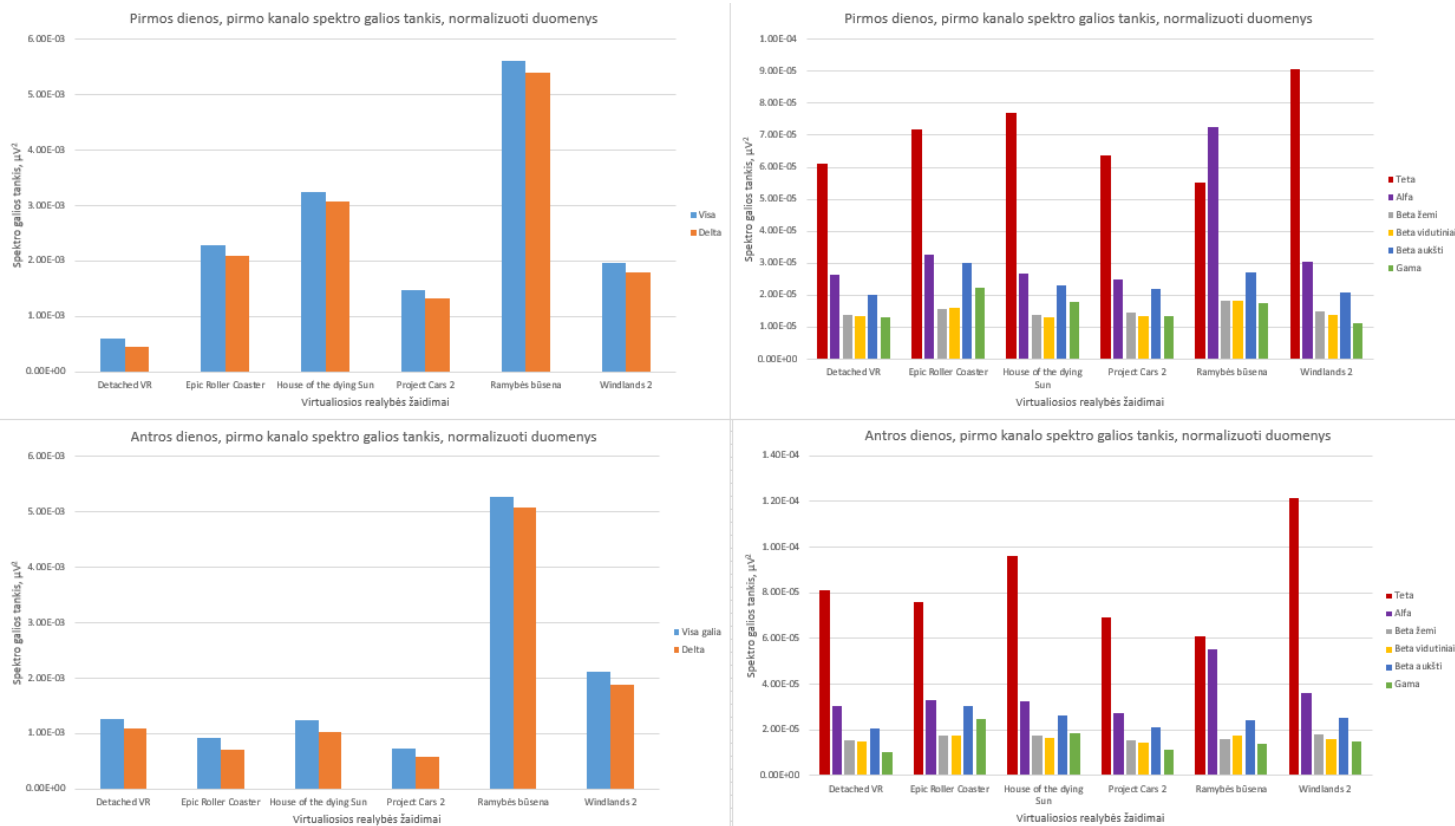
8 9

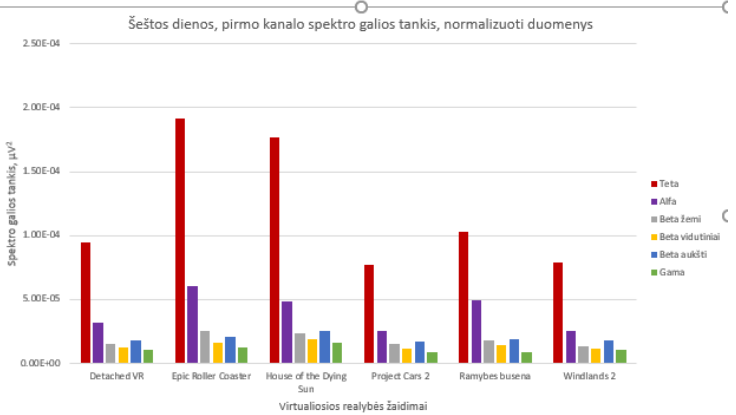
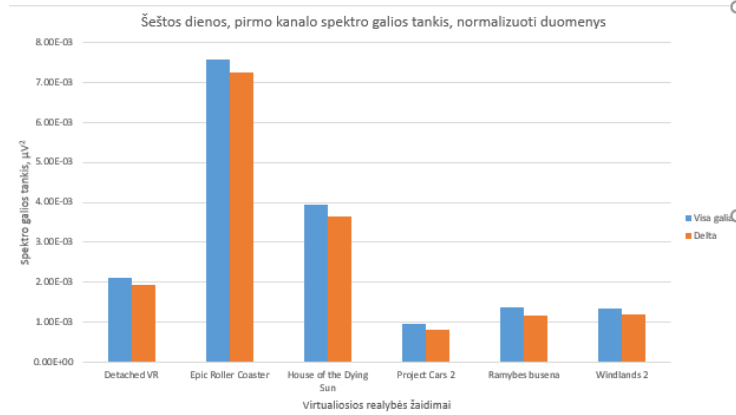
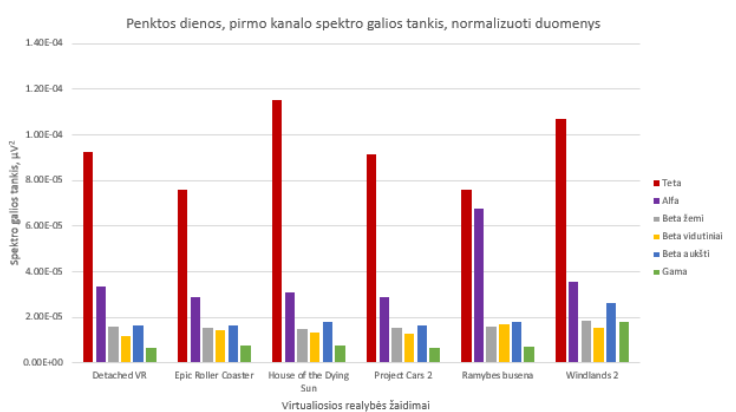
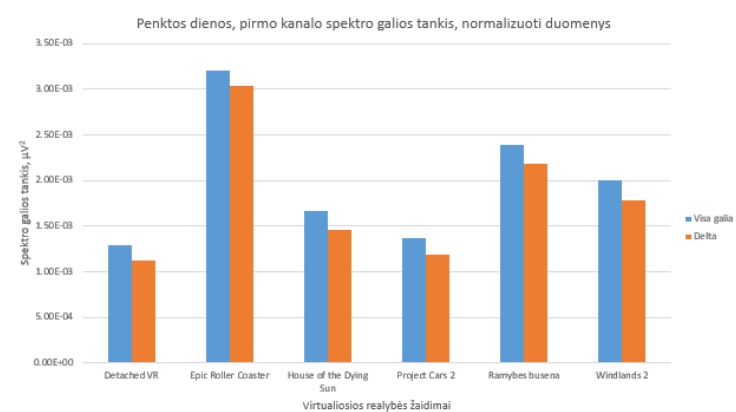
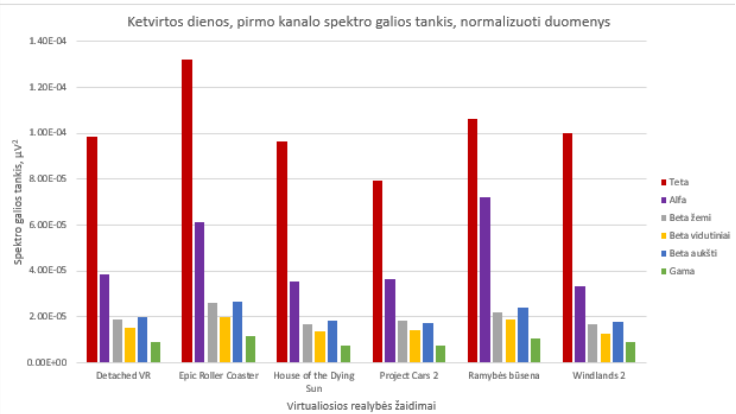
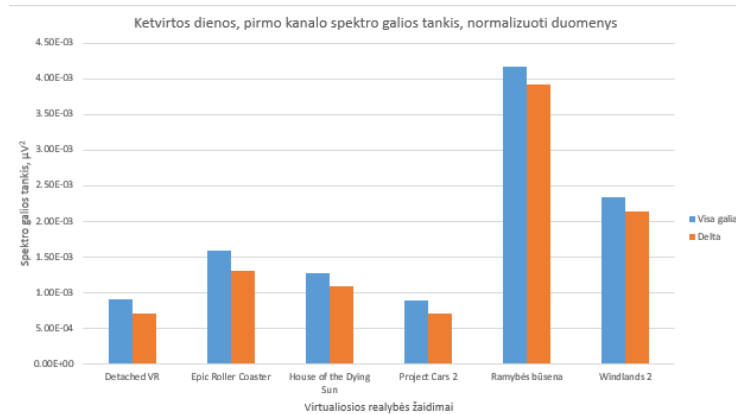
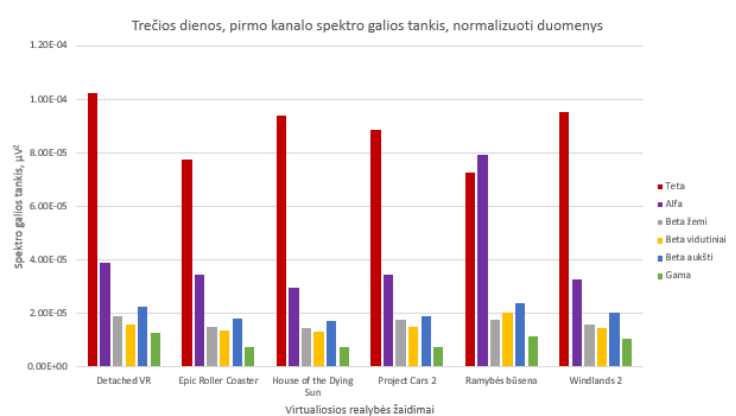
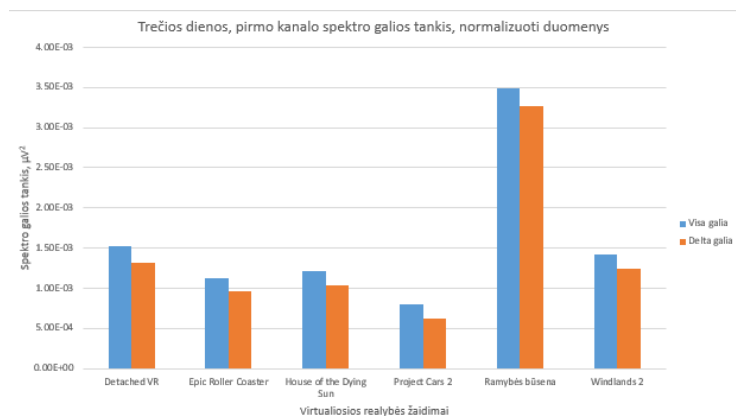


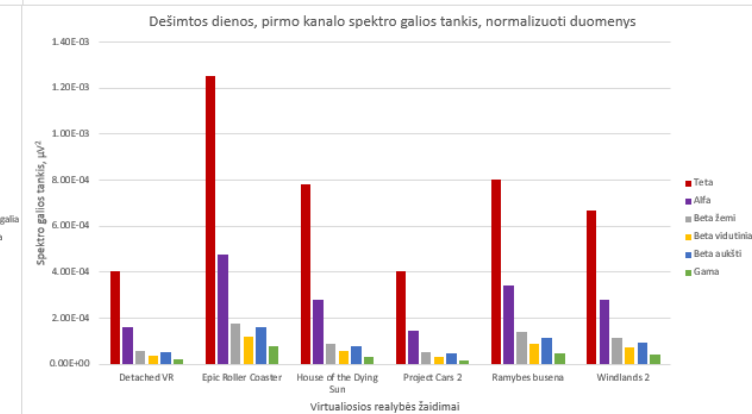
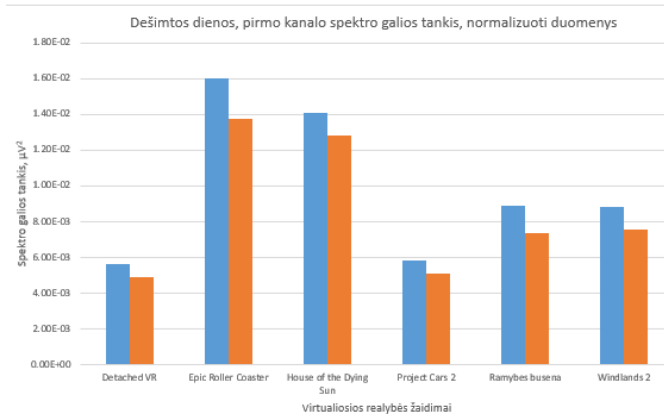
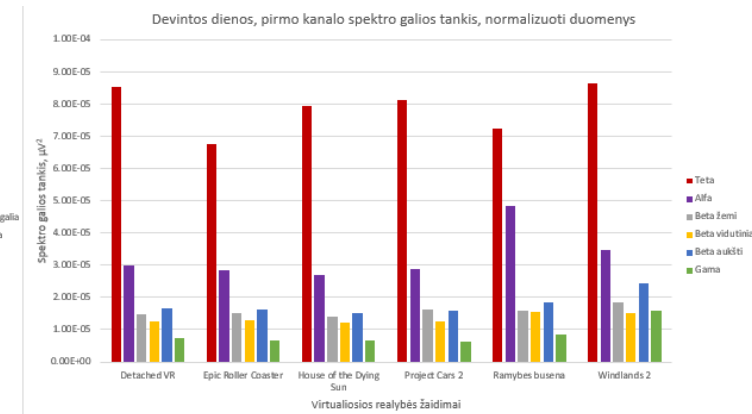
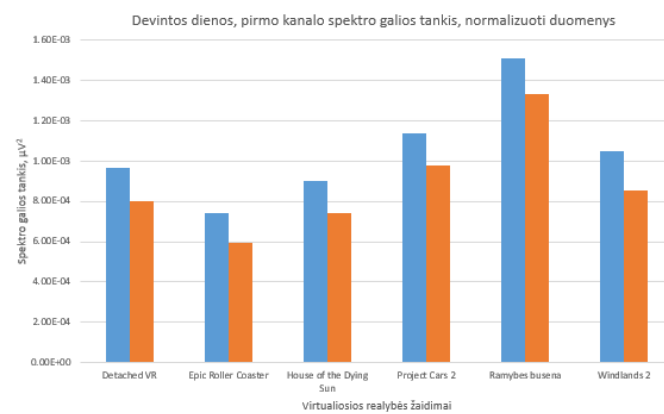
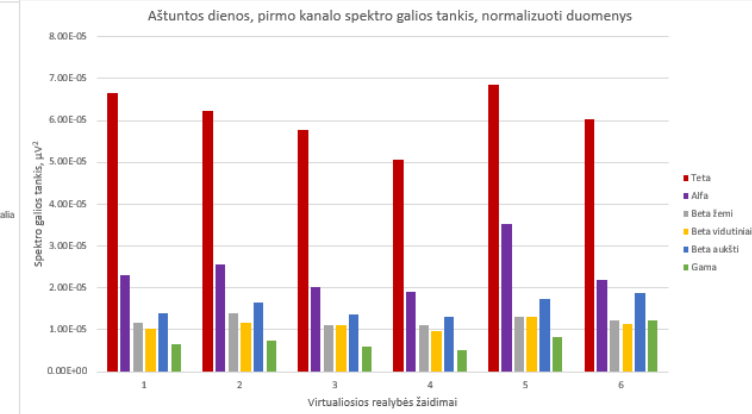
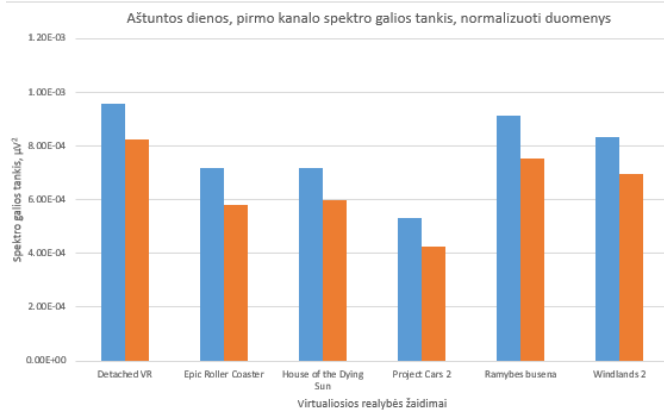
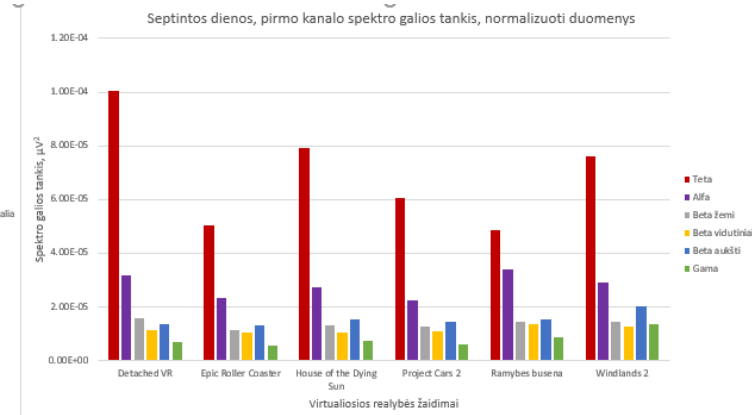
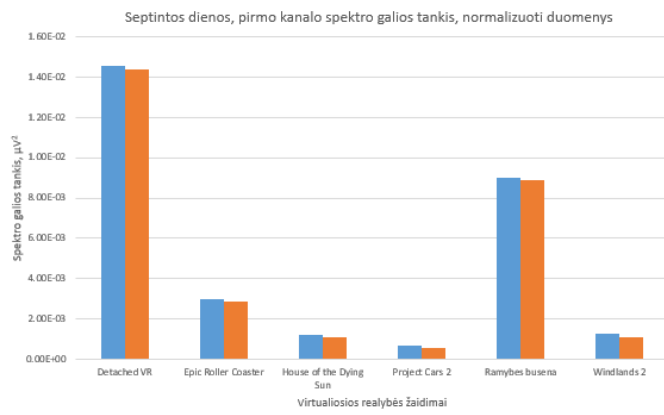
Ačiū už dėmesį

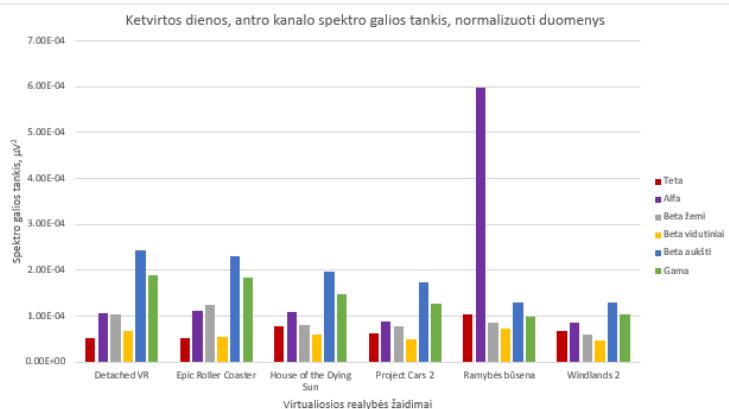
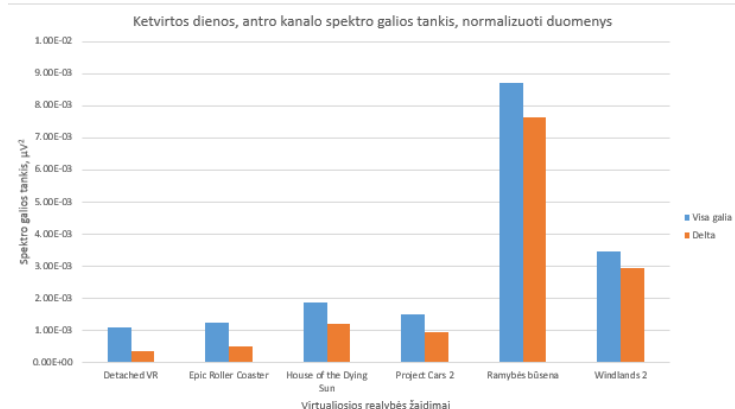
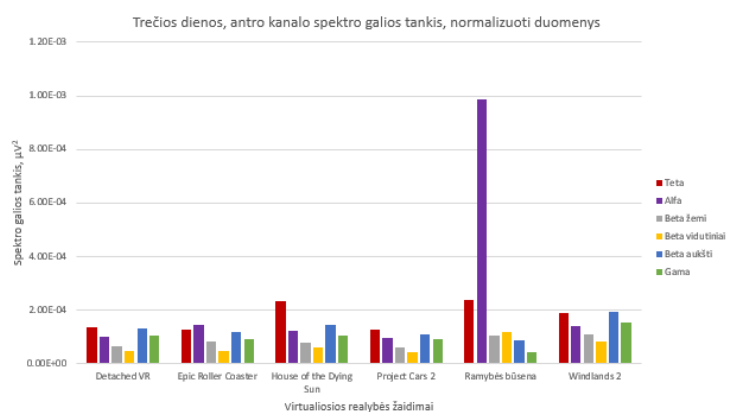
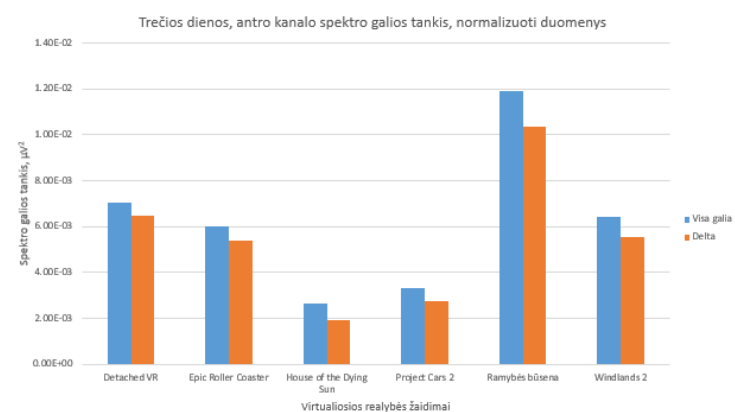
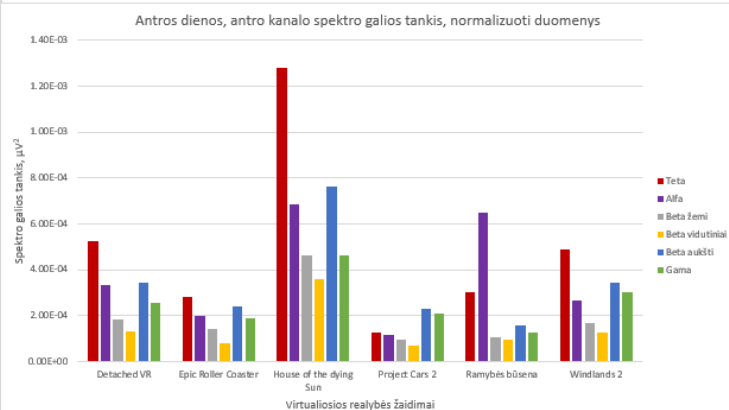
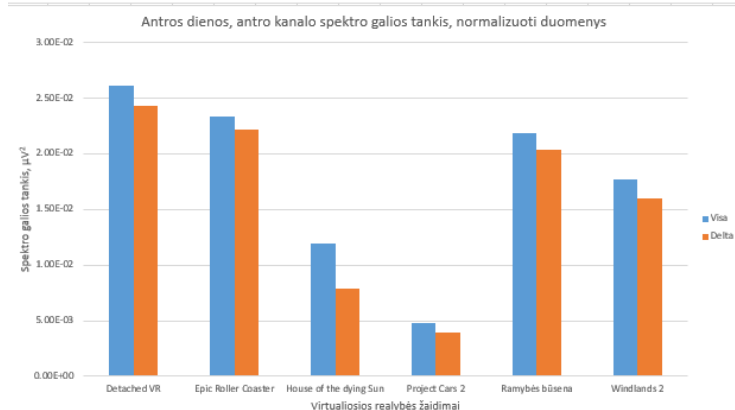
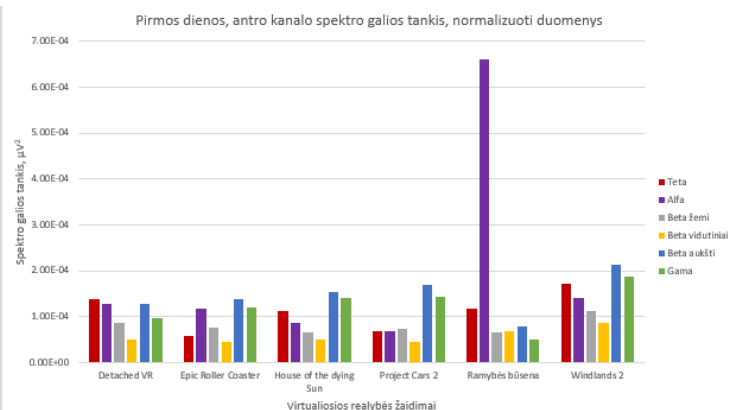
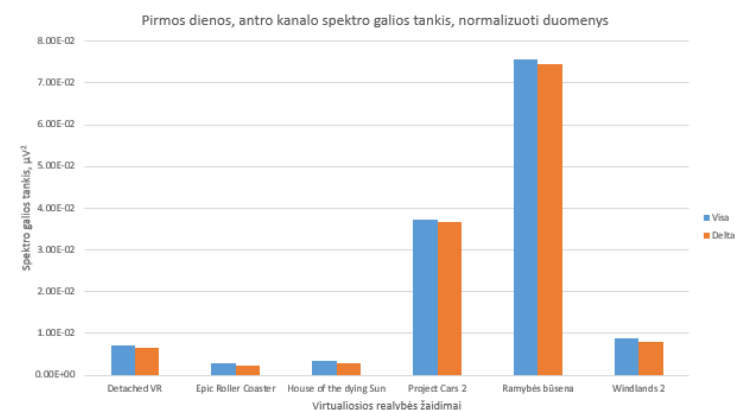
9 9

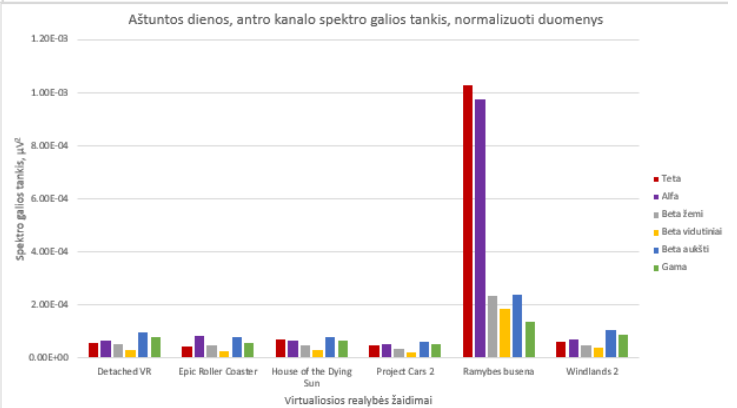
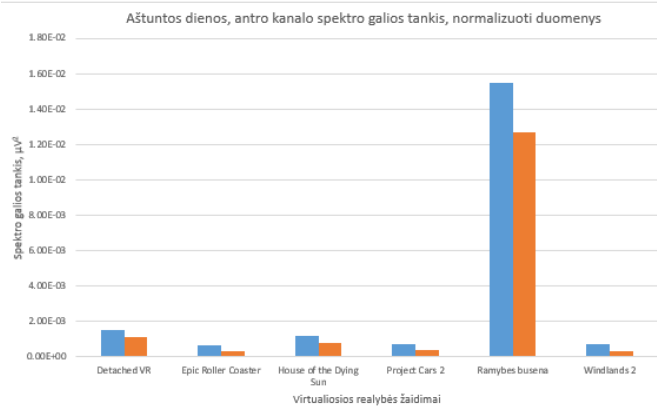
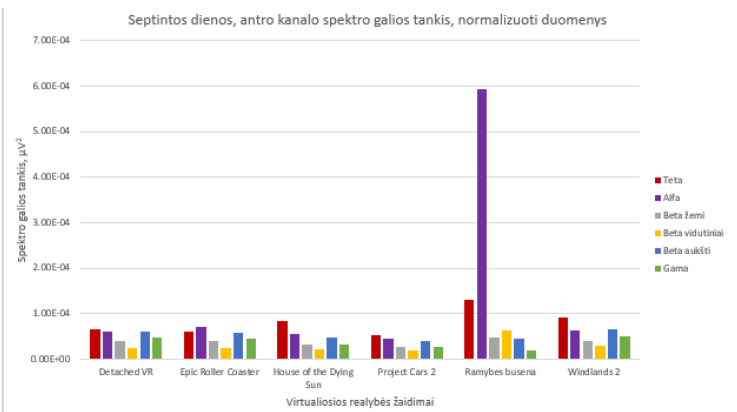
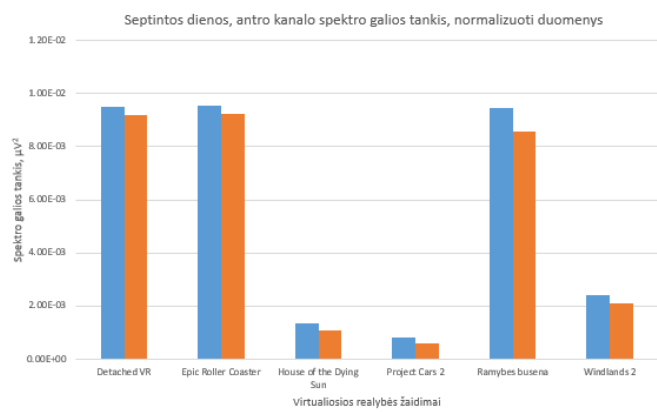
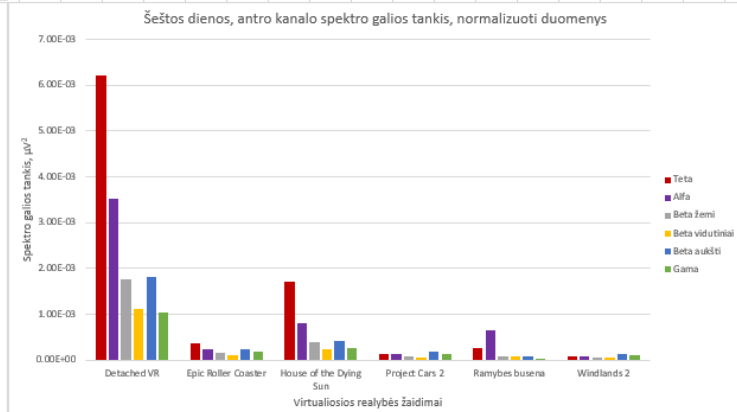
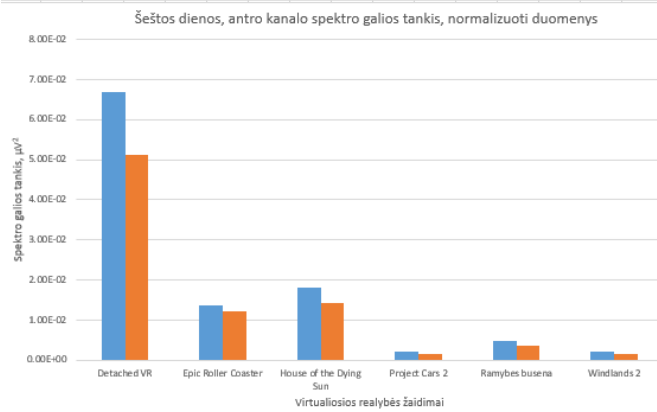
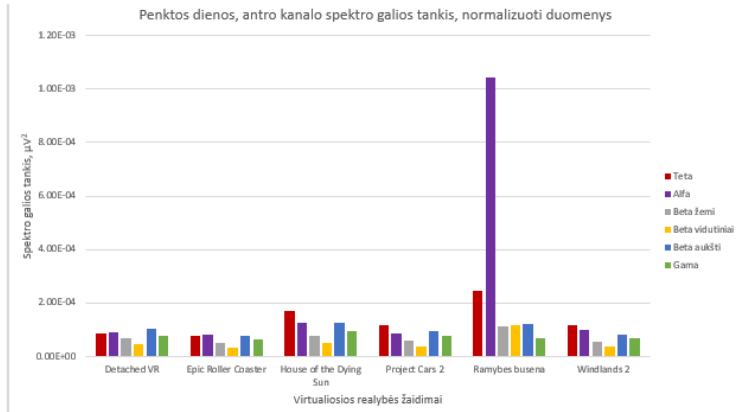
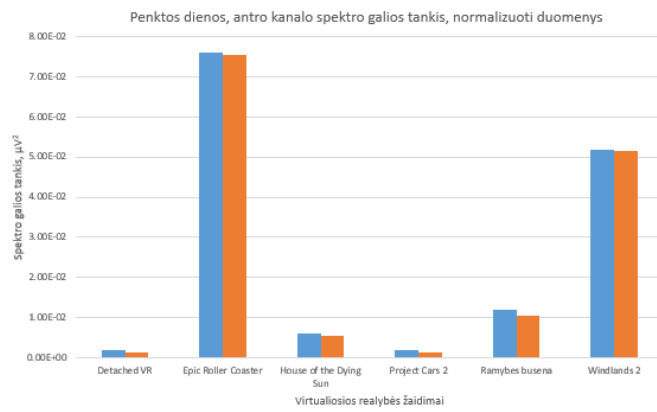
C priedas. Spektrinio galios tankio grafikai

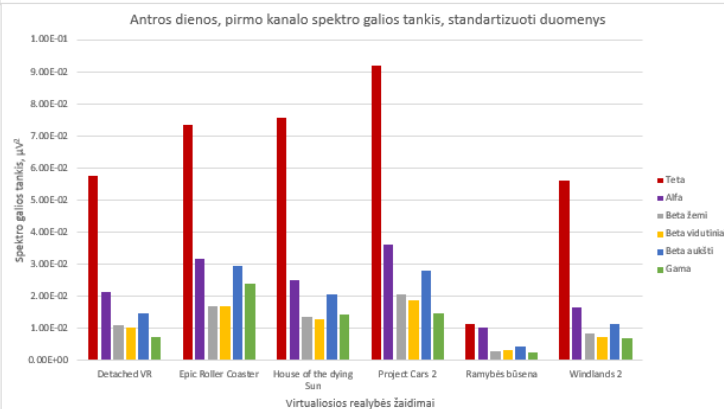
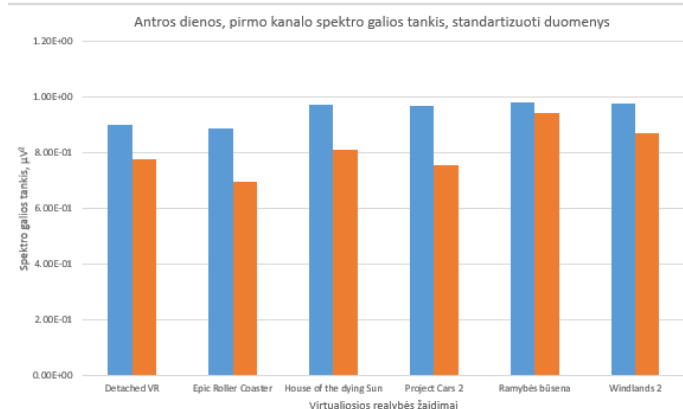
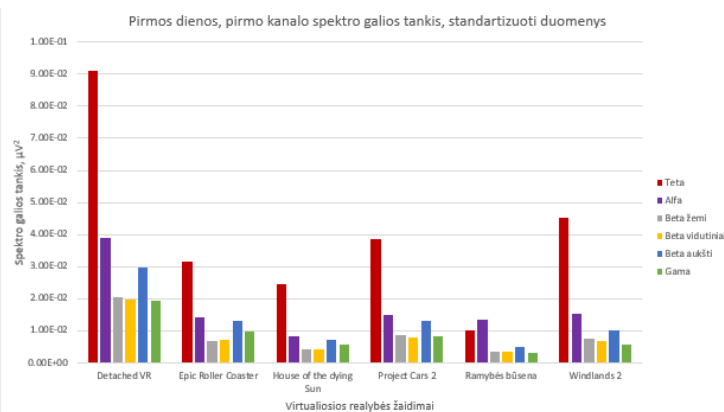
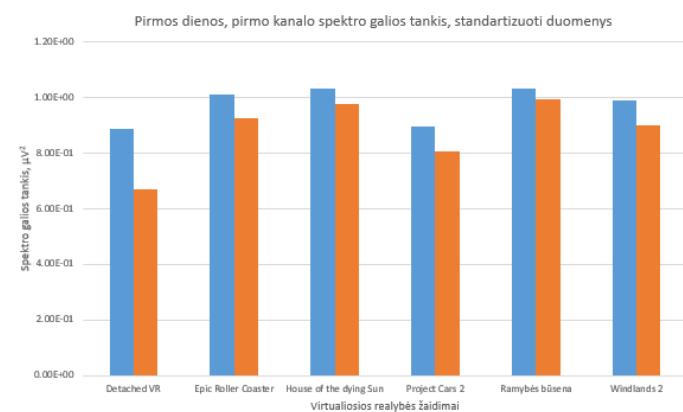
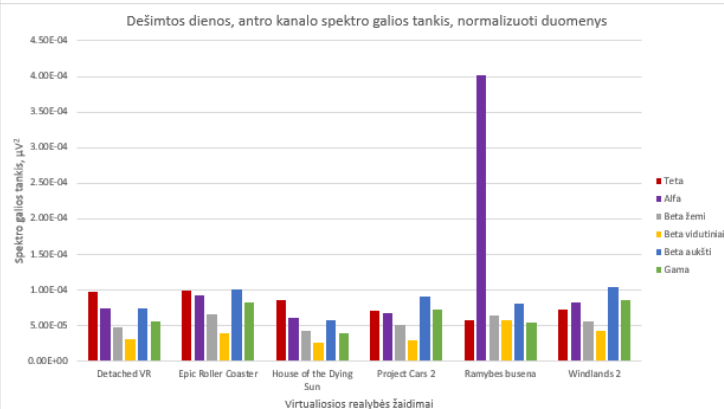
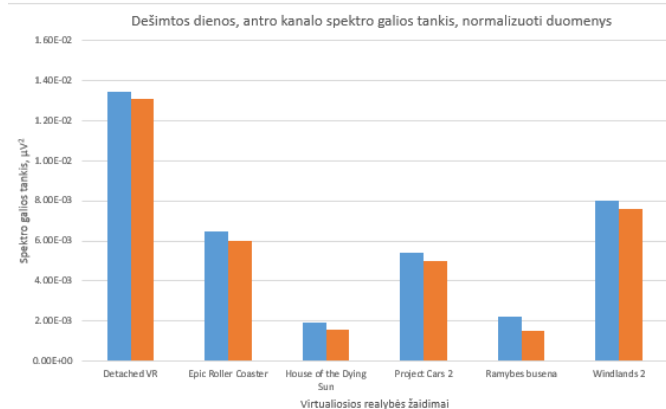
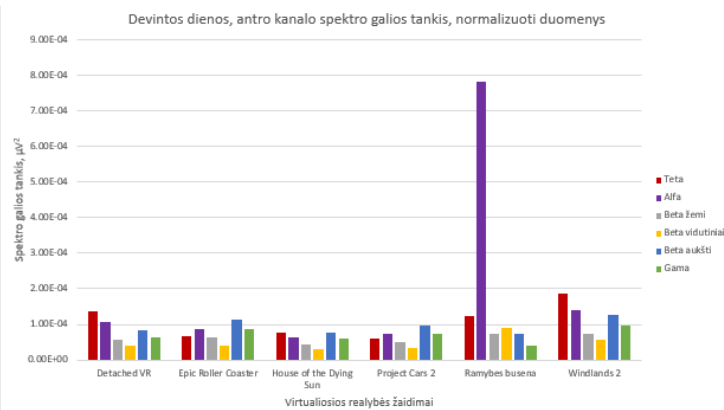
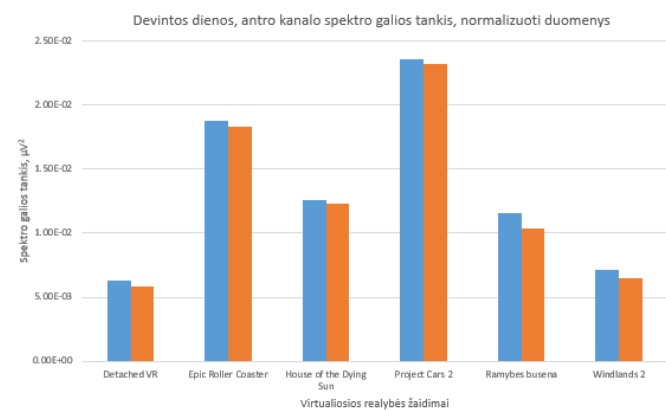


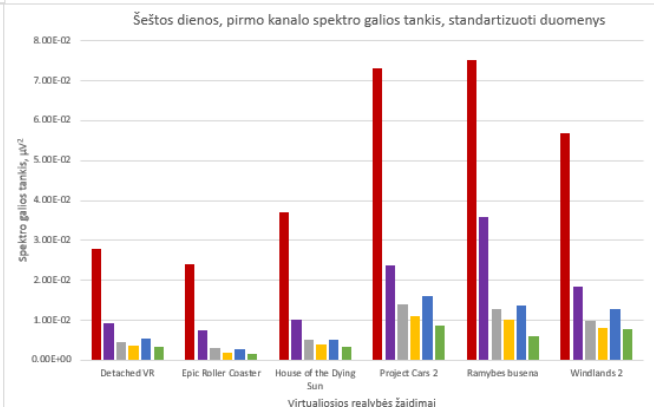
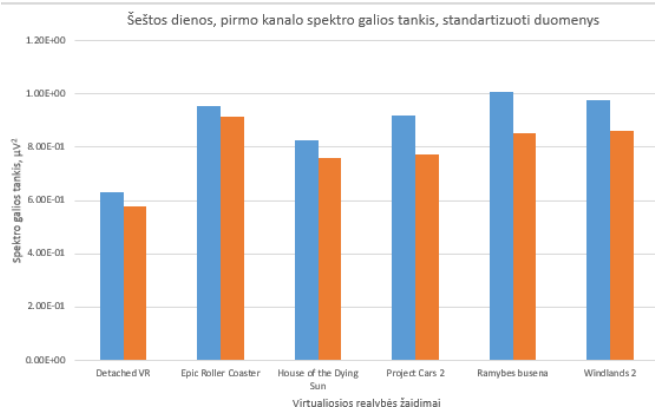
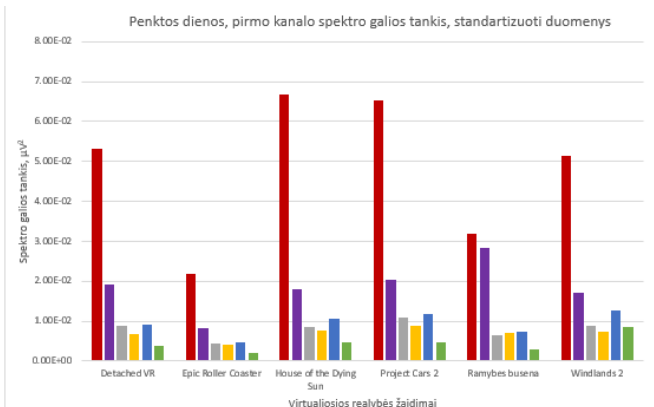
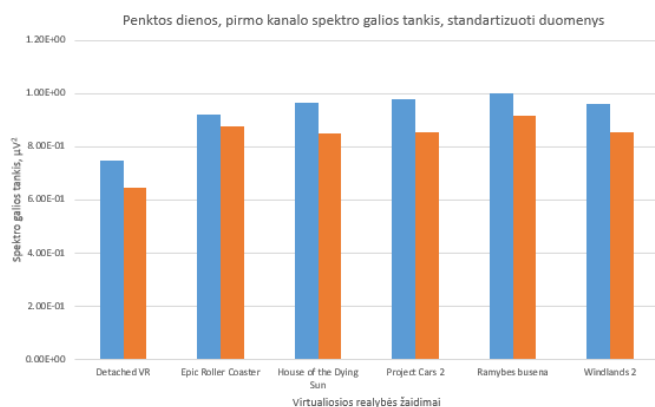
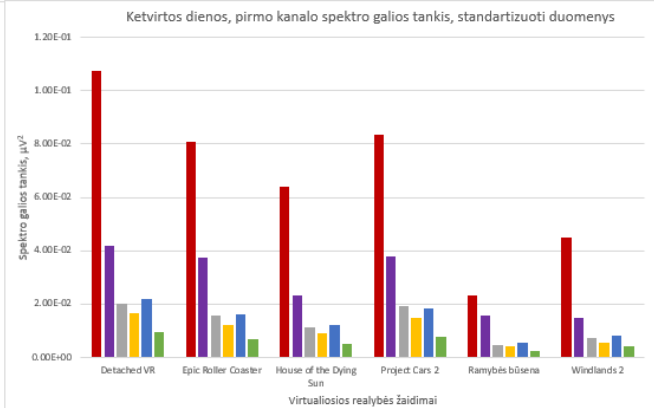
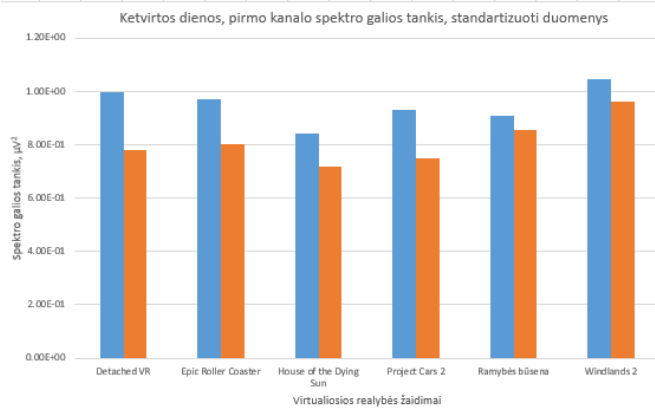
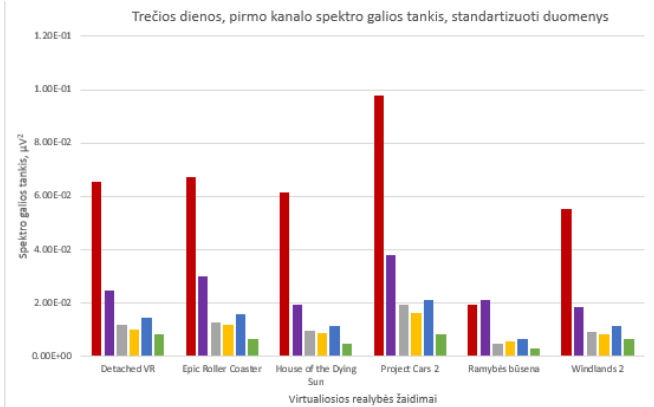
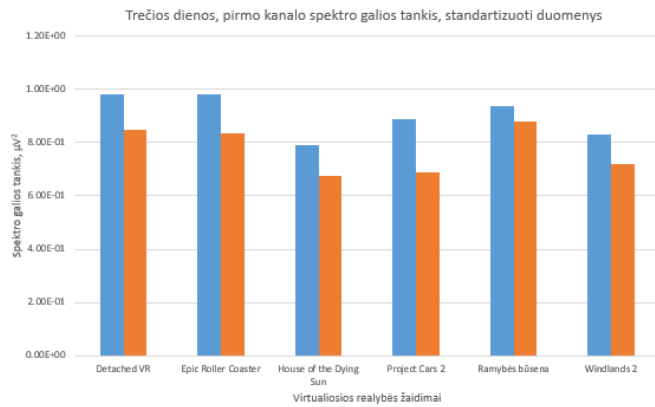


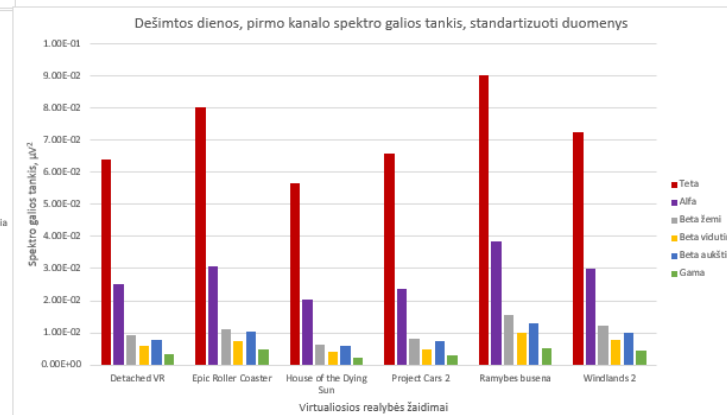
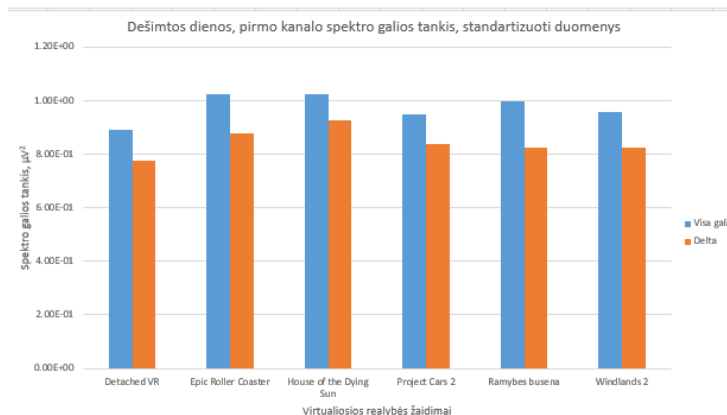
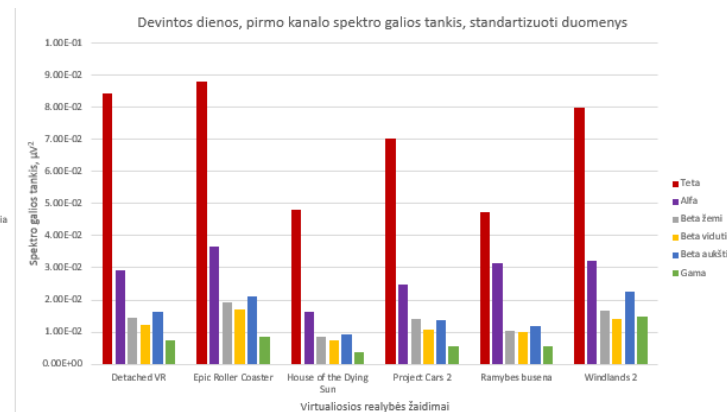
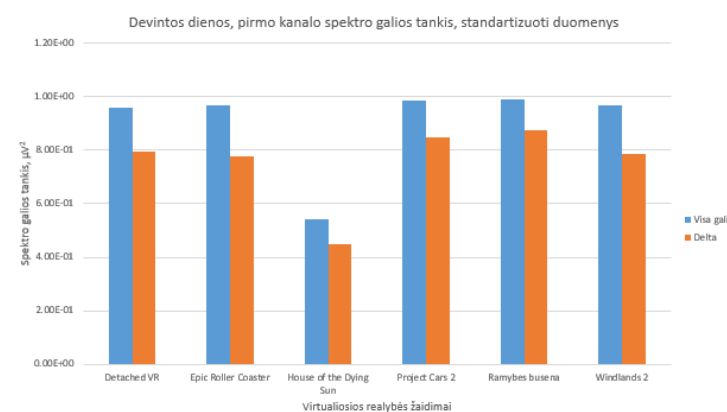
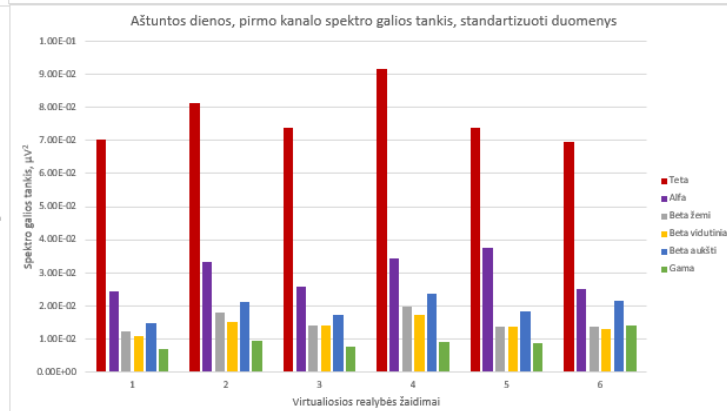
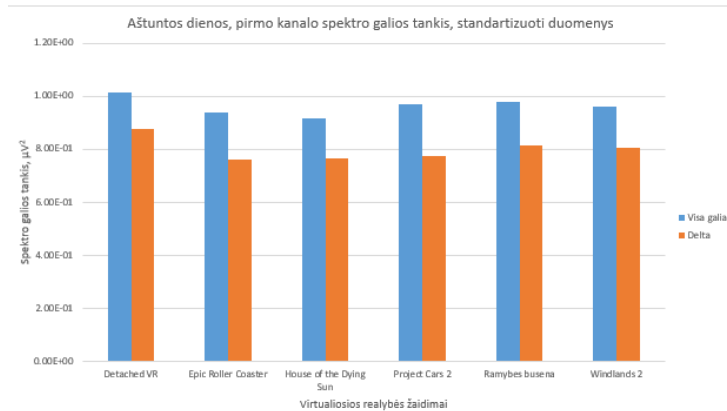
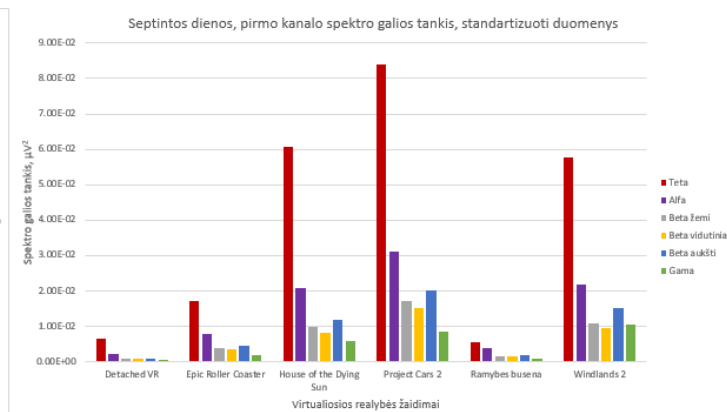
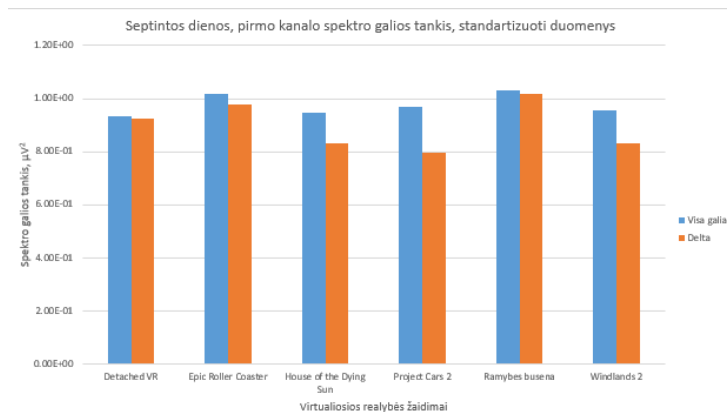


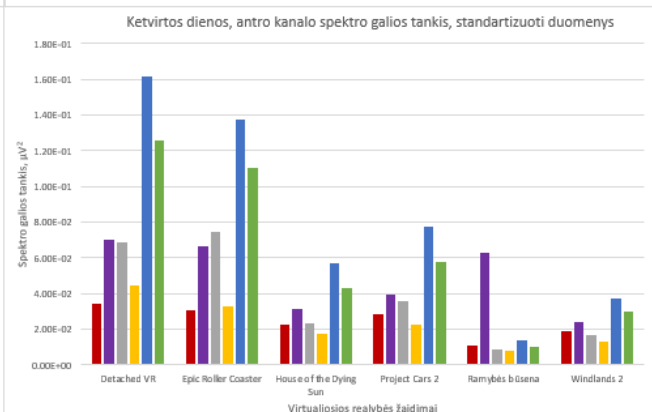
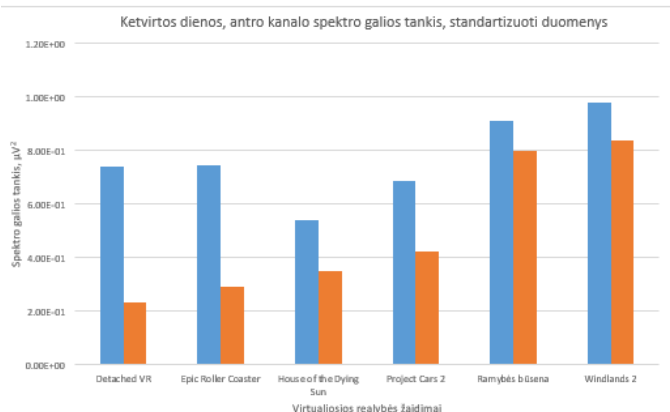
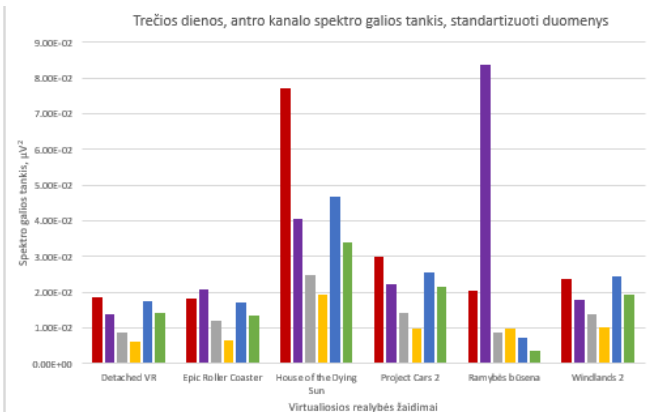
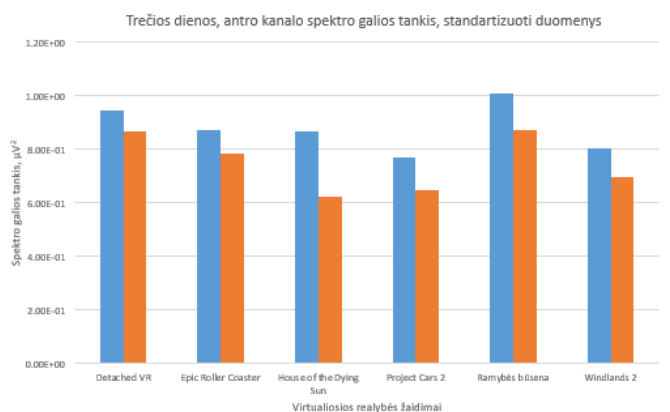
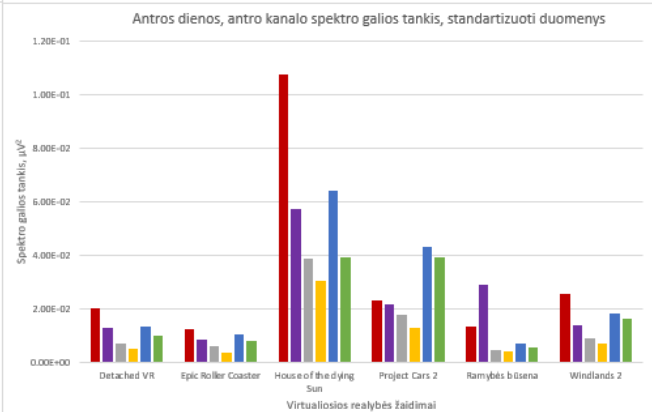
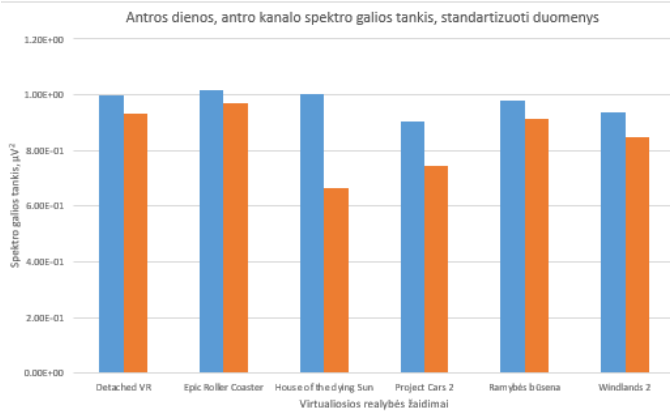
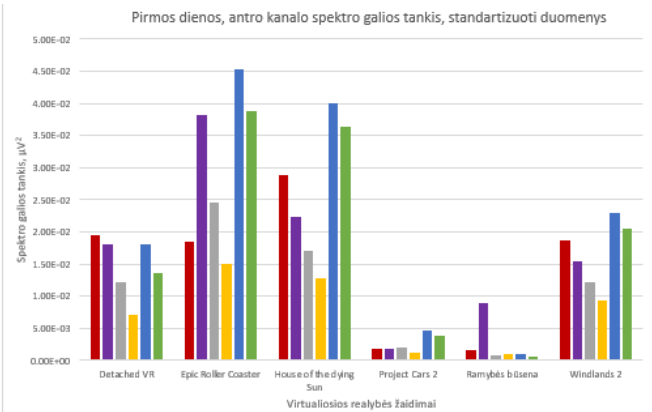
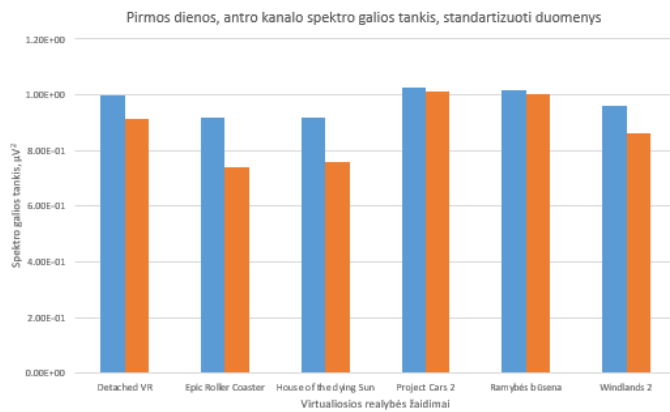


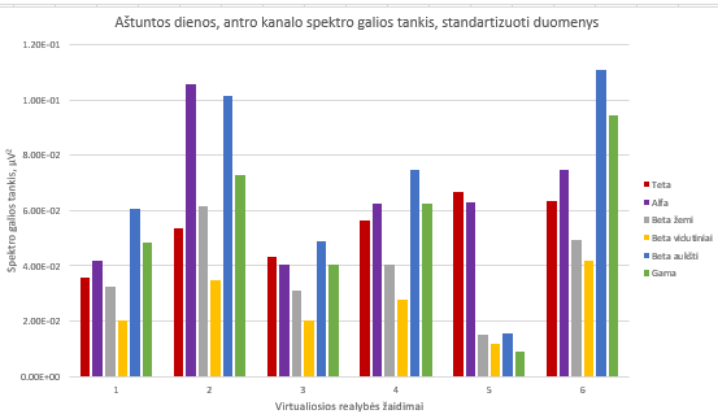
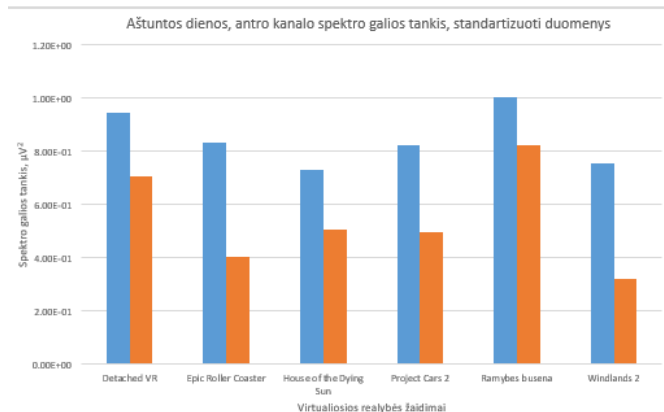
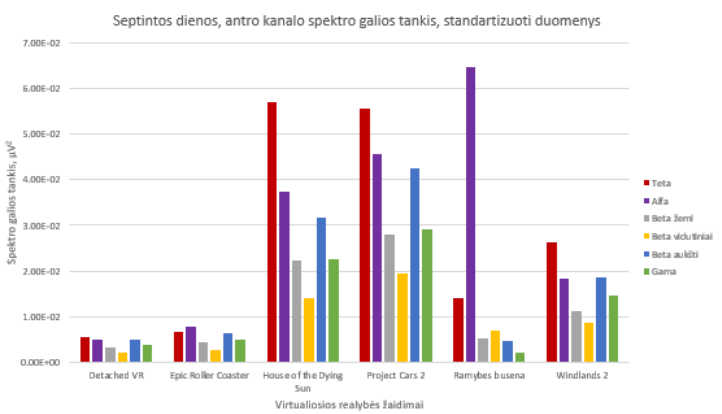
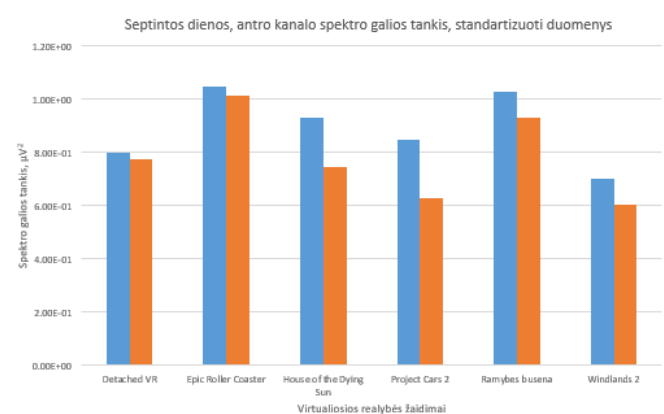
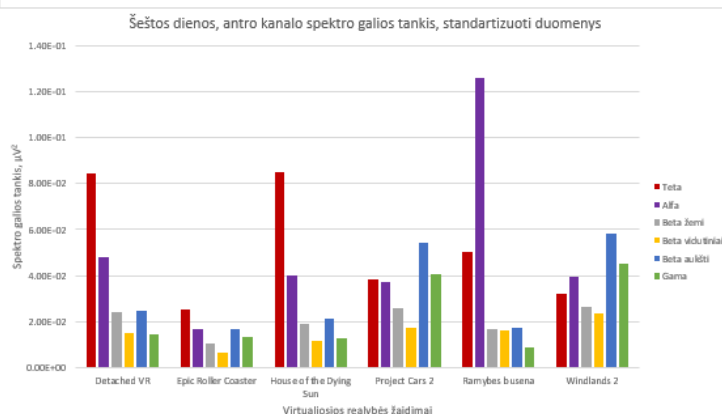
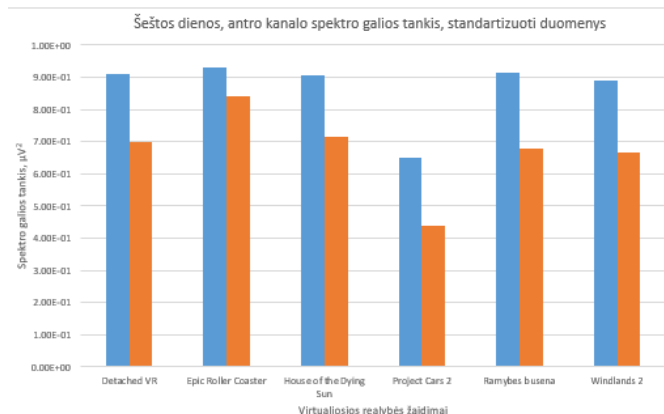
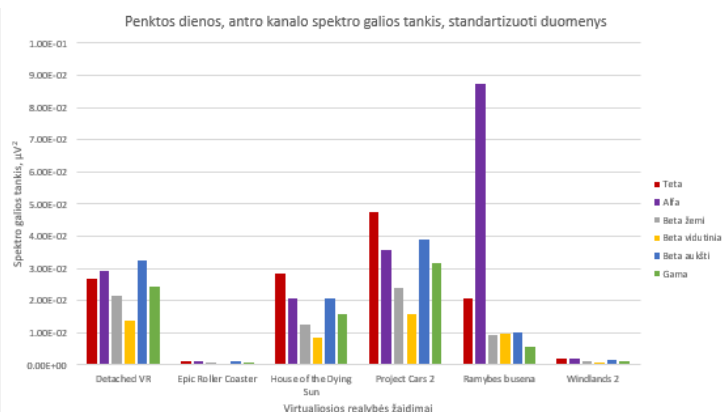
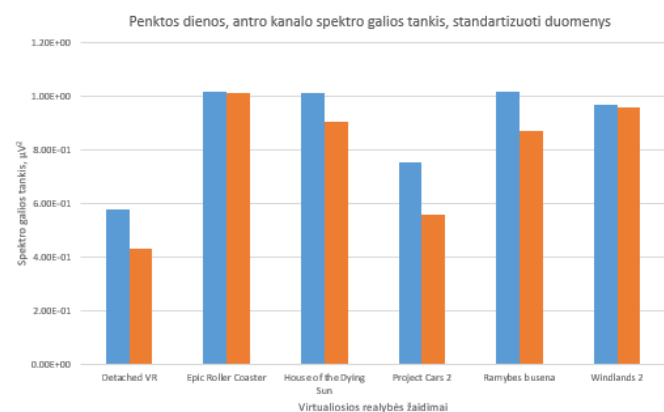


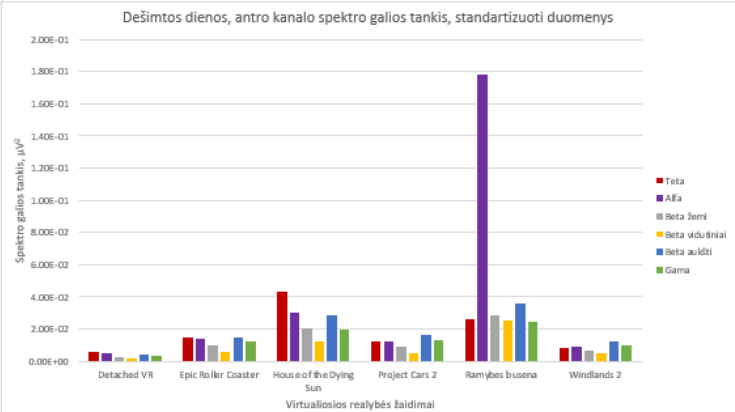
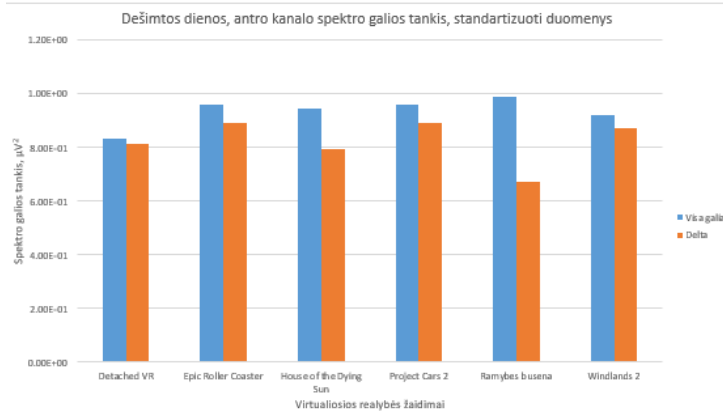
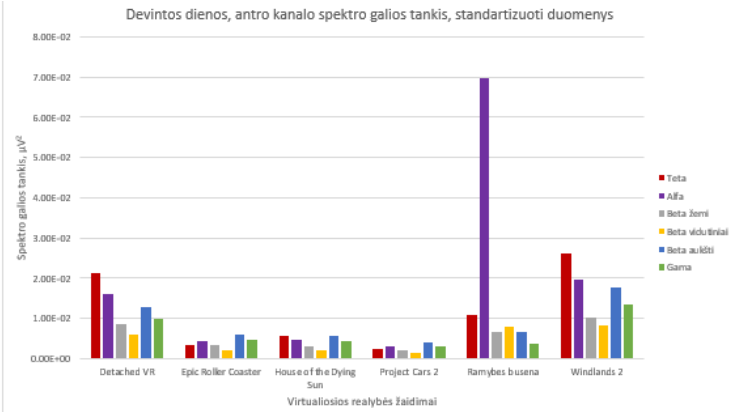
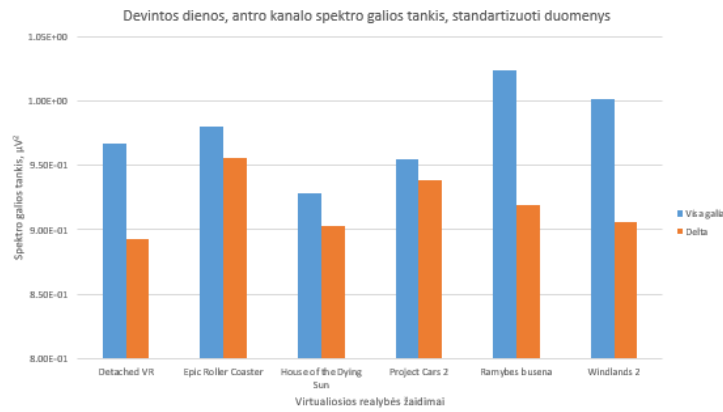














VILNIAUS GEDIMINO
TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

XXII-toji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija
„MOKSLAS – LIETUVOS ATEITIS“
ELEKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA

PAŽYMA

Laurynas Raišis

Vaizdų technologijų (T111), Sistemų inžinerijos ir kompiuterių technologijų (T120), Signalų technologijų (T121), Aukštų dažnių technologijų (T191) jungtinėje sekcijoje perskaitė pranešimą

EEG SIGNALŲ TYRIMAS VIRTUALIOS REALYBĖS ŽAIDIMUOSE

Mokslo komiteto pirmininkas

prof. habil. dr. Romanas Martavičius

Sekcijos pirmininkas

dr. Tomyslav Sledevič

2019 m. kovo 15 d.
Vilnius