

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS IR ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Paulius Rauba

KOMPIUTERIO ŽYMEKLIO VALDYMAS PANAUDOJANT GALVOS BIOSIGNALUS

Magistro darbas

Vadovas
prof. G. Daunys

ŠIAULIAI, 2015

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS IR ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
doc. dr. D. Babonas

2015 05

KOMPIUTERIO ŽYMEKLIO VALDYMAS PANAUDOJANT GALVOS BIOSIGNALUS

Signalų technologijos magistro darbas

Vadovas

prof. G. Daunys

2015 05

Atliko

RM-13 gr. stud. P. Rauba

2015 05

Recenzentas

doc. Donatas Dervinis

2015 05

ŠIAULIAI, 2015

Raubas P. Computer cursor control using head biosignals. Master thesis of Signal processing. Engineering and research adviser Prof. G. Daunys; Electronics and Electrics Department, Technology and Natural Science Faculty, Šiauliai University. – Šiauliai, 2015. - 43

SUMMARY

Advance of computers and digital devices every day takes bigger part in all human lives. The affect of every day digital device usage is now inherent part of society. This advance and usage led to new applications of computers and digital devices in communication and control systems. These days one of the fastest in advance and top priority communication and control systems are the systems which are using humans body generated biosignals also know as neural connection or brain-computer interface. This link allows controlling computer or other digital systems by using various technology and which allows not only to detect the human body generated signals, but also to separate, process, classify and apply them for digital system control.

Signal processing master thesis topic is – “Computer cursor control using head biosignals”. The main task is to analyze the ability of computer cursor control using the human biosignal – computer interface. There was made a review of scientific articles and other papers to understand the human biosignals and to know the ways of biosignal processing and application in this kind of interface. The main part of this work was to find and apply the simplest way of for cursor control using EMOTIV EPOC device and then using this way analyze the accuracy of cursor control with ten subjects.

During the tests the subjects had to control cursor commands, at the same time there was also monitored the rhythms of the brain in controlling channels and some data was saved for some later signal processing using EEGLab for signal modeling. After all tests the results were calculated and they showed the average of all the subjects control accuracy which was, left click – 82,13%, right click – 85.88% and the double left click – 94.50%.

TURINYS

1	ĮVADAS	9
2	BIOMEDICININIŲ SIGNALŲ SĄSAJŲ ANALIZĖ	10
2.1	Įėjimo signalai	10
2.1.1	Elektromiograma	10
2.1.2	Elektroencefalograma	10
2.1.3	Elektrokardiograma	12
2.1.4	Elektrookulograma	13
2.2	Žmogaus biosignalų - kompiuterio sąsajų tipai	13
2.2.1	Neuroninė kompiuterio sąsaja naudojant EMG signalus	13
2.2.2	Smegenų – kompiuterio sąsaja	14
2.3	Metodai taikytini duomenų apdorojimui ir klasifikavimui	16
2.3.1	Duomenų apdorojimo metodai	16
2.3.2	Duomenų klasifikavimo metodai įvykių atpažinimui	16
2.4	Duomenų apdorojimui naudojama sistema	18
2.5	Teorinės dalies analizės apibendrinimas	19
3	SISTEMOS ANALIZES PROJEKTINĖ DALIS	19
3.1	Naudojama aparatūrinė įranga	19
4	GALVOS BIOSIGNALŲ – KOMPIUTERIO SĄSAJOS TIRIAMOJI DALIS	21
4.1	Tyrimo eiga	21
4.2	Tyrimo rezultatai	22
5	IŠVADOS	35
6	LITERATŪRA	37
7	PRIEDAI	39
7.1	Žandikaulio sukandimo metu užfiksuotas ritmų pakitimas	39

7.2	Kairės akies mirktelėjimo metu užfiksuotas ritmų pakitimas	39
7.3	Dešinės akies mirktelėjimo metu užfiksuotas ritmų pakitimas	40
7.4	Žandikaulio sukandimo metu užfiksuotas 2-o kanalo spektrinis – amplitudinis pokytis.	40
7.5	Žandikaulio sukandimo metu užfiksuotas 6-o kanalo spektrinis – amplitudinis pokytis.	41
7.6	Dešinės akies mirktelėjimo metu užfiksuotas 13-o kanalo spektrinis – amplitudinis pokytis	41
7.7	Kairės akies mirktelėjimo metu užfiksuotas 7-o kanalo spektrinis – amplitudinis pokytis	42
7.8	CD PLOKŠTELĖ	43

PAVEIKSLAI

1. pav. EKG metu nuskaitytas signalas	12
2. pav. Elektrokulogramos elektrodų tvirtinimo taškai	13
3. pav. Neuroninės kompiuterio sąsajos naudojant EMG signalus algoritmas	14
4. pav. Smegenų – kompiuterio sąsajos bazinis modelis.....	15
5. pav. Tiesinio klasifikavimo plokštumoje metodas	17
6. pav. Netiesinis atraminių vektorių metodas[23].....	18
7. pav. Emotiv EPOC - EEG, EMG, EOG įrenginys[25].....	20
8. pav. Įrenginio montavimas[25]	22
9. pav. Pirmojo tiriamojo komandų tikslumas.....	23
10. pav. Antrojo tiriamojo komandų tikslumas	24
11. pav. Trečiojo tiriamojo komandų tikslumas	25
12. pav. Ketvirtojo tiriamojo komandų tikslumas	26
13. pav. Penktojo tiriamojo komandų tikslumas	27
14. pav. Šeštojo tiriamojo komandų tikslumas.....	28
15. pav. Septintojo tiriamojo komandų rezultatai.....	29
16. pav. Aštuntojo tiriamojo komandų rezultatai	30
17. pav. Devintojo tiriamojo komandų rezultatai	31
18. pav. Dešimtojo tiriamojo komandų rezultatai	32
19. pav. Bendri visų tiriamųjų vidurkiniai komandų atlikimo rezultatai.....	34

LENTELIŲ SAŖAŠAS

1 lentelė. EEG signalų skirstymas pagal dažnį.....	11
2 lentelė. Emotiv EPOC įrenginio duomenys[25].....	20
3 lentelė. Pirmojo tiriamojo rezultatai	23
4 lentelė. Antrojo tiriamojo rezultatai.....	24
5 lentelė. Trečiojo tiriamojo rezultatai	25
6 lentelė. Ketvirtojo tiriamojo rezultatai	26
7 lentelė. Penktojo tiriamojo rezultatai.....	27
8 lentelė. Šeštojo tiriamojo rezultatai	28
9 lentelė. Septintojo tiriamojo rezultatai	29
10 lentelė. Aštuntojo tiriamojo rezultatai	30
11 lentelė. Devintojo tiriamojo rezultatai.....	31
12 lentelė. Dešimtojo tiriamojo rezultatai	32
13 lentelė. Bendras visų tiriamųjų rezultatas.....	33

TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNAS

1. EMG – elektromiograma
2. EEG – elektroencefalograma
3. ECG, EKG – elektrokardiograma
4. EOG – elektrookulograma
5. CNS – Centrinė nervų sistema
6. FFT – greitoji Furje transformacija
7. BCI – smegenų – kompiuterio sąsaja

1 ĮVADAS

Tobulėjant kompiuteriams ir skaitmeniniams įrenginiams jie užima vis didesnę ir svarbesnę dalį žmonių gyvenime, bei daro vis didesnę įtaką kasdienėje žmogaus veikloje. Skaitmeninių sistemų ir kompiuterių pritaikymo sričių kasdien vis daugėja ir to pasėkoje atsiranda galimybių naujiems komunikavimo ir valdymo būdams. Viena iš sparčiausiai vystomų komunikavimo ir valdymo sričių yra žmogaus biosignalų - kompiuterio sąsaja. Ši sąsaja leidžia valdyti kompiuterį ar kitą įrenginį panaudojant įvairias technologijas, kurios leidžia ne tik registruoti žmogaus kūno generuojamus impulsus, biosignalus, bet ir juos atskirti, apdoroti, klasifikuoti bei taikyti skaitmeninių sistemų valdyme.

Šio baigiamojo magistro darbo tikslas: ištirti kompiuterio žymeklio valdymo galimybes panaudojant galvos biosignalus. Šis tikslas buvo pasiektas atliekant iškeltus uždavinius:

- Išanalizuoti žmogaus kūno generuojamus biosignalus ir jų taikymą kompiuterio sąsajoje
- Apžvelgti būdus biosignalų apdorojimui
- Sukurti bandymų metodiką naudojant EPOC įrenginį
- Atlikti bandymus su tiriamaisiais

Atlikus visus iškeltus uždavinius buvo įvykdytas pagrindinis tikslas - ištirta kompiuterio žymeklio valdymo galimybė panaudojant galvos biosignalus.

2 BIOMEDICININIŲ SIGNALŲ SAŠAJŲ ANALIZĖ

2.1 Įėjimo signalai

Žmogaus ir kompiuterio neuroninėje sąsajoje gali būti naudojami įvairūs žmogaus biosignalai, tai įvairių rūšių fiziologinės kilmės signalai:

- Elektromiograma – raumens ar raumens skaidulos generuojamas biosignalas.
- Elektroencefalograma – smegenų bioelektrinio aktyvumo signalas.
- Elektrokardiograma – suminė širdimi tekančių biosrovių kryptis ir dydis (širdies elektrinė ašis).
- Elektrookulograma – akių judesių generuojami biosignalai.

2.1.1 Elektromiograma

Raumens skaidulos elektrinio aktyvumo matavimas kuris siejamas su raumenų susitraukimu. Elektromiogramos, dažniausiai registruojamos paviršinio tipo jutikliais (elektrodais) kurie uždedami virš raumens ant odos, nors galimi ir invazinio tipo jutikliai, kurie įvedami – įsmeigiami į raumens audinį, šis metodas dažniausiai naudojamas medicinoje. Nuskaitomų signalų dažnių ruožas 1 – 2000 Hz, o raumens lastelės membranos generuojamas potencialas yra ~90mV. Elektromiogramos signalo amplitudė gali svyruoti nuo mažiau nei 50 μ V iki 20 – 30mV. Šis raumenų generuojamas signalas gan gerai perprastas ir gali būti lengvai pritaikomas ir panaudojamas žmogaus ir kompiuterio sąsajoje, nes įmanoma nustatyti raumens būseną nuo visiško ar dalinio įtempimo iki atpalaidavimo būsenos, tai leidžia nesunkiai nuspręsti apie žmogaus ketinimą judėti[1,2].

2.1.2 Elektroencefalograma

Elektroencefalogramos registruoja smegenų, (CNS), elektrinį aktyvumą. Šiam tikslui naudojami trijų tipų elektrodai:

- galvos kaukolės
- smegenų žievės
- gylis

Galvos kaukolės metodas priskiriamas prie neinvazinio elektroencefalogramų nuskaitymo metodo, šiuo metodu elektrodai pridedami ar pritvirtinami prie galvos odos. Smegenų žievės ir gylio metodai, tai invazinio tipo nuskaitymo metodai. Taikant smegenų žievės metodą, elektrodai uždedami ant neapsaugotos smegenų žievės, o gylio metodu, labai ploni adatiniai elektrodai įvedami į gilesnį smegenų audinį. Dažniausiai naudojamas ir taikomas neinvazinio nuskaitymo metodas, dėl savo paprastumo ir pigumo, atsižvelgiant į tai jog invaziniam metodui reikalinga sterili aplinka, darbuotojų personalas ir begalė kitos įrangos, be to šis metodas yra saugesnis. Naudojant bet kurį metodą, registruojami elektros potencialai (signalai) - smegenyse esančių neuronų generuojamų srovių sukurtų elektros laukų suma (superpozicija). Šiuos laukus sukuria sudėtingi nerviniai tinklai, sudaryti iš daugelio neuronų, jų aksonų bei sinapsinių jungčių. EEG signalai yra skirstomi pagal dažnį, skirstymas pateiktas 1-je lentelėje[2].

1 lentelė. EEG signalų skirstymas pagal dažnį

Tipas	Dažnis	Kada pasireiškia
Delta	<4 Hz	Miego metu
Theta	4-7 Hz	Esant stresui
Alpha	8-12 Hz	Amplitudė mažėja įsivaizduojant judesį
Beta	12-36 Hz	Amplitudė padidėja protinio darbo metu
Mu	9-11 Hz	Amplitudė mažėja judant arba ketinant judėti
Lambda	asinchroninės	Siejasi su dėmesio sutelkimu
Vertex		Vaikams arba esant tam tikroms ligoms

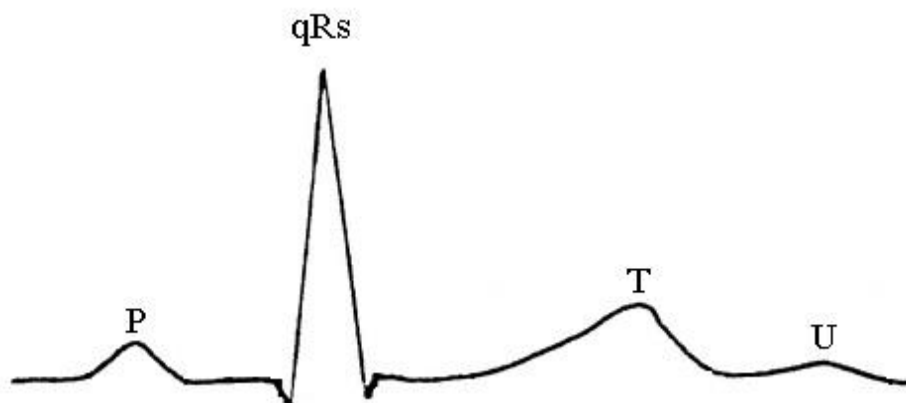
Kaip matome iš pirmosios lentelės, smegenų generuojami biosignalai pasireiškia skirtingose situacijose, realybėje nėra tiksliai patvirtintų ir konkrečiai nustatytų dažnių diapazonų, nes kiekvieno žmogaus smegenys veikia skirtingai, todėl galima tik preliminariai atsižvelgti į skirstymą. Nuskaitant, klasifikuojant ir panaudojant signalus sąsajoje su kompiuteriu, viskas priklauso ne tik nuo įrangos galimybių, bet ir nuo tiriamojo subjekto mentalinių sugebėjimo, psichinės būsenos ir

kitų veiksmų. Dažniausiai panaudojami subjekto motorikos (judesių) įsivaizdavimo metodas, kurio metu subjektas tik įsivaizduoja galūnių judesius, to visiškai pakanka jog tam tikra smegenų sritis pradėtų generuoti signalus.

2.1.3 Elektrokardiograma

Elektrokardiograma (ECG, EKG) – tai tyrimas (procesas) kurio metu registruojamas širdies elektrinis aktyvumas laike. Signalų nuskaitymui naudojami paviršinio tipo elektrodai kurie pritvirtinami prie žmogaus (tiriamąjo) kūno tam tikruose taškuose, o nuskaitymo metu matuojama širdimi tekančių biosrovių kryptis ir dydis. Ši neinvazinė medicininė procedūra leidžia nustatyti paciento būseną, jei pacientas patiria stresą, ar jaudulį fiksuojamas padažnėjęs pulsas (širdies dūžių skaičius per minutę), taip pat iš nuskaityto signalo galima spręsti ir apie paciento širdies būseną, nes sutrikęs skilvelių depoliarizacijos ir repoliarizacijos laikas reiškia širdies darbo sutrikimus[1,2].

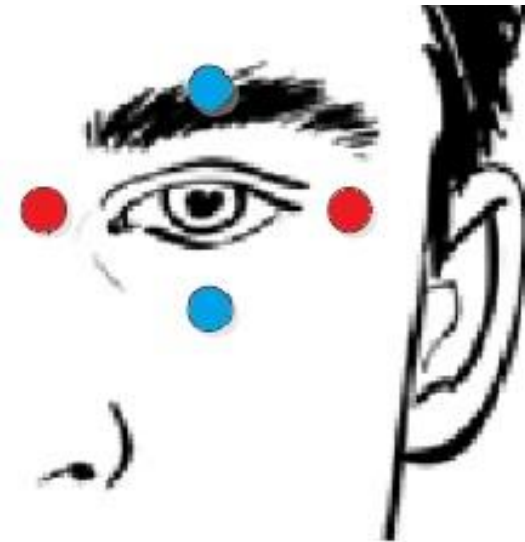
EKG gali būti taikoma sistemose kur reikalingas grįžtamasis ryšys į poveikį (garsinį, vaizdinį ir t.t.) kuris gali sukelti vartotojui stresą išgąstį ar kaip kitaip paveikti. Vienas iš pritaikymo sričių yra kompiuterinių žaidimų sritis kur pritaikius vartotojo širdies stebėjimą galima dinamiškai keisti žaidimo sunkumą ar efektus išgaunant maksimalų žaidėjo įsijautimą ir potyrį žaidžiant žaidimą.



1. pav. EKG metu nuskaitytas signalas

2.1.4 Elektrookulograma

EOG – tai akies judesio registravimas matuojant biopotencialų skirtumą tarp akies ragenos ir tinklainės. Šio akies pozicijos matavimo metu reikia pritvirtinti elektrodus aplink akį, ją apgaubti[2]. Elektrodo tvirtinimo taškai pavaizduoti 3. pav. paveiksle.



2. pav. Elektrookulogramos elektrodų tvirtinimo taškai

Matavimo metu yra registruojamas akies pozicijos pokytis ir akies pasisukimo greitis. Akiai judant link vieno iš elektrodų porų (horizontali ir vertikali ašis), registruojamas teigiamos įtampos biosignalas, o priešingame elektrode apytiksliai toks pat neigiamos įtampos biosignalas. Pagal šių potencialų skirtumą ir yra nustatomas akies pasisukimo kampas ir greitis[1,2].

2.2 Žmogaus biosignalų - kompiuterio sąsajų tipai

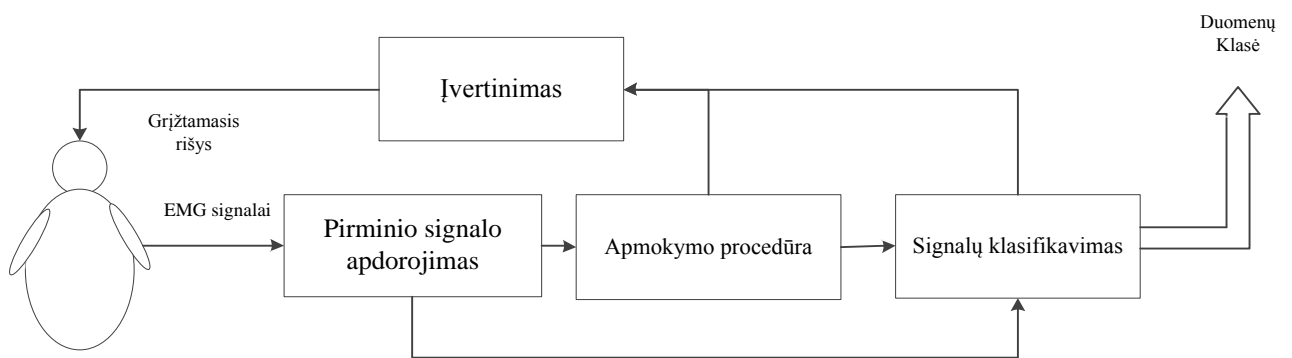
Duomenų klasifikavimo ir apdorojimo metodai bei žmogaus biosignalų – kompiuterio sąsajų tipai buvo aprašyti išanalizavus naudojamus metodus biosignalų apdorojimui taikant juos žmogaus – kompiuterio sąsajoje. Visa informacija pateikta 2.2 - 2.3 skiltyje yra remiami literatūros šaltiniais [3-22]

2.2.1 Neuroninė kompiuterio sąsaja naudojant EMG signalus

Neuroninė kompiuterio sąsaja naudojant EMG signalus yra paprastesnė lyginant su smegenų – kompiuterio sąsaja kuri aprašyta 2.2.2 skiltyje. Šio tipo sąsajoje naudojami raumenų susitraukimo biosignalai gaunami EMG metu, kuriuos galima nuskaityti ne tik nuo žmogaus galvos, bet ir nuo

kitų kūno vietų. Šiuos signalus gan nesudėtinga nuskaityti, be to raumenų susitraukimas – įtempimas yra natūraliai įgimtas procesas.

Medicinoje šis metodas dažnai taikomas pacientams mokyti judinti galūnes, po traumų ar ligų. Taip pat EMG gali būti naudojamas ir apmokant, pacientą, valdyti protezus, bionines galūnes, arba pritaikant žmogaus kompiuterio sąsajoje valdant kompiuterio žymeklį, neįgaliojo vežimėlį, robotą, ar kitas skaitmenines sistemas. Nuskaičius EMG signalus juos reikia apdoroti skaitmeniniu signalų apdorojimo metodais. Taip pat sukurti duomenų šablonams gali būti taikomas apmokymo procesas ir sudarytas klasifikavimo metodas.



3. pav. Neuroninės kompiuterio sąsajos naudojant EMG signalus algoritmas

Vartotojas atlieka įvertinimą tuo pat metu kai atliekami apmokymo ir klasifikavimo procesai. Vartotojas stebi situaciją realiu laiku ir gali reaguoti į sistemos valdymą, pagerindamas ir paspartindamas sistemos veikimą, jei reikia gali atpalaiduoti ar įtempti raumenį.

2.2.2 Smegenų – kompiuterio sąsaja

Smegenų – kompiuterio sąsaja, tai sistemos valdymas panaudojant žmogaus smegenų generuojamus biosignalus. Ši sąsaja keičia biosignalus į skaitmeninį signalą ir atlikus klasifikavimą paverčiama į tam tikras valdymo komandas. Nuskaitytas smegenų generuojamas signalas vadinamas Elektroencefalograma (EEG).

EEG signalui nuskaitymui dažniausiai naudojami įrenginiai skirstomi į dvi grupes:

- Moksliniai – medicininiai
- Komerciniai

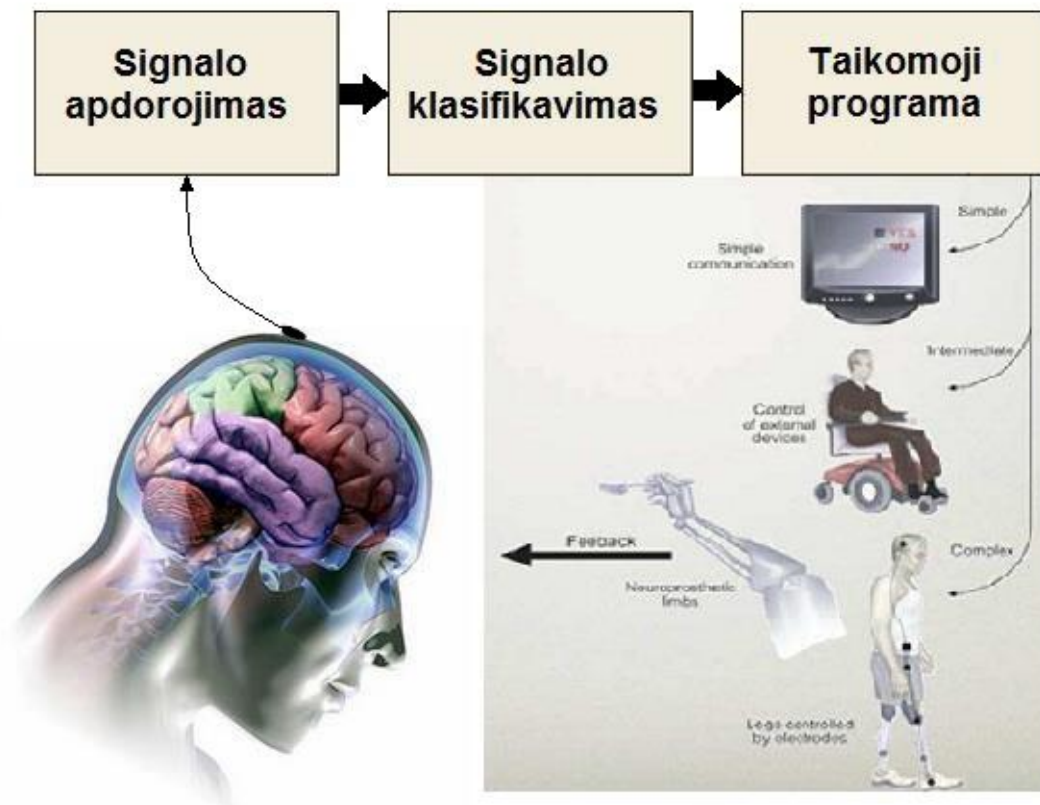
Mokslinio tipo įrenginiai dažniausiai būna labai brangūs dėl savo galimybių, duomenų tikslumo, arba apibendrintai, skiriamosios gebos, nei lyginant su komercinio tipo įrenginiais kurie

skirti plačiajai visuomenei. Šie komercinio tipo įrenginiai negali pasižymėti didele skiriamąja geba, bet suteikia galimybę žmonėms įsilieti į mokslinę veiklą ir taip prisidėti prie spartesnės šios srities vystymosi ir naujų technologijų kūrimo bei pritaikymo kasdienėje veikloje.

Dažniausiai EEG taikoma srityje susijusioje su fiziologine rehabilitacija, EEG naudojamas sistemose siekiant išgydyti didėjančią skaičių pacientų turinčių psichofiziologinių sutrikimų kurie gali būti sukelti įvairių sutrikimų:

- Priklausomybių sukelti sutrikimai
- Depresijos padariniai
- Po trauminis stresinis sutrikimas
- Miego sutrikimai
- Dėmesio koncentravimo sutrikimas

Kiekvienam atvejui yra pritaikomas mokymo protokolas kuris buvo atrastas empirinio tyrimo metu. Smegenų – kompiuterio sąsajos bazinis modelis pateikiamais 5. pav. Šis modelis susideda iš šešių etapų: EEG signalo nuskaitymo, signalo apdorojimo, klasifikavimo, taikomosios programos parinkimo, komandos siuntimo ir grįžtamojo ryšio.



4. pav. Smegenų – kompiuterio sąsajos bazinis modelis

Šiuo metu sąsajos pritaikymo galimybės neturi pritaikymo galimybių ribų. Smegenų – kompiuterio sąsaja gali būti pritaikyta paprastoms, nesudėtingoms užduotims atlikti, tokioms kaip atsakymo „taip arba ne“ pasirinkimui. Vidutinio sudėtingumo pritaikymas – roboto, neįgaliojo vežimėlio ar kito roboto valdymui ir sudėtingiausia bei labiausiai vystoma sritis – neuroprotezų (bioninių) galūnių valdymui, nes pasaulyje yra daug žmonių turinčių negalią ar patyrusių sunkias traumas ir praradusių galūnes ar galimybę pilnavertiškai jas valdyti.

2.3 Metodai taikytini duomenų apdorojimui ir klasifikavimui

2.3.1 Duomenų apdorojimo metodai

2.3.1.1 Greitoji Furje transformacija (FFT)

Greitoji Furje transformacija (FFT) – skaitmeninių signalų apdorojimo algoritmas, jis atlieka tokį patį veiksma kaip ir diskrečioji Furje transformacija tik dažnių spektras yra išgaunamas greičiau, todėl dažnai naudojama realaus laiko sistemose, taip pat ir realiu laiku apdoroti EEG signalus smegenų – kompiuterio sąsajoje[3].

2.3.2 Duomenų klasifikavimo metodai įvykių atpažinimui

2.3.2.1 Atraminų vektorių metodas

Atraminų vektorių metodas (SVM) – tai algoritmas, priskiriamas prie savaimės apsimokančių metodų grupės, taikomas duomenų regresinei analizei ar klasifikavimui. Dėl didelio našumo ir plataus taikymo sričių šis metodas tampa vis dažniau naudojamas kompiuterių ir jų sistemų apmokymo taikomą modeliu, srityse, kuriose reikalingas duomenų apdorojimas[20,21].

SVM metodas prasideda nuo jam suteikiamų pradinių mokymo pavyzdžių, kurie priskiriami vienai iš dviejų klasių. Jis sukuria modelį, pagal kurį sekantys pavyzdžiai (duomenys) bus priskiriami vienai ar kitai klasei (kategorijai), todėl gali būti laikomas ne tikimybinis dvejetainiu arba binariniu klasifikatoriumi. SVM metodas daugiamatėje erdvėje sudaro sprendimų plokštumą kurioje duomenys pateikiami kaip taškai kuriuos dalija aiški linija (riba) į atskiras sritis (kategorijas). Vėliau nauji duomenys yra patalpinami toje pačioje sprendimų plokštumoje ir pagal jau esamą ribą nusprendžiama kuriai kategorijai (ribai) taškai yra priskiriami[20,22].

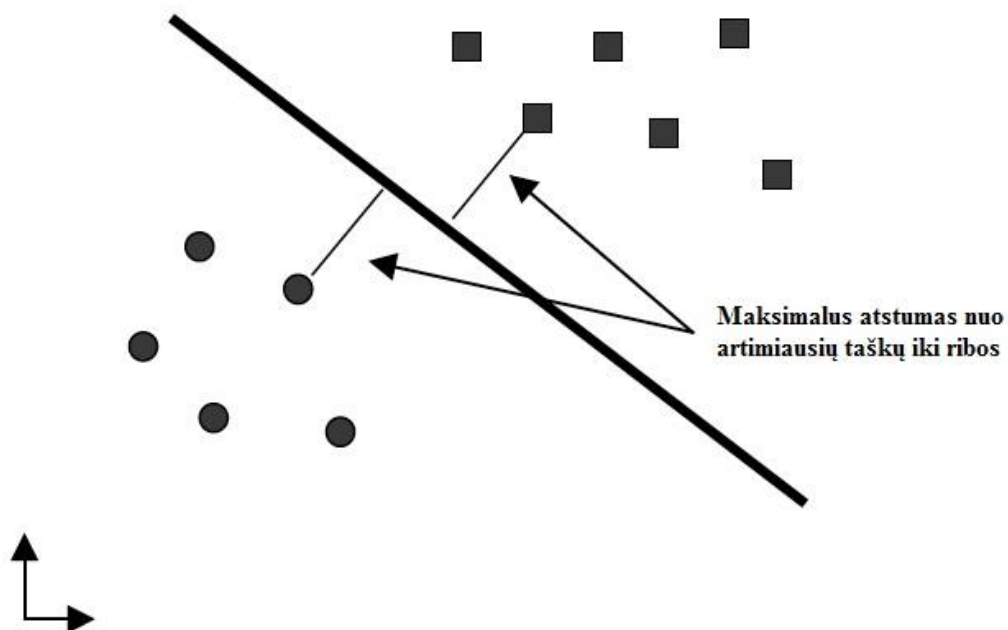
SVM metodas skirtas atpažinimo uždaviniams spręsti. Atpažinimo procesas tai žinomų fragmentų (atitikmenų) ieškojimas duomenų masyvuose pagal jau turimus šablonus sudarytus apmokymo metu. Šis metodas taikomas daugelyje sričių, pvz.:

- Garso analizėje
- Vaizdo analizėje
- Simbolių ir rašysenos analizėje
- Biosignalų analizėje

SVM metodo sričių pritaikymas labai platus ir neribotas, bet visose srityse jo veikimo principas, sprendimo ribų apibrėžimas plokštumoje, pagal kurias priimami sprendimai. Taip pat šis metodas duomenų atskyrimui į klases turi „branduolio funkcijas“ :

- Tiesinis klasifikavimas
- Netiesinis klasifikavimas

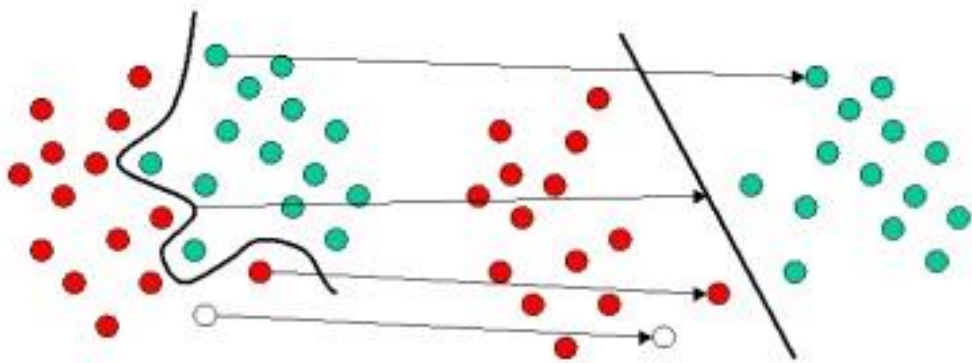
Tiesinio klasifikavimo būdas, kuriame tiesė nustato skiriamąją ribą plokštumoje, dalijančią ją į dvi dalis pavaizduota 6. pav.



5. pav. Tiesinio klasifikavimo plokštumoje metodas

Kaip matome paveikslėlyje, nustatoma riba (tiesė) kuri atskiria duomenų klases. Naudojant šį metodą bandoma ribą nustatyti taip jog nuo skiriančios tiesės iki artimiausių klasių taškų atstumas būtų pats didžiausias. Tokiu būdu matoma ir gaunama didžiausia atskirtis tarp klasių duomenų (taškų plokštumoje), kas lemia lengvesnį sprendimo priėmimą. Bet kokie nauji duomenys patekę į plokštumą atsiranda dešinėje ar kairėje plokštumos pusėje ir pagal tai yra priskiriami atitinkamai klasei[21,23].

Netiesinio klasifikavimo būdas taip pat kaip ir tiesinis dalija plokštumą kurioje išdėstyti taškai tik netiesinio klasifikavimo būdas daug sudėtingesnis, nes plokštumą skiria kreivė. Pavyzdys pateiktas 7 pav.



6. pav. Netiesinis atraminių vektorių metodas[23]

Kaip matome pavyzdyje, raudonų ir žalių taškų neįmanoma atskirti tiese, todėl reikia rasti geriausią kreivę kuri galėtų atskirti visus raudonus ir žalius taškus plokštumoje. Šio metodo pritaikymas lankstesnis ir yra vienas dažniausiai naudojamų metodų duomenų klasifikavime.

2.4 Duomenų apdorojimui naudojama sistema

Šiuo metu dažniausiai duomenų apdorojimui naudojami personaliniai kompiuteriai kurie geba apdoroti didelį kiekį duomenų. Todėl rinkoje egzistuoja ne viena programinė įranga specifiskai pritaikyta biosignalų apdorojimui, vienos populiariausių : **EEGLAB**, **xBCI**, **OpenViBE**, **BCI2000**, **BCI++**. Šiame tyrime buvo naudojama EEGLAB, tai MATLAB programinis įskiepis naudojamas biosignalų (EEG) duomenų apdorojimui, vizualizavimui ir tyrinėjimui. Šis programinis

paketas buvo pasirinktas dėl jau įprasto MATLAB programinės įrangos naudojimo bei naudojamo įrenginio biosignalams nuskaityti[24].

2.5 Teorinės dalies analizės apibendrinimas

Išanalizavus visus galimus įėjimo biosignalus EMG, EEG, ECG, EKG, EOG buvo nuspręsta valdymui ir sąsajos tyrimui panaudoti elektromiogramos signalus, tai yra raumenų susitraukimo signalai, kuriuos lengva kontroliuoti ir nesudėtinga registruoti.

Apžvelgtos ir išanalizuotos žmogaus biosignalų - kompiuterio sąsajų tipai, analizės metu buvo perprastos sistemos, jų veikimo principai ir panaudojimo galimybės. Taip pat buvo gilinamasi į sistemos naudojančios EMG signalus.

Tik atlikus galimų signalų, sistemų tipų, jų galimybių bei sudėtingumą panaudojant tyrime, buvo priimtas sprendimas, dėl sistemos ir naudojamų biosignalo tipo panaudojimo tiriamajoje dalyje. Pagrindė buvo atsižvelgiama ir numatoma kiek laiko prireiks kiekvieną tiriamąjį supažindinti ir apmokyti tyrimo eigos, bei į pačios tiriamosios užduoties perteikimą tiriamiesiems, jog tyrimas būtų paprastas ir nesudėtingas tiriamiesiems, bet tuo pačiu ir suteiktų reikiamos ir svarbios informacijos tyrimo analizavimui.

3 SISTEMOS ANALIZES PROJEKTINĖ DALIS

3.1 Naudojama aparatūrinė įranga

Emotiv EPOC tai moksliniams tyrimams, aukštos rezoliucijos biosignalų nuskaitymo ir apdorojimo, belaidės jungties įrenginys, kuris perduoda informaciją į kompiuterį BLUETOOTH technologija. Šis įrenginys turi 14-a jutiklių kurie išdėstyti pagal 10-20 tarptautinį standartą. Jutiklių pagalba įrenginys gali nuskaityti smegenų ir galvos raumenų biosignalus, aptikti mintis, jausmus ar išraišką. Taip pat gamintojas įgalina vartotoją realiu laiku matyti visus nuskaitytus signalus, ritmus ir begalę kitos informacijos[25]. Įrenginys pavaizduotas 7. pav.



7. pav. Emotiv EPOC - EEG, EMG, EOG įrenginys[25]

Įrenginio techniniai duomenys ir specifikacijos pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Emotiv EPOC įrenginio duomenys[25]

Kanalų skaičius	14 (plius CMS/DRL atraminiai)
Kanalų kodai (Int. 10-20 padėčių)	AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5, FC6, P3 (CMS), P4 (DRL), P7, P8, T7, T8, O1, O2
Diskretizavimo metodas	Nuoseklus, Vienas ADC
Diskretizavimo dažnis	~128Hz (2048Hz vidinis)
Skyra	16 bitų (14 efektyvių bitų) 1 LSB = 0.51μV
Juostos plotis	0.2 - 45Hz, skaitmeniniai užtvariniai filtrai 50Hz ir 60Hz
Dinaminis diapazonas (įėjimo atžvilgiu)	256mVpp
Signalų tipas	Tik AC dedamoji
Jungtis	Privatus bevielis, 2.4GHz juostoje
Baterijos tipas	Li polimerų
Baterijos darbo trukmė	12 val.
Impedanso matavimas	Kontaktų kokybė, naudojant patentuotą technologiją

4 GALVOS BIOSIGNALŲ – KOMPIUTERIO SĄSAJOS TIRIAMOJI DALIS

4.1 Tyrimo eiga

Tyrimas buvo atliekamas su 10 tiriamųjų, kurių amžius 21-30 metų. Tyrimo metu tiriamieji turėjo atlikti kiekvienam žymeklio paspaudimui priskirtą komandą. Kiekvieną komandą – valdymas buvo atliekamas keturis kartus po 20 komandų. Buvo atliekamos tokios valdymo komandos:

- Valdymo komanda – kairysis žymeklio paspaudimas (kairės akies mirktelėjimas)
- Valdymo komanda – dešinysis žymeklio paspaudimas (dešinės akies mirktelėjimas)
- Valdymo komanda – du kart kairysis žymeklio paspaudimas (žandikaulio suspaudimas)

Kaip matome valdymui buvo pasirinktas elektromiogramų valdymo metodas, šis metodas buvo pasirinktas dėl paprastumo tiek valdymui tiek tiriamųjų atžvilgiu, nes tokie raumenų susitraukimai yra natūraliai įgimti ir lengvai sugeneruojami.

Prieš kiekvieną tyrimą buvo atliekamas trumpas tiriamojo instruktavimas, sistemos kalibravimas ir bandomasis žymeklio valdymas, tad kiekvienas tiriamasis turėjo galimybę apsiprasti prie įrenginio ir paties valdymo. Pradėjus tyrimą, tiriamasis turėjo atlikti jam liepiamą komandos veiksmą, tuo metu buvo stebima ar atlikus yra inicijuojamas žymeklio paspaudimas, taip pat stebimas atitinkamo elektrodo būseną ir jo duomenys. Po tyrimo, registruoti duomenys buvo apdorojami ir apskaičiuojamas kiekvienos valdymo komandos tikslumas.



8. pav. Įrenginio montavimas[25]

Žymeklio valdymo komandų tikslumui buvo naudojama formulė:

$$N = \frac{n - f}{n} * 100\% \quad (1)$$

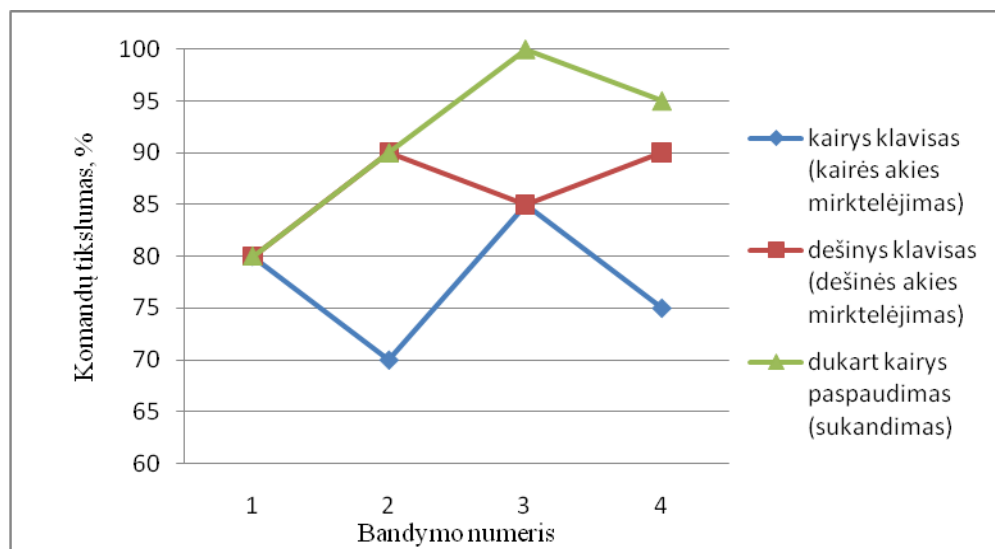
N – žymeklio valdymo komandos tikslumas (%); n – atliktų komandų skaičius; f – neteisingai atliktų komandų skaičius.

4.2 Tyrimo rezultatai

Tyrimo rezultatai pateikiami 3 – 13 lentelėse ir 9 – 19 paveiksluose, kuriuose matomi kiekvieno tiriamojo ir bendri visų tiriamųjų rezultatai gauti tyrimo metu.

3 lentelė. Pirmojo tiriamojo rezultatai

Komandos pavadinimas	Bandymo numeris				Bendras(%)
	1	2	3	4	
kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)	80	70	85	75	77,50
dešinysis klavišas (dešinės akies mirktelėjimas)	80	90	85	90	86,25
dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)	80	90	100	95	91,25
Bendras bandymo (%)	80,00	83,33	90,00	86,67	

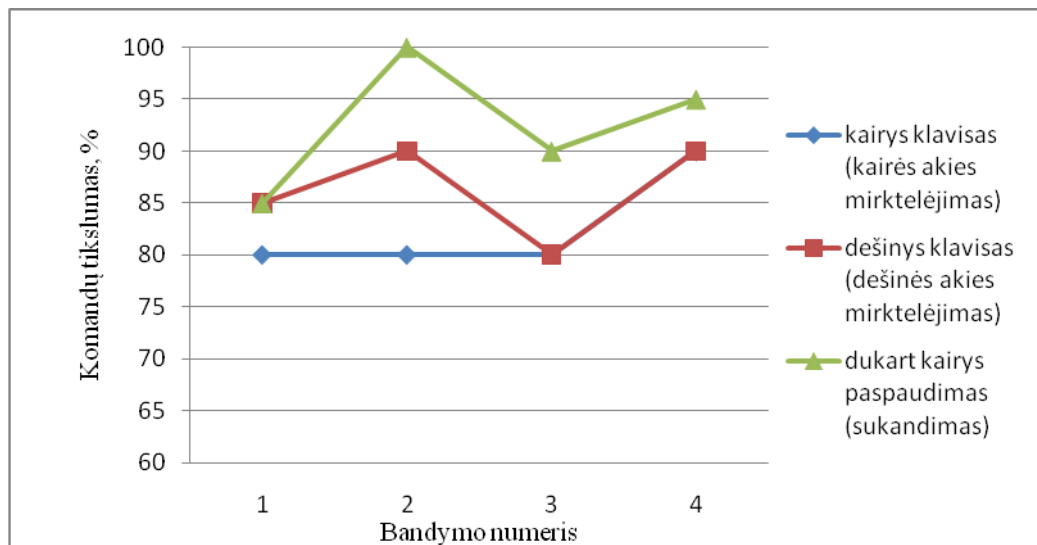


9. pav. Pirmojo tiriamojo komandų tikslumas

Pirmojo tiriamojo komandų rezultatai bandymų metu pateikti 9. pav. Grafike matomas kintamas komandų atlikimo tikslumas bandymų metu. Pirmasis tiriamasis tiksliausiai atliko komandą „dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)“, trečiojo bandymo metu buvo pasiektas 100% tikslumas, o kitos komandos buvo atliekamos ne taip tiksliai. Blogiausias rezultatas buvo pasiektas antrojo bandymo metu atliekant komandą „kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)“, komandos tikslumas - 70%.

4 lentelė. Antrojo tiriamojo rezultatai

Komandos pavadinimas	Bandymo numeris				Bendras(%)
	1	2	3	4	
kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)	80	80	80	90	82,50
dešinysis klavišas (dešinės akies mirktelėjimas)	85	90	80	90	86,25
dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)	85	100	90	95	92,50
Bendras bandymo (%)	83,33	90,00	83,33	91,67	

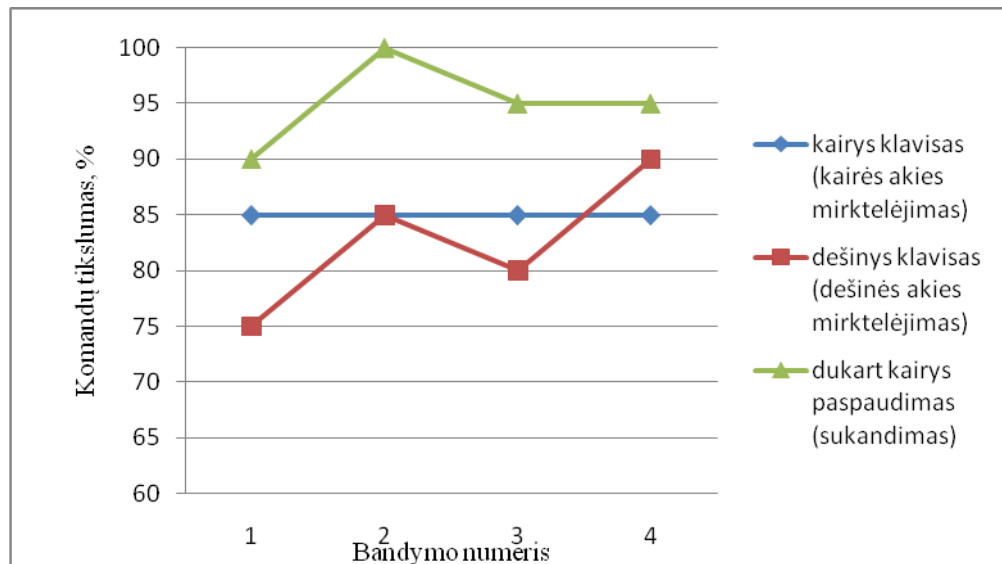


10. pav. Antrojo tiriamojo komandų tikslumas

Antrojo tiriamojo komandų rezultatai bandymų metu pateikti 10. pav. Grafike matomas kintamas komandų atlikimo tikslumas bandymų metu. Antrasis tiriamasis tiksliausiai atliko komandą „dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)“, antrojo bandymo metu buvo pasiektas 100% tikslumas, o kitos komandos buvo atliekamos ne taip tiksliai. Blogiausias rezultatas buvo pasiektas 1-3 bandymų metu atliekant komandą „kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)“, komandos tikslumas - 80%. Nors trečiojo bandymo metu komanda „dešinysis klavišas (dešinės akies mirktelėjimas)“ taip pat buvo atliktas tik 80% tikslumu, bet atsižvelgiant į bendrą visų bandymų tikslumą ši komanda buvo atliekama kur kas tiksliau 86,25%.

5 lentelė. Trečiojo tiriamojo rezultatai

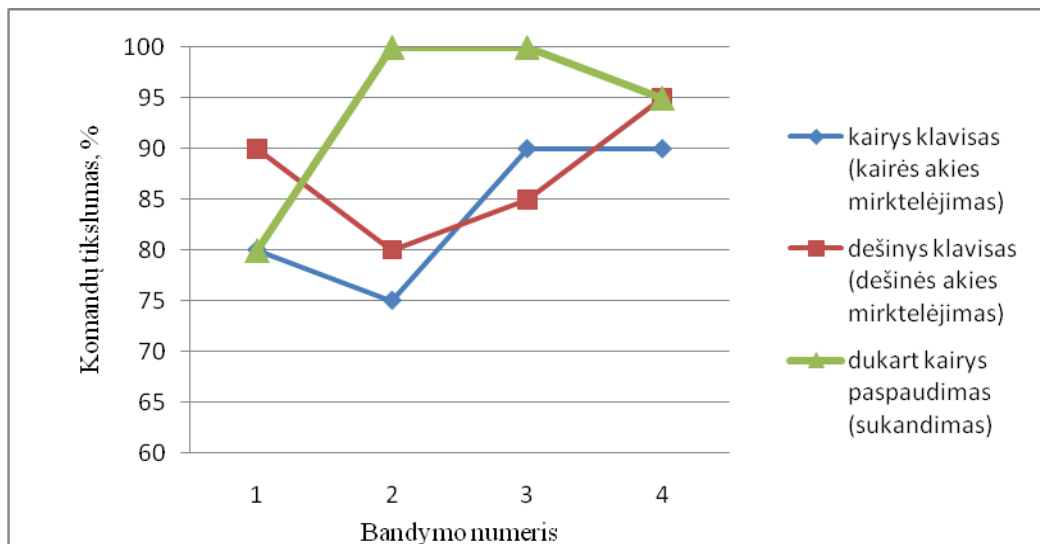
Komandos pavadinimas	Bandymo numeris				Bendras(%)
	1	2	3	4	
kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)	85	85	85	85	85,00
dešinysis klavišas (dešinės akies mirktelėjimas)	75	85	80	90	82,50
dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)	90	100	95	95	95,00
Bendras bandymo (%)	83,33	90,00	86,67	90,00	

**11. pav.** Trečiojo tiriamojo komandų tikslumas

Trečiojo tiriamojo komandų rezultatai bandymų metu pateikti 11. pav. Grafike matomas kintamas komandų atlikimo tikslumas bandymų metu. Trečiasis tiriamasis tiksliausiai atliko komandą „dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)“, antrojo bandymo metu buvo pasiektas 100% tikslumas, o kitos komandos buvo atliekamos ne taip tiksliai. Blogiausias rezultatas buvo pasiektas pirmojo bandymų metu atliekant komandą „dešinysis klavišas (dešinės akies mirktelėjimas)“, komandos tikslumas - 75%, o komandos „kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)“, visų bandymų metu, tikslumas buvo 85% ir išliko stabilus.

6 lentelė. Ketvirtojo tiriamojo rezultatai

Komandos pavadinimas	Bandymo numeris				Bendras(%)
	1	2	3	4	
kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)	80	75	90	90	83,75
dešinysis klavišas (dešinės akies mirktelėjimas)	90	80	85	95	87,50
dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)	80	100	100	95	93,75
Bendras bandymo (%)	83,33	85,00	91,67	93,33	

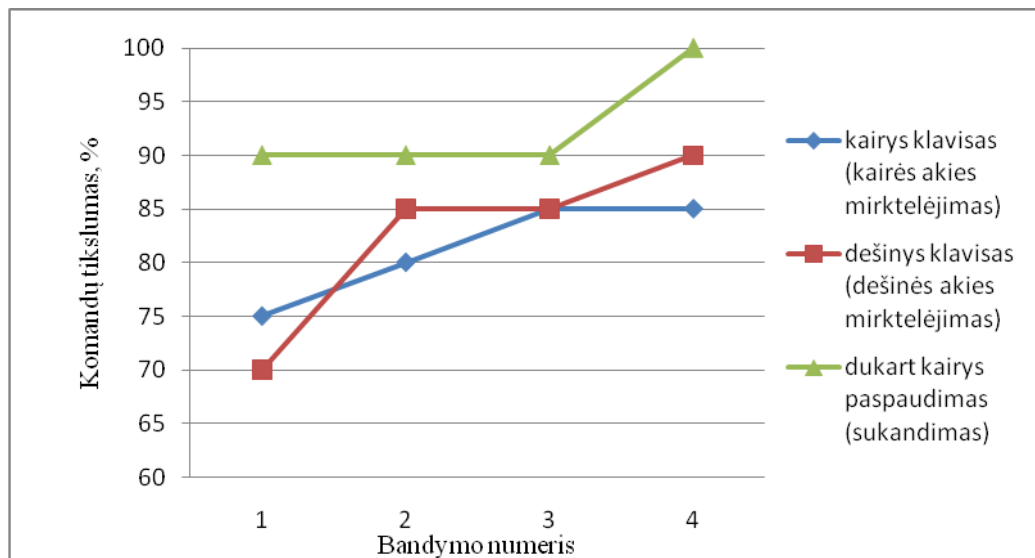


12. pav. Ketvirtojo tiriamojo komandų tikslumas

Ketvirtojo tiriamojo komandų rezultatai bandymų metu pateikti 12. pav. Grafike matomas kintamas komandų atlikimo tikslumas bandymų metu. Ketvirtasis tiriamasis tiksliausiai atliko komandą „dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)“, 2-3 bandymo metu buvo pasiektas 100% tikslumas, o kitos komandos buvo atliekamos ne taip tiksliai. Blogiausias rezultatas buvo pasiektas antrojo bandymų metu atliekant komandą „kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)“, komandos tikslumas - 75%.

7 lentelė. Penktojo tiriamojo rezultatai

Komandos pavadinimas	Bandymo numeris				Bendras(%)
	1	2	3	4	
kairysis klavišas (kairės akies mirkstelėjimas)	75	80	85	85	81,25
dešinysis klavišas (dešinės akies mirkstelėjimas)	70	85	85	90	82,50
dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)	90	90	90	100	92,50
Bendras bandymo (%)	78,33	85,00	86,67	91,67	

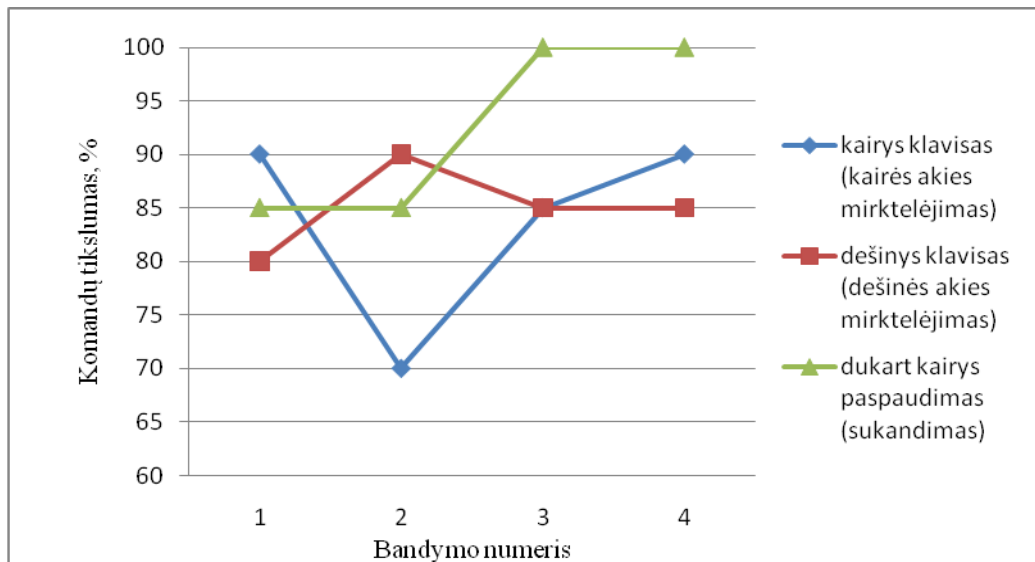


13. pav. Penktojo tiriamojo komandų tikslumas

Penktojo tiriamojo komandų rezultatai bandymų metu pateikti 13. pav. Grafike matomas kintamas komandų atlikimo tikslumas bandymų metu. Penktasis tiriamasis tiksliausiai atliko komandą „dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)“, ketvirtojo bandymo metu buvo pasiektas 100% tikslumas, o kitos komandos buvo atliekamos ne taip tiksliai. Blogiausias rezultatas buvo pasiektas pirmojo bandymų metu atliekant komandą „dešinysis klavišas (dešinės akies mirkstelėjimas)“, komandos tikslumas - 70%.

8 lentelė. Šeštojo tiriamojo rezultatai

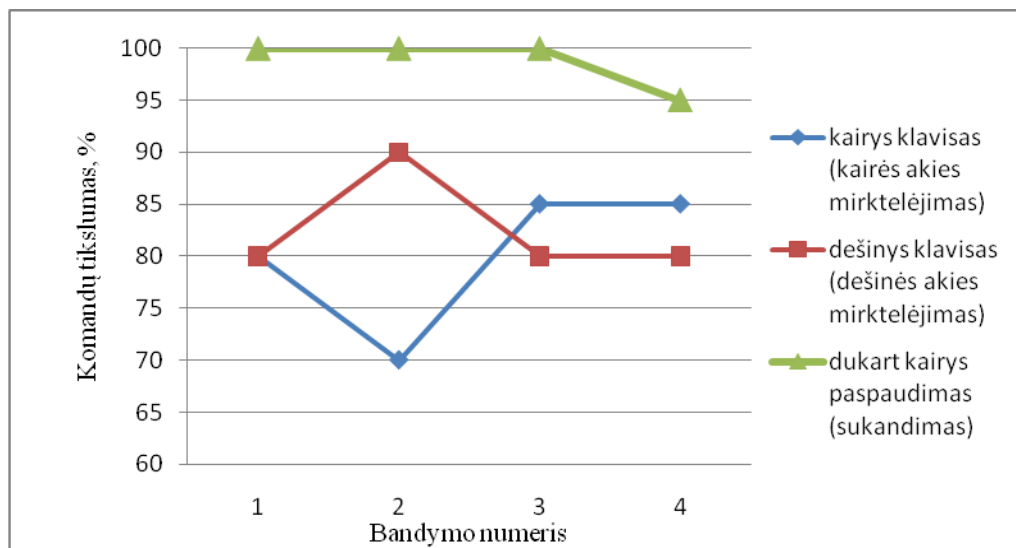
Komandos pavadinimas	Bandymo numeris				Bendras(%)
	1	2	3	4	
kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)	90	70	85	90	83,75
dešinysis klavišas (dešinės akies mirktelėjimas)	80	90	85	85	85,00
dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)	85	85	100	100	92,50
Bendras bandymo (%)	85,00	81,67	90,00	91,67	

**14. pav.** Šeštojo tiriamojo komandų tikslumas

Šeštojo tiriamojo komandų rezultatai bandymų metu pateikti 14. pav. Grafike matomas kintamas komandų atlikimo tikslumas bandymų metu. Šeštasis tiriamasis tiksliausiai atliko komandą „dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)“, 4-5 bandymo metu buvo pasiektas 100% tikslumas, o kitos komandos buvo atliekamos ne taip tiksliai. Blogiausias rezultatas buvo pasiektas antrojo bandymų metu atliekant komandą „kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)“, komandos tikslumas - 70%.

9 lentelė. Septintojo tiriamojo rezultatai

Komandos pavadinimas	Bandymo numeris				Bendras(%)
	1	2	3	4	
kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)	80	70	85	85	80,00
dešinysis klavišas (dešinės akies mirktelėjimas)	80	90	80	80	82,50
du kart kairysis paspaudimas (sukandimas)	100	100	100	95	98,75
Bendras bandymo (%)	86,67	86,67	88,33	86,67	

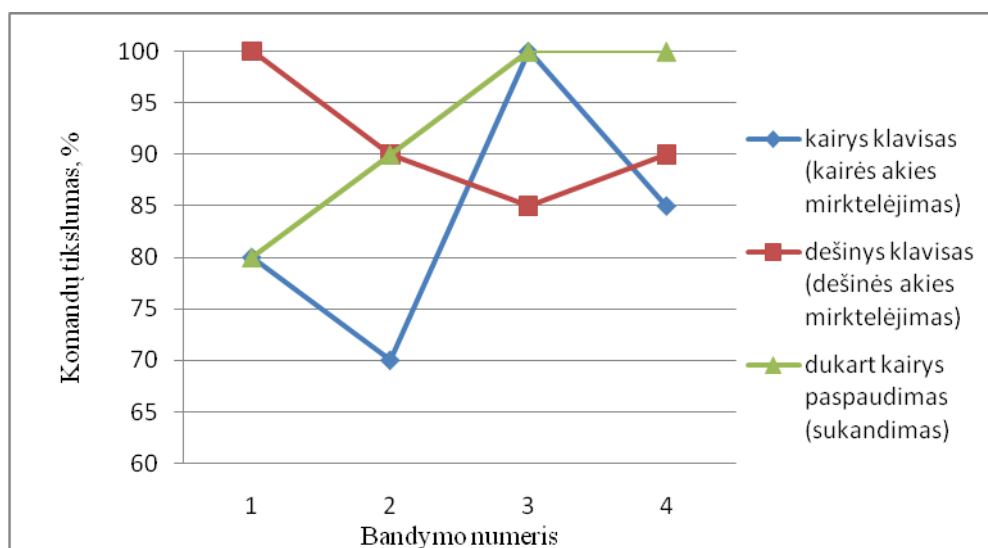


15. pav. Septintojo tiriamojo komandų rezultatai

Septintojo tiriamojo komandų rezultatai bandymų metu pateikti 15. pav. Grafike matomas kintamas komandų atlikimo tikslumas bandymų metu. Septintasis tiriamasis tiksliausiai atliko komandą „du kart kairysis paspaudimas (sukandimas)“, 1-3 bandymo metu buvo pasiektas 100% tikslumas, o kitos komandos buvo atliekamos ne taip tiksliai. Blogiausias rezultatas buvo pasiektas antrojo bandymų metu atliekant komandą „kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)“, komandos tikslumas - 70%.

10 lentelė. Aštuntojo tiriamojo rezultatai

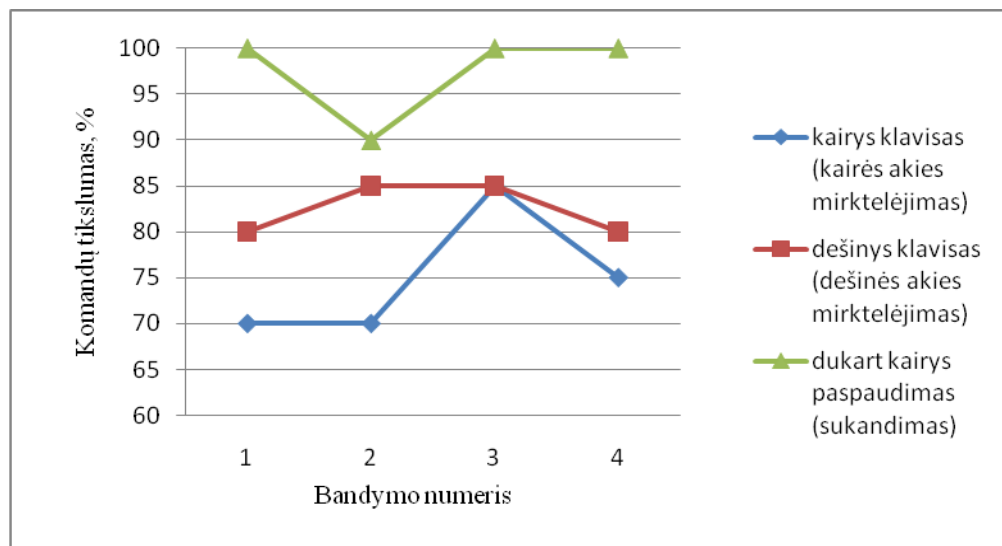
Komandos pavadinimas	Bandymo numeris				Bendras(%)
	1	2	3	4	
kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)	80	70	100	85	83,75
dešinysis klavišas (dešinės akies mirktelėjimas)	100	90	85	90	91,25
du kart kairysis paspaudimas (sukandimas)	80	90	100	100	92,50
Bendras bandymo (%)	86,67	83,33	95,00	91,67	

**16. pav.** Aštuntojo tiriamojo komandų rezultatai

Aštuntojo tiriamojo komandų rezultatai bandymų metu pateikti 16. pav. Grafike matomas kintamas komandų atlikimo tikslumas bandymų metu. Aštuntasis tiriamasis tiksliausiai atliko komandą „du kart kairysis paspaudimas (sukandimas)“, 4-5 bandymo metu buvo pasiektas 100% tikslumas, o kitos komandos buvo atliekamos ne taip tiksliai. Blogiausias rezultatas buvo pasiektas antrojo bandymo metu atliekant komandą „kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)“, komandos tikslumas - 70%, nors ši komanda trečiojo bandymo metu atlikta 100% tikslumu, bet jos bendras tikslumo vidurkis siekia – 83,75%.

11 lentelė. Devintojo tiriamojo rezultatai

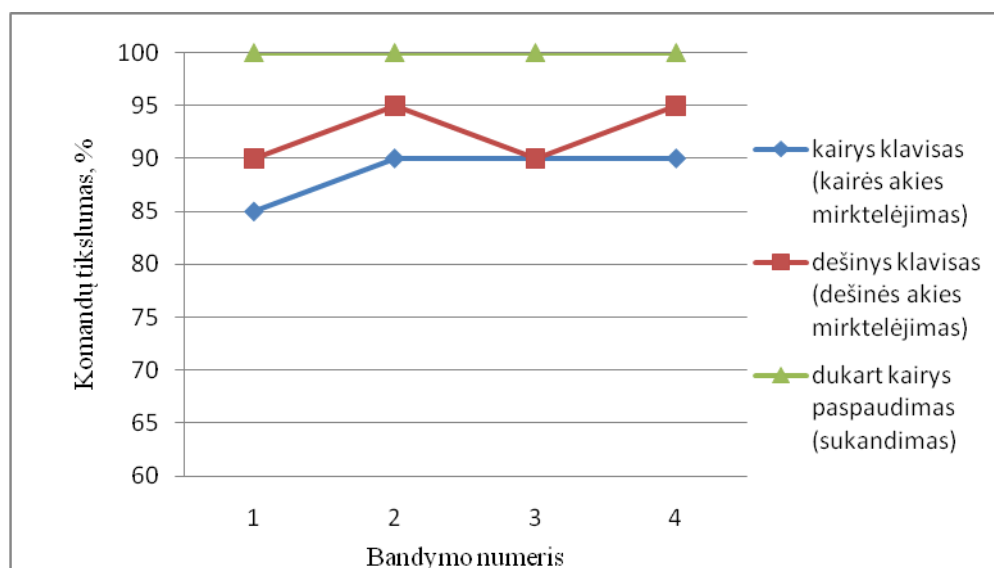
Komandos pavadinimas	Bandymo numeris				Bendras(%)
	1	2	3	4	
kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)	70	70	85	75	75,00
dešinysis klavišas (dešinės akies mirktelėjimas)	80	85	85	80	82,50
dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)	100	90	100	100	97,50
Bendras bandymo (%)	83,33	81,67	90,00	85,00	

**17. pav.** Devintojo tiriamojo komandų rezultatai

Devintojo tiriamojo komandų rezultatai bandymų metu pateikti 17. pav. Grafike matomas kintamas komandų atlikimo tikslumas bandymų metu. Devintasis tiriamasis tiksliausiai atliko komandą „dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)“, 1-4-5 bandymo metu buvo pasiektas 100% tikslumas, o kitos komandos buvo atliekamos ne taip tiksliai. Blogiausias rezultatas buvo pasiektas 1-2 bandymų metu atliekant komandą „kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)“, komandos tikslumas - 70%.

12 lentelė. Dešimtojo tiriamojo rezultatai

Komandos pavadinimas	Bandymo numeris				Bendras(%)
	1	2	3	4	
kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)	85	90	90	90	88,75
dešinysis klavišas (dešinės akies mirktelėjimas)	90	95	90	95	92,50
dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)	100	100	100	100	100,00
Bendras bandymo (%)	91,67	95,00	93,33	95,00	

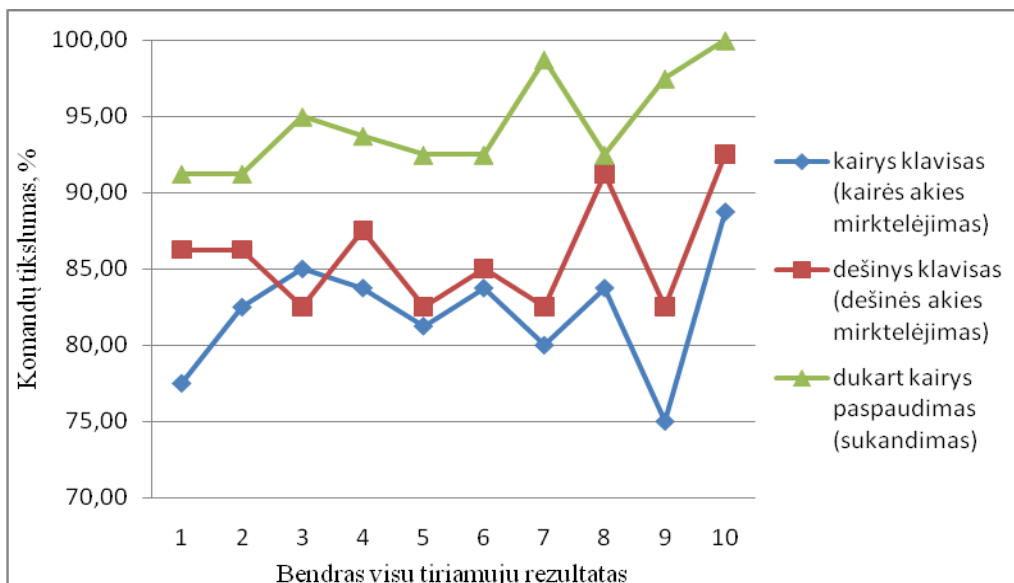
**18. pav.** Dešimtojo tiriamojo komandų rezultatai

Dešimtojo tiriamojo komandų rezultatai bandymų metu pateikti 18. pav. Grafike matomas kintamas komandų atlikimo tikslumas bandymų metu. Dešimtasis tiriamasis tiksliausiai atliko komandą „dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)“, Visų bandymų metu buvo pasiektas ir išlaikytas 100% tikslumas, o kitos komandos buvo atliekamos ne taip tiksliai. Blogiausias rezultatas buvo pasiektas pirmojo bandymų metu atliekant komandą „kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)“, komandos tikslumas - 85%.

13 lentelė. Bendras visų tiriamųjų rezultatas

Tiriamąjo numeris	kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas)	dešinysis klavišas (dešinės akies mirktelėjimas)	du kart kairysis paspaudimas (sukandimas)
1	77,50	86,25	91,25
2	82,50	86,25	91,25
3	85,00	82,50	95,00
4	83,75	87,50	93,75
5	81,25	82,50	92,50
6	83,75	85,00	92,50
7	80,00	82,50	98,75
8	83,75	91,25	92,50
9	75,00	82,50	97,50
10	88,75	92,50	100,00
Bendras kiekvienos komandos, (%)	82,13	85,88	94,50

Kaip matome 13 lentelėje bendras tiriamųjų atliktų komandų tikslumas siekia nuo 82,13% iki 94.50%, o tai leidžia daryti išvadą jog tokio tikslumo visiškai pakanka žymeklio komandų valdymui. Be to reiktų atsižvelgti ir į tai jog tiriamieji neturėjo pakankamai laiko jog galėtų priprasti ir išmokti naudotis įrenginiu, ko pasekoje tikslumas būtų dar didesnis.



19. pav. Bendri visų tiriamųjų vidurkiniai komandų atlikimo rezultatai

Bendri visų tiriamųjų vidurkiniai komandų atlikimo rezultatai bandymų metu pateikti 19. pav. Grafike matomas bendras, kintamas, visų tiriamųjų tikslumas bandymų metu. Iš šio grafiko matoma jog visi tiriamieji tiksliausiai atliko komandą „du dukart kairysis paspaudimas (sukandimas)“. Galima daryti prielaidą jog ši komanda buvo paprasčiausia tiriamiesiems, nes žandikaulio sukandimas yra natūraliausias veiksmas. Nors kitos dvi komandos nebuvo atliekamos taip tiksliai, bet buvo pastebėta jog komanda „dešinysis klavišas (dešinės akies mirktelėjimas)“ buvo atliekamas tiksliau nei komanda kurioje reikėjo mirktelėti kairia akimi, tai lėmė jog visi tiriamieji išskyrus trečiąjį buvo dešiniarankiai, o trečiasis kairiarankis.

5 IŠVADOS

1. Baigiamajame magistro darbe buvo surinkta ir išanalizuota informacija, moksliniai straipsniai, susiję su žmogaus biosignalų – kompiuterio sąsaja. Išanalizuoti įėjimo signalai bei jų taikymas įvairiose žmogaus - kompiuterio sąsajų tipuose, apžvelgti biosignalų apdorojimo metodai skaitmeniniu būdu, bei egzistuojančios sistemos skirtos biosignalų apdorojimui.
2. Susipažinta ir išanalizuota turima aparatūrinė įranga, jos galimybės bei programinės įrangos paketas. Buvo atlikta pirminių bandymų su įvairiais galvos biosignalais kompiuterio žymeklio valdymui.
3. Priimtas sprendimas dėl naudojamo EMG biosignalo tipo bei trijų komandų tyrimo metodo kompiuterio žymeklio valdymui.
4. Atliktas kompiuterio žymeklio valdymo tyrimas, kuriame dalyvavo dešimt tiriamųjų, kurių amžius 21-30 m. Gauti bandymų duomenys buvo išanalizuoti bei apdoroti naudojant sistemą skirtą galvos biosignalų apdorojimui.

Atlikus bandymus ir išanalizavus visus duomenis priimtos išvados:

1. Turimas įrenginys ir pasirinktas EMG biosignalo tipas yra pakankamai tikslus kompiuterio žymeklio valdymui. Bendras visų tiriamųjų komandų tikslumas:
 - Komanda kairysis klavišas (kairės akies mirkstelėjimas) – 82,13%
 - Komanda dešinysis klavišas (dešinės akies mirkstelėjimas) – 85,88%
 - Komanda dukart kairysis paspaudimas (sukandimas) – 94,50%
2. Iš 9 - 18. pav. matome visų tiriamųjų bandymų rezultatus. Iš grafikų galime spręsti, kad visiems tiriamiesiems geriausia sekėsi atlikti valdymo komandą dukart kairysis paspaudimas (sukandimas), taip įvyko dėl to nes šis valdymo veiksmo atlikimas buvo pats paprasčiausias visiems tiriamiesiems. 19. pav. matoma kad ši komanda buvo atlikta daug didesniu tikslumu (12,37% ir 8,62%) nei kitos komandos.
3. Iš 19. pav. taip pat matoma visų tiriamųjų atliktų komandų - kairysis klavišas (kairės akies mirkstelėjimas) ir dešinysis klavišas (dešinės akies mirkstelėjimas), vidutiniai visų bandymų tikslumo rezultatai. Iš šių rezultatų matoma, kad visiems tiriamiesiems geriau sekėsi atlikti valdymo komandą dešinysis klavišas (dešinės akies mirkstelėjimas) išskyrus trečiąjį tiriamąjį

kuriam komanda kairysis klavišas (kairės akies mirktelėjimas) sekėsi geriau nei kitiems. Pastebėjus šį reiškinį buvo padaryta prielaida ir išsiaiškinta, kad šis tiriamasis yra kairiarankis, dėl to jo kairės kūno pusės raumenys yra stipresni (dominuojantys), tai ir lėmė šį išsiskiriantį rezultatą.

4. Apibendrinus visus išvadų rezultatus matome, kad naudojant galvos EMG signalus kompiuterio žymeklio valdymui gaunamas geras rezultatas ir šis metodas žymeklio valdymui panaudojant galvos biosignalus turi didelį potencialą ir tyrimams ir pritaikymams.

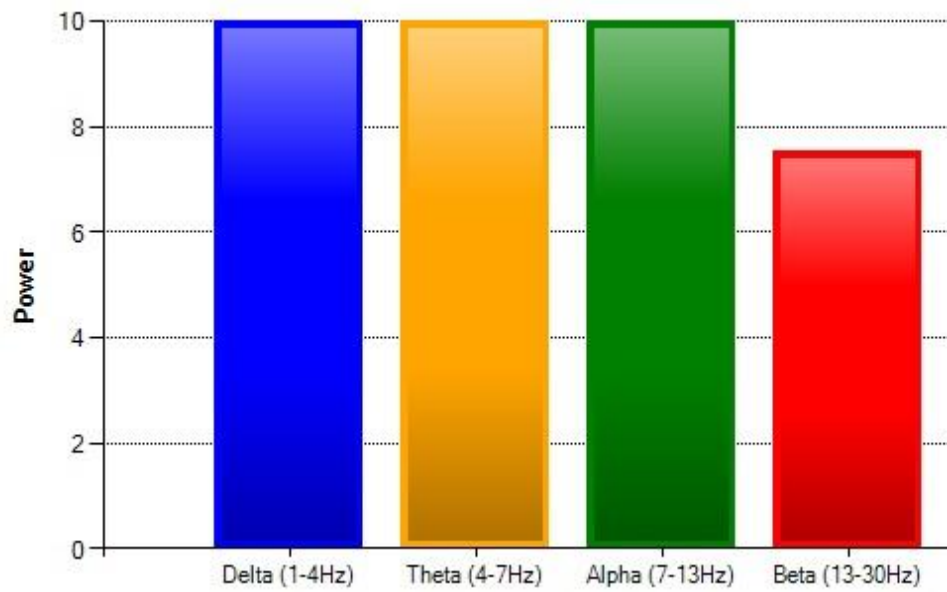
6 LITERATŪRA

- [1] Allanson, J., Fairclough, S. H. A research agenda for physiological computing. *Interacting with Computers*, 16, 857 – 878, 2004
- [2] Laurutis V. Biomedicininė kibernetika – Kaunas 2012, e.ISBN 978-609-433-094-0.
- [3] Nakayama, K., Kaneda, Y., Hirano, A. A Brain Computer Interface Based on FFT and multilayer neural network - feature extraction and generalization. *Intelligent Signal Processing and Communication Systems, 2007. ISPACS 2007. International Symposium*, 826 – 829, 2007
- [4] Swami, P., Singh, R., Gandhi, T., Anand, S. A Novel Embedded Approach for the Development of Wireless Electro-oculogram Based Human-Computer Interface. *2012 2nd IEEE International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing*, 252-255, 2012.
- [5] Faisal Karmali, Mark Polak, Aleksandar Kostov. Environmental Control by a Brain-Computer Interface. Proceedings of the 22nd Annual EMBS International Conference, July 23-28, 2000, Chicago IL.
- [6] Yuan H, He B. Brain-computer interfaces using sensorimotor rhythms: current state and future perspectives. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2014 May;61(5):1425-35.
- [7] Thulasidas M, Guan C, Wu J. Robust Classification of EEG Signal for Brain-Computer Interface, *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2006 Mar;14(1):24-9.
- [8] Noirhomme Q, Kitney RI, Macq B. Single-trial EEG source reconstruction for brain-computer interface. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2008 May;55(5):1592-601. doi: 10.1109/TBME.2007.913986.
- [9] Cholula R., Cortes J., Aquino V., Gil P., Magdaleno J., Garcia C. Gyroscope-Driven Mouse Pointer with an EMOTIV® EEG Headset and Data Analysis Based on Empirical Mode Decomposition. *Sensors* 2013, 13, 10561-10583; doi:10.3390/s130810561
- [10] Coyle D, McGinnity TM, Prasad G. Creating a nonparametric brain computer interface with neural time-series prediction preprocessing. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2006;1:2183-6.
- [11] DiGiovanna J, Mahmoudi B, Fortes J, Principe JC, Sanchez JC. Coadaptive brain-machine interface via reinforcement learning. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2009 Jan;56(1):54-64. doi: 10.1109/TBME.2008.926699.
- [12] Nazarpour K, Praamstra P, Miall RC, Sanei S. Steady-state movement related potentials for brain-computer interfacing. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2009 Aug;56(8)

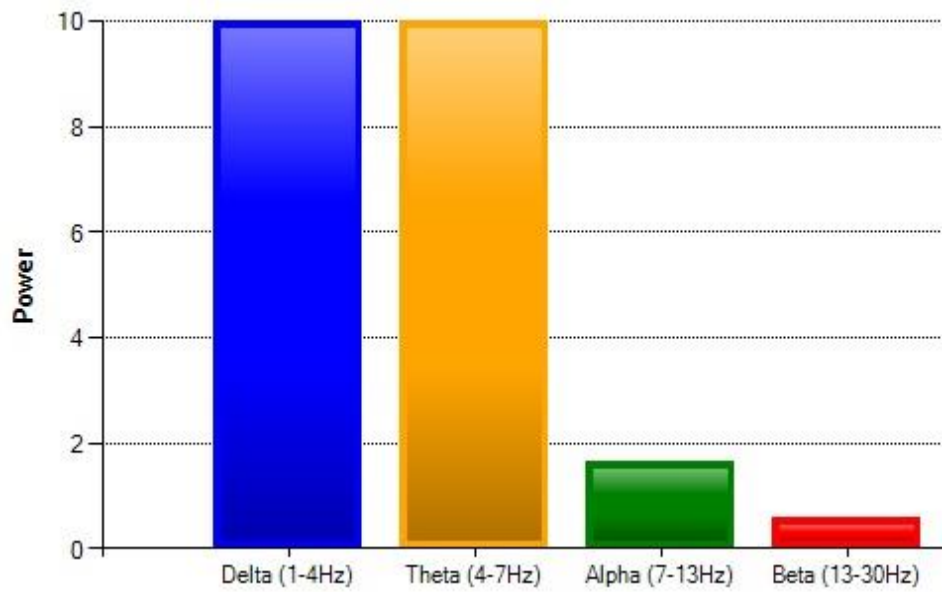
- [13] Das K, Rizzuto DS, Nenadic Z. Mental state estimation for brain-computer interfaces. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2009 Aug;56(8):2114-22. doi: 10.1109/TBME.2009.2022948.
- [14] Latchoumane CF Jeong J. Quantification of brain macrostates using dynamical nonstationarity of physiological time series. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2011 Apr;58(4):1084-93. doi: 10.1109/TBME.2009.2034840.
- [15] Li Y, Kambara H, Koike Y, Sugiyama M. Application of covariate shift adaptation techniques in brain-computer interfaces. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2010 Jun;57(6):1318-24. doi: 10.1109 /TBME.2009.2039997.
- [16] Barachant A, Bonnet S, Congedo M, Jutten C. Multiclass brain-computer interface classification by Riemannian geometry. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2012 Apr;59(4):920-8. doi: 10.1109/TBME.2011.2172210.
- [17] Postelnicu CC, Talaba D. P300-based brain-neuronal computer interaction for spelling applications. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2013 Feb;60(2):534-43. *TBME* .2012.2228645.
- [18] Gu Z, Yu Z, Shen Z, Li Y. An online semi-supervised brain-computer interface. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2013 Sep;60(9):2614-23. doi: 10.1109/TBME.2013.2261994.
- [19] Kimura Y, Tanaka T, Higashi H, Morikawa N. SSVEP-based brain-computer interfaces using FSK-modulated visual stimuli. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2013 Oct;60(10):2831-8. doi: 10.1109/TBME.2013.2265260.
- [20] Xu Y, Nakajima Y. A two-level predictive event-related potential-based brain-computer interface. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2013 Oct;60(10):2839-47
- [21] Karatzoglou A., Meyer D., Hornik K. Support vector machines in R . *Journal of Statistical Software* April 2006, Volume 15, Issue 9.
- [22] Grant S., Schmidt C., Empirical Evaluation of the Emotiv EPOC BCI Headset for the Detection of Mental Actions *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* September 2012 56:193-197
- [23] Pramanick P. Classification of electroencephalogram (EEG) signal based on fourier transform and neural network Department of Electrical Engineering National Institute of Technology Rourkela-769008 (ODISHA) May-2013.
- [24] Support Vector Machines (SVM) [žiūrėta 2015-04-02] Prieiga internete: <http://www.statsoft.com/textbook/support-vector-machines>
- [25] EEGLAB programinis paketas. [žiūrėta 2015-03-16] Prieiga internete <http://sccn.ucsd.edu/eeglab/>
- [26] „Emotiv“ EEG skaitymo įrenginiai. [Žiūrėta 2015-01-16] Prieiga internete: <http://www.emotiv.com/>

7 PRIEDAI

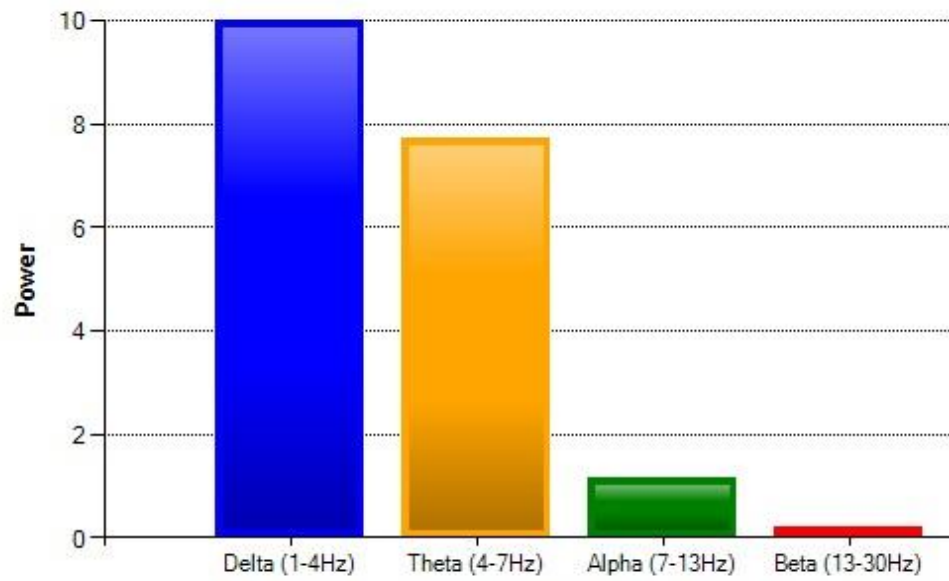
7.1 Žandikaulio sukandimo metu užfiksuotas ritmų pakitimas



7.2 Kairės akies mirktelėjimo metu užfiksuotas ritmų pakitimas

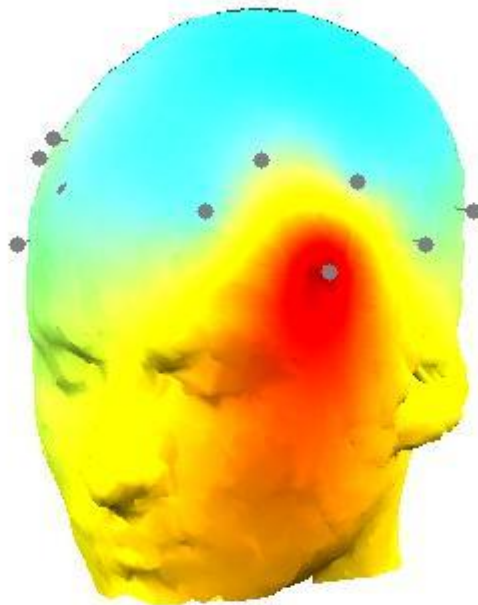


7.3 Dešinės akies mirktelėjimo metu užfiksuotas ritmų pakitimas

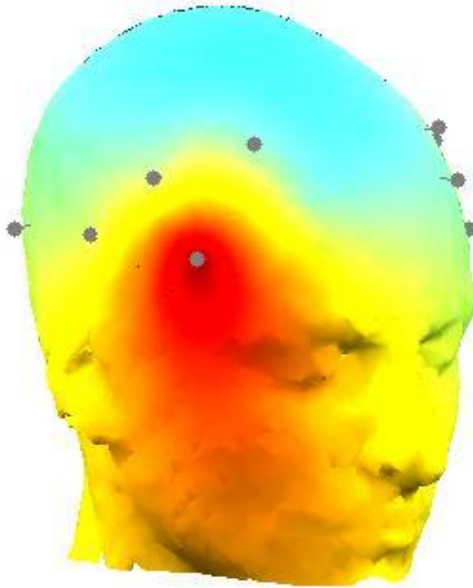


7.4 Žandikaulio sukandimo metu užfiksuotas 2-o kanalo spektrinis – amplitudinis pokytis

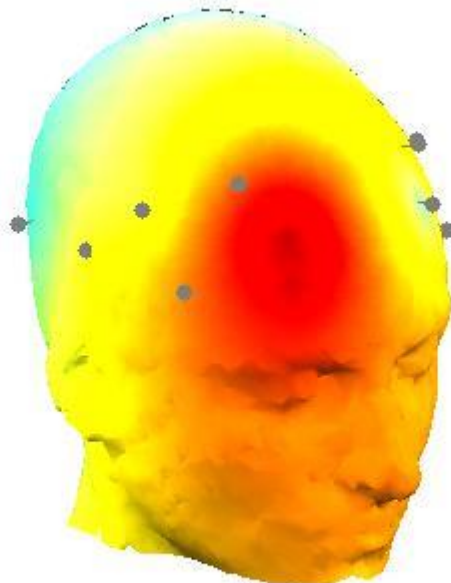
2



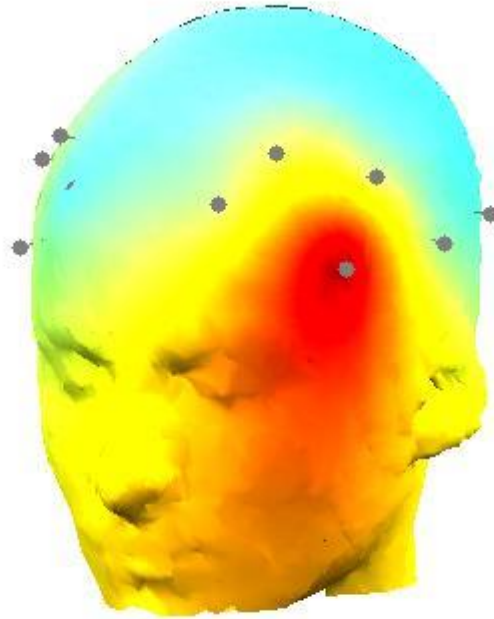
7.5 Žandikaulio sukandimo metu užfiksuotas 6-o kanalo spektrinis – amplitudinis pokytis
6



7.6 Dešinės akies mirktelėjimo metu užfiksuotas 13-o kanalo spektrinis – amplitudinis pokytis
13



7.7 Kairės akies mirktelejimo metu užfiksuotas 7-o kanalo spektrinis – amplitudinis pokytis
7



7.8 CD PLOKŠTELE