



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Stasys Čivilis

ELEKTROENCEFALOGRAFO SIGNALŲ PANAUDOJIMO
ROBOTINIŲ SISTEMŲ VALDYMUI TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
dr. Marius Gudauskis

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

ELEKTROENCEFALOGRAFO SIGNALŲ PANAUDOJIMO
ROBOTINIŲ SISTEMŲ VALDYMUI TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Mechatronika (kodas M5096N21)

Vadovas
dr. Marius Gudauskis

Recenzentas
dr. Darius Mažeika

Projektą atliko
Stasys Čivilis

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Stasys Čivilis

(Studento vardas, pavardė)

Mechatronika

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Elektroencefalografo signalų panaudojimo robotinių sistemų valdymui tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. gegužės 31 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Stasio Čivilio**, baigiamasis projektas tema „Elektroencefalografo signalų panaudojimo robotinių sistemų valdymui tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Čivilis Stasys. Elektroencefalografo (EEG) signalų panaudojimo robotinių sistemų valdymui tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas, Marius Gudauskis; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Mechatronika

Kaunas, 2017. 46 psl.

SANTRAUKA

Magistro baigiamajame darbe buvo iškeltas uždavinys sukurti valdymo sistemos koncepciją paremtą EEG signalais ir atlikti sistemos tyrimus. Darbas susideda iš trijų pagrindinių skyrių:

1. Žmogaus kūno elektriniai impulsai;
2. Valdymo sistemos koncepcija;
3. Valdymo sistemos tyrimas;

1 – ajame skyriuje apžvelgiamos valdymo galimybės ir pasirenkamas vienas valdymo signalų šaltinis, kuris bus toliau nagrinėjamas darbe, taip pat trumpai supažindinama su EEG signalais jų prigimtimi ir žmogaus smegenų zonomis, kurios bus aktualiausios viso tiriamojo darbo metu. Skyriuje paaiškinama, kas yra žmogaus – kompiuterio sąsaja ir kokios sistemos yra sukurtos EEG signalų pagrindu. 2 – ajame tiriamojo darbo skyriuje aptariami keletas rinkoje esančių EEG signalų skaitytuvu, palyginamo jų techninės charakteristikos ir išsirenkamas įrenginys kuris bus naudojamas tyrimams atlikti. Šiame skyriuje yra aprašomas sistemos valdymas, supažindinama su elektromechaninę ir programinę dalimis, taip pat paaiškinamas EEG signalų skaitytuvo programinės įrangos naudojimas ir valdymo algoritmas. 3 – ajame skyriuje yra aprašyti valdymo sistemos tyrimo tikslai, priemonės, darbo eiga ir rezultatai, taip pat pateikti tyrimo metu surinkti duomenys ir atliktas grafinis palyginimas. Tiriamojo darbo pabaigoje pateikiamos išvados.

Čivilis Stasys. Research of the Electroencephalogram – Based Control of a Robotics System. Master 's thesis / supervisor Marius Gudauskis. Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Mechatronics

Kaunas, 2015. 46 p.

SUMMARY

Objective of Master 's thesis final work was to create control 's system concept based on EEG signals and make research on it. Thesis comprises in three main parts:

1. Human- 's body electrical impulses;
2. Control- 's system concept;

3. Control- 's system research;

In first chapter, there is an overview of control possibility and the part where one of control 's signals source is chosen, which will be used further in final work, also there is short introduction to EEG signals, origins of them and brain zones, which will be relevant during all thesis work. In this chapter, there are explanation what is human – computer interface and what kind of systems based on EEG signals are already made. In second chapter, there is a brief overview what kind of EEG signals reader devices are on market, comparison between those devices and one of EEG signals readers is elected, which will be used in final thesis work. Also in second chapter, there are description about system control, introduction to electromechanical and software part, as well as how to use EEG signals reader 's software and description about robot control algorithm. In third chapter, there are described objectives of control 's system research, tools, workflow and results with all data acquired during a research work shown in graphical comparison. Conclusions are made in the end of final research work.

TURINYS

LENTELIŲ IR PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	8
ĮVADAS	10
1. ŽMOGAUS KŪNO ELEKTRINIAI IMPULSAI	11
1.1. Elektromiografo signalai	11
1.2. Elektroencelografo signalai.....	12
1.2.1. Smegenų zonos	13
1.3. Žmogaus-kompiuterio sąsaja.....	13
1.4. EEG signalais valdomos sistemos.....	14
2. VALDYMO SISTEMOS KONCEPCIJA	16
2.1. EEG signalų skaitytuvas.....	16
2.1.1. EEG signalų skaitytuvas „g.GAMMAsys“	17
2.1.2. EEG signalų skaitytuvas „g.Nautilus“	18
2.1.3. EEG signalų skaitytuvas „g.SAHARA“	19
2.1.4. EEG signalų skaitytuvas „EMOTIV INSIGHT“	20
2.1.5. EEG signalų skaitytuvas „EMOTIV EPOC“	20
2.1.6. Pasirinktas įrenginys	21
2.2. Sistemos valdymo koncepcijos realizavimas	22
2.2.1. Roboto sistemos valdymas.....	22
2.2.2. Roboto elektromechaninė dalis.....	24
2.2.3. Sistemos judėjimas.....	26
2.2.4. EEG signalų skaitytuvo programinė įranga	27
2.2.5. EEG signalų atpažinimas	30
2.2.6. Signalų atpažinimo tikslumas	32
2.2.7. Signalų perdavimo programinė įranga.....	32
2.2.8. Sistemos valdymo principas	33
3. VALDYMO SISTEMOS TYRIMAS	35
3.1. Valdymo signalų šablono kūrimo tyrimas	35

3.2. Valdymo signalų tikslumo tyrimas	40
3.3. Realaus objekto valdymo tyrimas	43
IŠVADOS	48
LITERATŪRA	49

LENTELIŲ IR PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

Paveikslo nr.	Pavadinimas	Puslapis
1.1 pav	EMG signalų nuskaitymas.	11
1.2 pav.	Smegenų bangos.	12
1.3 pav.	Smegenų zonos.	13
1.4 pav.	Veikimo schema.	14
1.5 pav.	a) Neįgaliojo vežimėlis valdomas mintimis; b) Honda EEG ir roboto sistema; c) Martynas Girulis su mintimis valdoma bionine ranka;	15
2.1. pav.	EEG skaitytuvo „10-20“ elektrodų konfiguracija.	16
2.2 pav.	„g.GAMMAsys“ įrenginys.	18
2.3 pav.	„g.Nautilus“ įrenginys.	18
2.4 pav.	„g.SAHARA“ įrenginys.	19
2.5 pav.	„EMOTIV INSIGHT“ įrenginys.	20
2.6 pav.	„EMOTIV EPOC“ įrenginys.	21
2.7 pav.	„EMOTIV EPOC“ įrenginio elektrodų išdėstymas.	22
2.8 pav.	a) MSP432P401R plokštė; b) „Bluetooth“ modulis;	23
2.9 pav.	Principinė „Bluetooth“ modulio prijungimo schema.	23
2.10 pav.	Įvadų/išvadų „žemėlapis“.	24
2.11 pav.	a) Servo variklis; b) Plastmasinis pagrindas su ratais.	24
2.12 pav.	Principinė pajungimo schema.	25
2.13 pav.	Realizuotas robotas.	25
2.14 pav.	„EPOC control panel“ programinė įranga.	27
2.15 pav.	Veikiantis „Bluetooth“ ryšys.	27
2.16 pav.	a) „Expressiv suite“ langas; b) „Affectiv suite“ langas; c) „Cognitiv suite“ langas; d) „Mouse emulator“ langas.	29-30
2.17 pav.	Sukurti signalų šablonai.	31
2.18 pav.	Komandų „skill rating“ išsklotinė.	32
2.19 pav.	a) BT įrenginio ir asmeninio kompiuterio susiejimas; b) „PuTTY“ programos nustatymai;	33
2.20 pav.	Valdymo algoritmas.	34
3.1. pav.	Komandos „Push“ rezultatų grafikas.	38
3.2 pav.	Komandos „Left“ rezultatų grafikas.	39
3.3 pav.	Komandos „Right“ rezultatų grafikas.	39

3.4 pav.	Bendras „skill rating“ rezultatų grafikas.	39
3.5 pav.	Tyrimo dalyvių klaidų palyginimo diagrama.	43
3.6 pav.	Roboto maršruto schema.	44
3.7 pav.	Klaidų palyginimo diagrama.	46
3.8 pav.	Užduoties atlikimo laiko diagrama.	46

Lentelės nr.	Pavadinimas	Puslapis
2.1 lentelė	„g.GAMMAsys“ techniniai duomenys.	18
2.2 lentelė	„g.NAUTILUS“ techniniai duomenys.	19
2.3 lentelė	„g.SAHARA“ techniniai duomenys.	19
2.4 lentelė	„EMOTIV INSIGHT“ techniniai duomenys.	20
2.5 lentelė	„EMOTIV EPOC“ techniniai duomenys.	21
2.6 lentelė	Įrenginių palyginimas.	21
3.1 lentelė	Tyrimo dalyviai	35
3.2 lentelė	1 – ojo respondento rezultatai.	35-36
3.3 lentelė	2 – ojo respondento rezultatai.	36
3.4 lentelė	3 – ojo respondento rezultatai.	37
3.5 lentelė	4 – ojo respondento rezultatai.	37
3.6 lentelė	5 – ojo respondento rezultatai.	38
3.7 lentelė	1 – ojo respondento rezultatai.	40
3.8 lentelė	2 – ojo respondento rezultatai.	40-41
3.9 lentelė	3 – ojo respondento rezultatai.	41
3.10 lentelė	4 – ojo respondento rezultatai.	42
3.11 lentelė	5 – ojo respondento rezultatai.	42-43
3.12 lentelė	1 – ojo respondento rezultatai.	44
3.13 lentelė	2 – ojo respondento rezultatai.	44-45
3.14 lentelė	3 – ojo respondento rezultatai.	45
3.15 lentelė	4 – ojo respondento rezultatai.	45
3.16 lentelė	5 – ojo respondento rezultatai.	45-46

IVADAS

Tobulėjant technologijoms atsiranda galimybės kurti valdymo sistemas, kurios yra paremtos iš žmogaus kūno generuojamais elektriniais impulsais. Tokių sistemų pagrindas gali būti skeleto raumenų elektrinis aktyvumas – elektromiografija (EMG), arba žmogaus smegenų elektromagnetiniai signalai – elektroencefalografija (EEG). Atsižvelgiant į technologijų raidą, iškeltas pagrindinis magistrinio tiriamojo darbo tikslas – sukurti EEG signalais paremtos valdymo sistemos koncepciją ir atlikti sistemos tyrimus. Norint pasiekti šį tikslą reikia įgyvendinti keletą uždavinių:

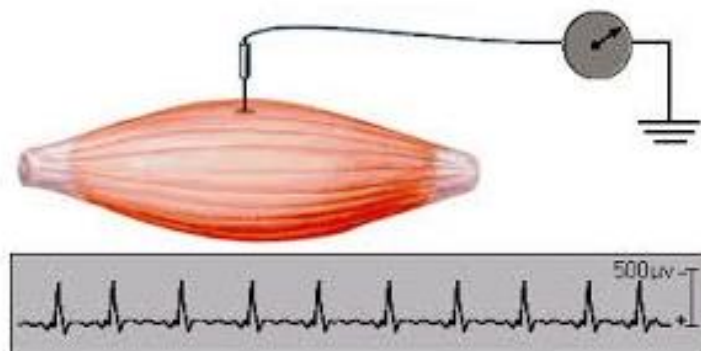
- Parinkti tinkamiausią elektromagnetinių impulsų šaltinį tolimesniems tyrimams;
- Apžvelgti galimas valdymo sistemos pritaikymo sritis;
- Suprojektuoti ir sukonstruoti primitivų valdomą objektą, kuris būtų valdomas vienu iš elektromagnetinių impulsų šaltinių;
- Atlikti valdymo sistemos tyrimus.

1. ŽMOGAUS KŪNO ELEKTRINIAI IMPULSAI

Žmogaus kūnas gali kurti elektrinius ir elektromagnetinius signalus, kuriuos galima pritaikyti sistemų valdymui. Signalai yra skirtingos kilmės, dirbant žmogaus raumenims susidaro raumenų elektrinis aktyvumas, taip atsiranda EMG signalai, tuo tarpu maštant arba dirbant protinį darbą, raumenys nenaudojami, o naudojamos žmogaus smegenys, kurios generuoja EEG signalus.

1.1. Elektromiografo signalai

Prietaisas, skirtas išmatuoti EMG signalus, vadinamas elektromiografu. Įrenginys būna arba intervencinis, arba paviršinis. Intervencinis elektromiografas turi adatėles, kurios yra įsmeigiamos į raumenį, tada, kai raumuo gauna neuroninį signalą, galima išmatuoti atsiradusį potencialų skirtumą. Paviršinis EMG signalų skaitytuvas turi elektrodus kurių plotis gali būti 30–100 mm², o atstumas tarp jų 1 – 2 cm. Elektrodai uždedami ant raumens ir taip matuojamas potencialų skirtumas, tačiau toks signalų nuskaitymo būdas yra mažiau patikimas. Potencialų skirtumas priklauso nuo raumenų susitraukimo intensyvumo, kai raumenys atpalaiduoti potencialų skirtumo beveik nėra, todėl elektriniai signalai fiksuojami tik raumeniui įsitempus. Elektrinių signalų amplitudė gali būti nuo 50 μV iki 5 mV priklausomai nuo raumenų susitraukimo amplitudės.



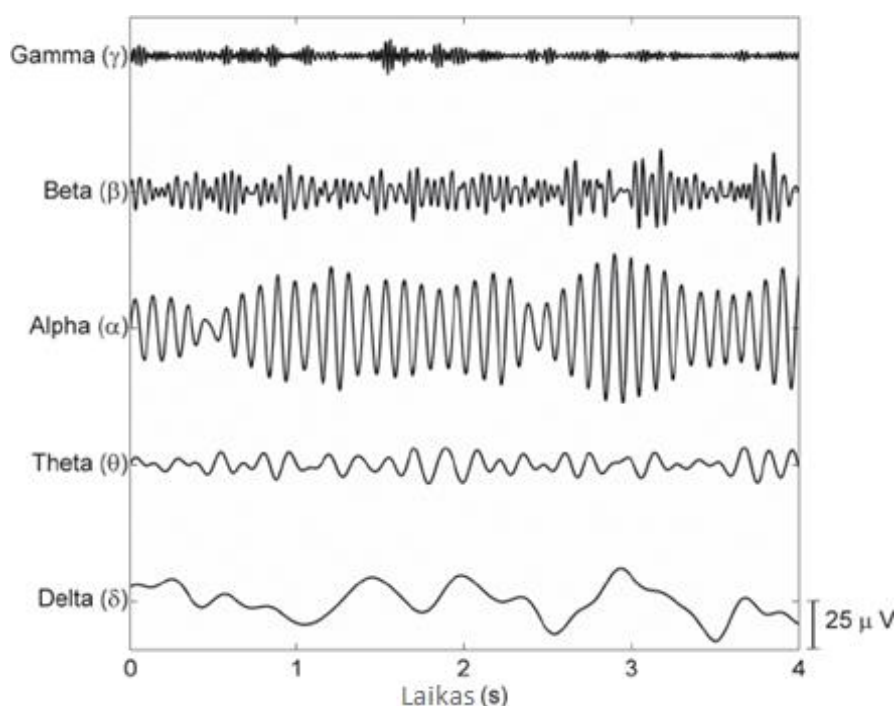
1.1 pav. EMG signalų nuskaitymas [11]

Dažniausiai EMG signalų skaitytuvai yra naudojami patologinėms ligoms nustatyti arba nagrinėti judesius. Tai yra vienas iš galimų robotizuotos sistemos, paremtos žmogaus biometriniiais signalais valdymo būdų, tačiau taip valdant sistemą reikalingi jau išlavinti žmogaus gebėjimai judinti atitinkamus raumenis, todėl tokio tipo valdymo būdo pritaikymo galimybės pasidaro ribotos ir toliau baigiamajame darbe šiais biometriniiais žmogaus signalais paremtas valdymo būdas yra nenagrinėjamas.

1.2. Elektroencelegrafo signalai

Smegenų bangos yra elektromagnetinės kilmės bangos, kurios susidaro žmogaus galvos smegenyse. Žmogaus smegenyse neuronai (nervinės ląstelės), kuria elektrinius impulsus, šie neuronų impulsai sukuria atitinkamo dažnio elektromagnetinį lauką, kurį galima išmatuoti elektroencelegrafu. Elektroencelegrafas – prietaisas, skirtas smegenų bangoms nuskaityti ir užrašyti. Ant žmogaus galvos odos yra pritvirtinami jautrūs elektrodai, kurie reaguoja į neuronų kuriamus impulsus ir juos atvaizduoja įrenginio ekrane.

Yra keletas smegenų bangų rūšių, kurios atsakingos už tam tikrą žmogaus būseną ar aktyvumo fazę.



1.2 pav. Smegenų bangos [12]

Delta bangos (0-4 Hz) – šio tipo dažnio bangos pasireiškia tada, kai žmogus yra atsipalaidavęs arba miego būsenos. Miego metu žmogus nesapnuoja.

Teta bangos (1-8 Hz) – pasireiškia, kai žmogus miega arba medituoja.

Alfa bangos (8-14 Hz) – šios bangos atitinka budrios sąmonės, esant atsipalaidavus, būseną.

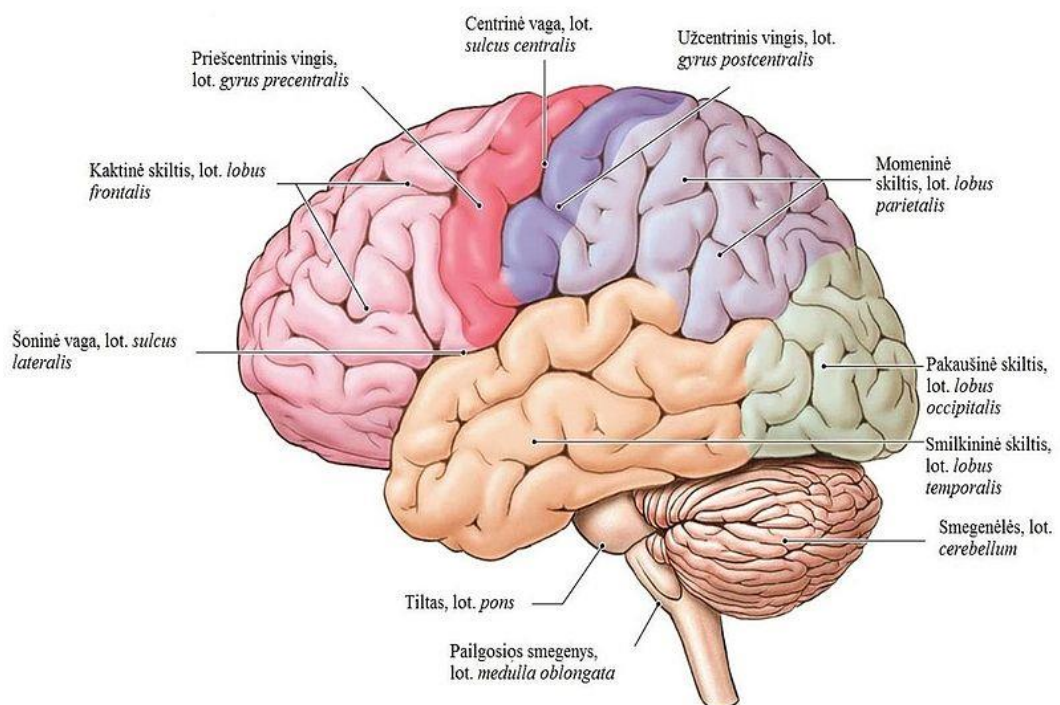
Beta bangos (14-30 Hz) – pasireiškia esant budrios būsenos atmerktomis akimis, dėmesį fokusuojant į išorinį pasaulį arba sprendžiant konkrečias užduotis. Didesnio dažnio beta bangos atsiranda esant didesnei koncentracijai, stresui, baimei, susirūpinimui.

Gama bangos (35-130) – šis bangų tipas pasireiškia esant hiperaktyvumui, panikai, didelei baimei, išgąsčiui, įtampai arba labai produktyviai protinei veiklai.

1.2.1. Smegenų zonos

Žmogaus smegenys turi zonas, kurios yra atsakingos už tam tikrus žmogaus fiziologinius veiksmus (judesiai, pojūčiai) ir psichologinę būseną (jausmai, atmintis). Galvos smegenis sudaro kelios dalys (1.3 pav.):

- Kaktinė skiltis – atsakinga už samprotavimą, planavimą, kalbėjimą, emocijas, problemų sprendimą, bei judėjimą;
- Momeninė skiltis – atsakinga už judėjimą, orientaciją, atpažinimą bei stimulų suvokimą;
- Pakaušinė skiltis – atsakinga už regėjimą;
- Smilkininė skiltis – atsakinga už vaizdinę atmintį, prisiminimų išsaugojimą, garsų atpažinimą ir kalbos suvokimą.



1.3 pav. Smegenų zonos [13]

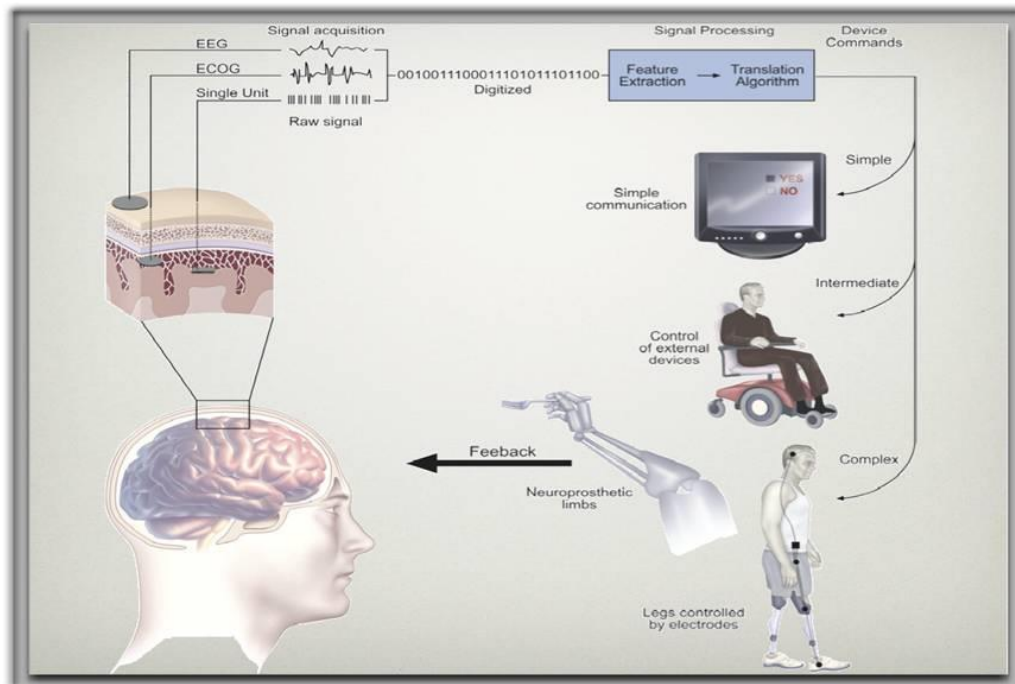
Žmogaus smegenų elektromagnetiniai impulsai, kurie yra generuojami kaktinėje skiltyje yra labiausiai tinkami valdymo sistemos, paremtos EEG signalais, koncepcijai panaudoti, todėl, kad šiuos signalus žmogus gali nesudėtingai sukurti, tiesiog užtenka pagalvoti apie įsivaizduojamą daiktą ar įsivaizduoti kokį nors judesį.

1.3. Žmogaus-kompiuterio sąsaja

Žmogaus-kompiuterio sąsaja, tai elementų visuma, kuri leidžia žmogui, kompiuteriu atlikti tam tikras užduotis. Šios sąsajos pagrindiniai elementai (1.4 pav.):

- Žmogus, kuris nori pasiekti tam tikrų rezultatų;
- EEG įtaisas – įrenginys, kuris surenka EEG signalus ir juos paverčia į skaitmeninį kodą;

- Signalų apdorojimo įrenginys, kuris gautus signalus manipuliuoja pagal parašytus algoritmus ir juos nusiunčia vykdymo įtaisams;
- Vykdytoji įtaisa, kurie atlieka algoritmo sugeneruotas užduotis;
- Grįžtamojo ryšio stebėjimas.



1.4 pav. Veikimo schema [14]

Žmogaus-kompiuterio sąsaja gali būti pritaikyta daugelyje sričių:

- **Reabilitacijoje:**
Gali būti naudojama pacientų, kurie turi pažeistas smegenis, pamirštiems judesiams mokintis; Stresui valdyti.
- **Bendravimo priemonė:**
Galima valdyti žymeklį kompiuterio ekrane, įvesti tekstą.
- **Įtaisų valdymas:**
Šviesos jungiklių įjungimas ar išjungimas;
Neįgaliojo vežimėlio valdymas.
- **Žaidimų industrija ir pramonės:**
Smegenų lavinimo žaidimai;
Pramoginiai žaidimai.

1.4. EEG signalais valdomos sistemos

Nuo 2007 m. EEG signalai bandomi pritaikyti kasdieniniame žmonių gyvenime:

- 2007 m. Kompanija „Ambient“ sukūrė neįgaliojo vežimėlį, valdomą mintimis (1.5 (a) pav.);
- 2009 m. „Honda“ pristatė sistemą, kuri vien tik mintimis leidžia valdyti robotą (1.5 (b) pav.);

- 2014 m. Austrijoje, lietuviui Martynui Giruliui, kuris gimė su pilnai neišsivysčiusia ranka, pirmą kartą istorijoje buvo pritaikyta bioninė ranka, kuri buvo valdoma neuroimpulsais. (1.5 c pav.);



a)



b)



c)

1.5 pav. a) Neįgaliojo vežimėlis valdomas mintimis [15]; b) Honda EEG ir roboto sistema [16]; c) Martynas Girulis su mintimis valdoma bionine ranka [17]

Panašių mokslinių pasiekimų yra ir daugiau, nes EEG tyrimų sritis susijusi su žmogaus fizine bei psichologine būkle, todėl ši sritis turi didelį susidomėjimą. Dėl plačių pritaikymo galimybių, toliau tiriamajame magistriniame darbe bus pasirinkta sistema valdoma EEG signalais.

2. VALDYMO SISTEMOS KONCEPCIJA

Magistriniame baigiamajame darbe nagrinėjama EEG signalais paremta valdymo sistema susideda iš kelių pagrindinių dedamųjų: nesudėtingo naudojimo EEG signalų skaitytuvo, primityvios valdomos elektromechaninės sistemos ir komunikacijos tarp jų. Kiekviena sistemos dedamoji dalis turi atitikti jai keliamus reikalavimus.

Signalų skaitytuvui keliami reikalavimai:

- Neinvazinis įrenginys;
- Įrenginys galit dirbti 0-40 Hz dažnių diapazone;
- Galimybė atvaizduoti EEG signalus grafinėje vartotojo sąsajoje;
- Bevielį ryšį;
- Nesudėtingą naudojimą, t.y. nereikalingi specialūs apmokymai ar įgūdžiai norint pradėti naudotis EEG signalų skaitytuvu.

Elektromechaniniai sistemai keliami reikalavimai:

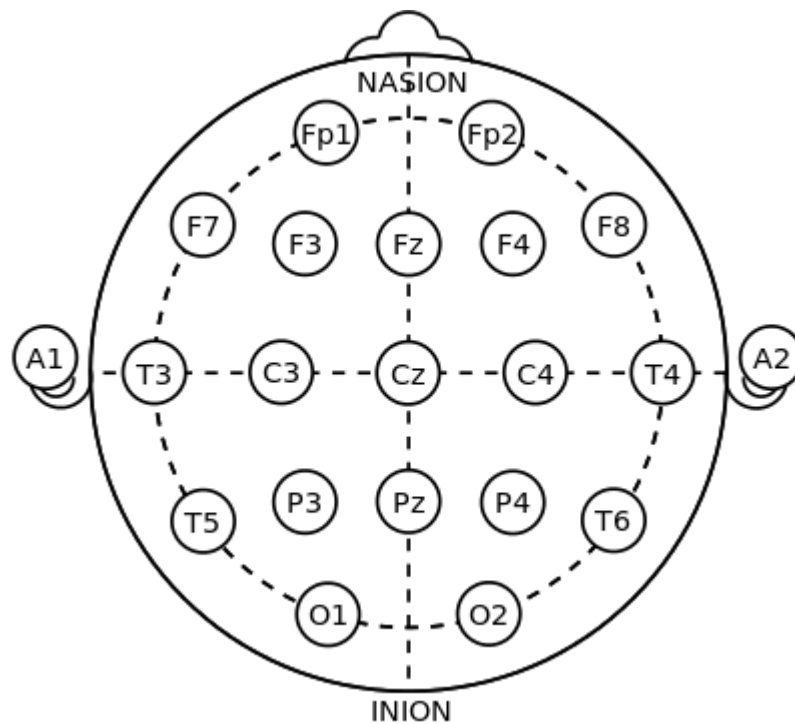
- Paprastas surinkimas;
- Autonominis elektromechaninės sistemos maitinimo šaltinis;
- Judėjimo galimybė, bent trimis kryptimis.

Komunikacijai keliami reikalavimai:

- Bevielis ryšys;
- Veikimo spindulys iki 10 m.

2.1. EEG signalų skaitytuvas

Reikalingas neinvazinis smegenų bangas nuskaitantis išoriniais prietaisais, kuris turėtų galimybę priimti ir registruoti žmogaus skleidžiamus kognityvinius signalus iš kaktinės smegenų skilties. Daugelis EEG signalų skaitytuvų naudoja tarptautinę „10-20“ konfigūraciją (2.1 pav.), kuri reiškia, jog tarp gretimų elektrodų yra atstumas lygus 10% arba 20% žmogaus kaukolės ilgiui.



2.1 pav. EEG skaitytuvo „10-20“ elektrodų konfigūracija [18]

EEG signalų skaitytuvo „10-20“ elektrodų konfigūracijos žymėjimo paaiškinimai:

Nasion – įdubimas tarp akių;

Inion – iškilimas pakaušyje;

A1, A2 – po kairiąja ir dešiniąja ausimi esantis įdubimas;

F – kaktinė skiltis;

T – smilkinė skiltis;

P – momeninė skiltis;

O – pakaušinė skiltis;

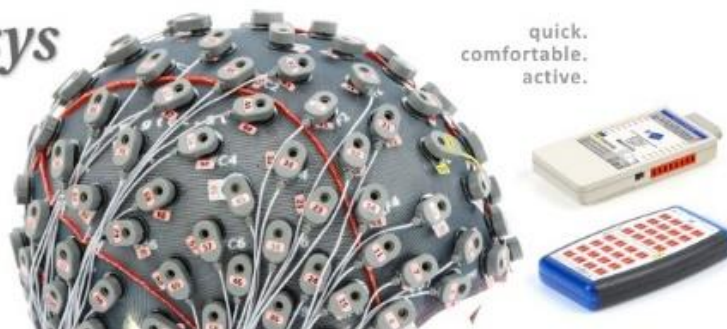
C – centrinė vagos sritis;

z – smegenų polių skiriamoji vaga;

p – poliniai elektrodai.

2.1.1. EEG signalų skaitytuvas „g.GAMMAsys“

EEG signalų skaitytuvas „g.GAMMAsys“ , tai medicininiam tyrimams skirtas neinvazinis įrenginys. Šis įrenginys gali turėti iki 86 elektrodų. Norint gauti geresnės kokybės signalus yra būtinas specialus gelis. Šis signalų skaitytuvas naudojamas norint gauti, aukštos kokybės, EEG signalus skirtus išsamiam žmogaus smegenų aktyvumui stebėti.



2.2 pav. „g.GAMMAsys“ įrenginys [19]

2.1 lentelė. „g.GAMMAsys“ techniniai duomenys

Elektrodų skaičius, vnt.	86
Bevielis ryšys	Nėra
Signalų raiška, Bit	24
Dažnių diapazonas, Hz	0-10 000
Įėjimo varža, MΩ	>100
Jautrumas, nV	<60

2.1.2. EEG signalų skaitytuvas „g.Nutilus“

EEG signalų skaitytuvas „g.Nutilus“ yra medicininiam tikslams skirtas bevielis įrenginys. Įrenginyje yra ličio-jonų akumuliatorius, kuris skaitytuvo veikimą gali palaikyti iki 8 valandų, kepurėlė atspari vandeniui, todėl nesunkiai išplaunama nuo gelio. Nors įrenginyje gali būti ne daugiau 32 elektrodų, tačiau signalų kokybė yra pakankamai aukšta.



2.3 pav. „g.Nutilus“ įrenginys [20]

2.2 lentelė. „g.NAUTILUS“ techniniai duomenys

Elektrodų skaičius, vnt.	64
Bevielis ryšys	Yra
Bevielio ryšio atstumas, m	10
Pilnai pakrauto įrenginio naudojimo trukmė, h	Iki 8
Signalų raiška, Bit	24
Dažnių diapazonas, Hz	0-500

2.1.3. EEG signalų skaitytuvas „g.SAHARA“

EEG signalų skaitytuvas „g.SAHARA“ yra medicininiam tikslams skirtas įrenginys. Pagrindinis skirtumas tarp šio įrenginio ir kitų medicininių signalų skaitytuvų yra tas, jog „g.SAHARA“ įrenginiui nereikia specialaus gelio, kuris pagerintų kontaktą tarp elektrodo ir žmogaus skalpo.



2.4 pav. „g.SAHARA“ įrenginys [21]

2.3 lentelė. „g.SAHARA“ techniniai duomenys

Elektrodų skaičius, vnt.	8
Bevielis ryšys	Nėra
Signalų raiška, Bit	24
Dažnių diapazonas, Hz	0-40
Įėjimo varža, MΩ	0,2
Jautrumas, nV	<60

2.1.4. EEG signalų skaitytuvas „EMOTIV INSIGHT“

„EMOTIV INSIGHT“ EEG signalų skaitytuvas skirtas namų elektronikos vartotojams. Įrenginys turi daug mažiau elektrodų, kurie fiksuoja smegenų impulsus, nei medicininiai įrenginiai, tačiau jis patogus nešioti, nesudėtingai naudojamas, turi bevieli ryšį, taip pat nereikia naudoti specialaus gelio.



2.5 pav. „EMOTIV INSIGHT“ įrenginys [22]

2.4 lentelė. „EMOTIV INSIGHT“ techniniai duomenys

Elektrodų skaičius, vnt.	5
Bevielis ryšys	Yra
Bevielio ryšio atstumas, m	100
Signalų raiška, Bit	14
Pilnai pakrauto įrenginio naudojimo trukmė, h	Iki 4
Dažnių diapazonas, Hz	0,5-43

2.1.5. EEG signalų skaitytuvas „EMOTIV EPOC“

Šis „EMOTIV EPOC“ EEG signalų skaitytuvas skirtas vartotojams, kurie neturi specialių medicinių žinių. Įrenginys turi 14 elektrodų, kurie fiksuoja smegenų impulsus, taip pat jis patogus nešioti, nesudėtingai naudojamas, turi bevieli ryšį, nereikia naudoti specialaus gelio.



2.6 pav. „EMOTIV EPOC“ įrenginys [23]

Pateikiamos įrenginio techninės specifikacijos:

2.5 lentelė. „EMOTIV EPOC“ techniniai duomenys.

Elektrodų skaičius, vnt.	14
Bevielis ryšys	Yra
Bevielio ryšio atstumas, m	100
Signalų raiška, Bit	14/16
Pilnai pakrauto įrenginio naudojimo trukmė, h	Iki 12
Dažnių diapazonas, Hz	0,2-45

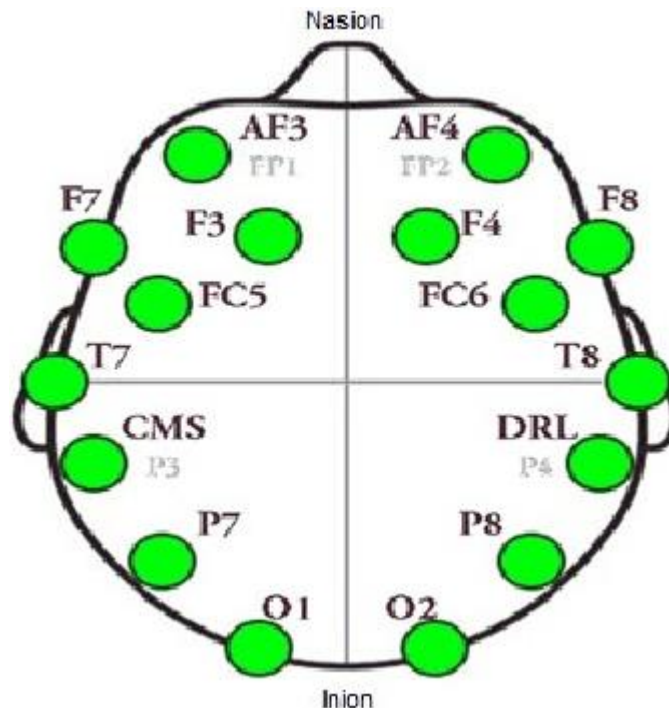
2.1.6. Pasirinktas įrenginys

Rinkoje esančių EEG signalų skaitytuvų pasiūla yra sąlyginai nedidelė, todėl palyginus kelių gamintojų įrenginius (2.6 lentelė.) ir atsižvelgus į esamas galimybes buvo pasirinktas „EMOTIV EPOC“ smegenų bangų skaitytuvas.

2.6 lentelė Įrenginių palyginimas.

Įrenginio pavadinimas	Neinvazinis įrenginys	Dažnių diapazonas, Hz	Bevielis ryšys	Elektrodų skaičius, vnt.	Galimybė naudotis
g.GAMMAsys	Taip	0-10 000	Nėra	86	Nėra
g.Nutilus	Taip	0-500	Yra	64	Yra
g.SAHARA	Taip	0,1-40	Nėra	8	Nėra
EMOTIV INSIGHT	Taip	0,5-43	Yra	5	Nėra
EMOTIV EPOC	Taip	0,2-45	Yra	14	Yra

Pasirinkto įrenginio techniniai duomenys atitinka keliamus reikalavimus. Įrenginys yra nesunkus, todėl naudotojui nesukelia papildomo diskomforto. Taip pat jo naudojimas yra paprastas ir nesudėtingas su išsamia naudotojo instrukcija.



2.7 pav. „EMOTIV EPOC“ įrenginio elektrodų išdėstymas [24]

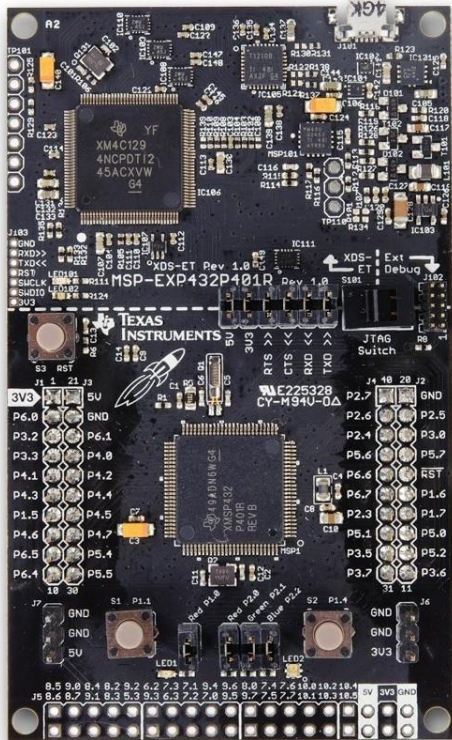
Pasirinktas įrenginys turi 14 elektrodų, kurie yra išdėstomi ant žmogaus kaukolės (2.7 pav.), elektrodų kiekis ir išdėstymas tinkamas tolimesniems tyrimams atlikti, nes pagrindiniai valdymo signalai generuojami žmogaus smegenų kaktinėje skiltyje.

2.2. Sistemos valdymo koncepcijos realizavimas

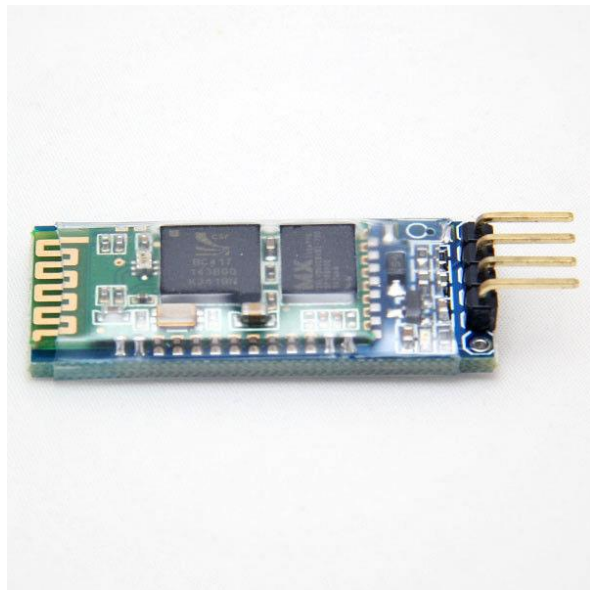
Tiriamajam magistriniam baigiamajam darbui buvo suprojektuota ir surinkta nesudėtinga elektromechaninė sistema – robotas, kuri per belaidę komunikaciją gali priimti iš asmeninio kompiuterio siunčiamas komandas, kurios yra sukurtos EEG signalų skaitytuvo programinės įrangos, juos apdoroti ir paversti į mechaninius judesius.

2.2.1. Roboto sistemos valdymas

Valdymo dalis sudaryta iš programuojamo mikrovaldiklio MSP432P401R plokštės (2.8 (a) pav.), kurioje yra skaitmeninių ir analoginių signalų įėjimai ir išėjimai, bei „Bluetooth“ modulis (2.8 (b) pav.), kuris reikalingas, signalų perdavimui iš kompiuterio į valdomą robotizuotą sistemą.



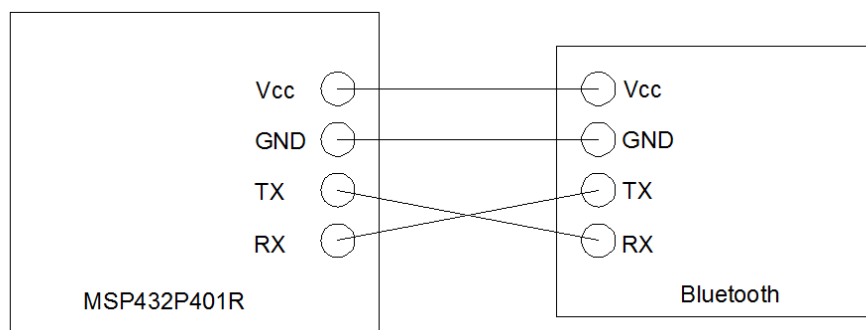
a)



b)

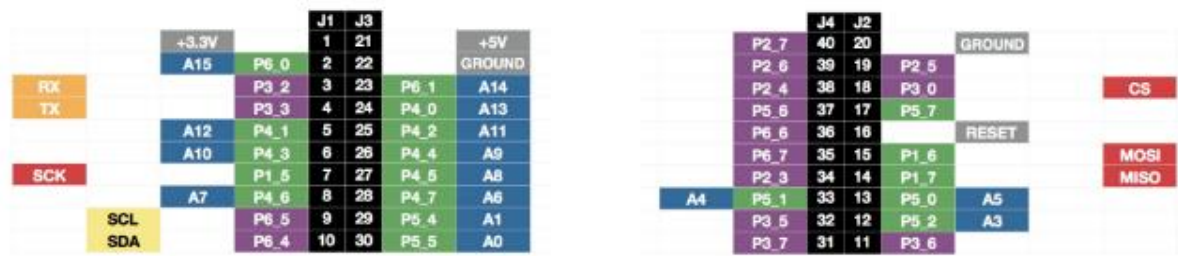
2.8 pav. a) MSP432P401R plokštė [25] b) „Bluetooth“ modulis [26]

„Bluetooth“ moduliui ir MSP432P401R mikrovaldikliui reikalinga elektrinio sujungimo schema. Principinė schema atvaizduota 2.9 pav. Vcc – 5V nuolatinės įtampos maitinimo išvadas, GND – nulinio potencialo išvadas, TX – siųstuvo išvadas, RX – imtuvo įvadas.



2.9 pav. Principinė „Bluetooth“ modulio prijungimo schema

Norint prijungti „Bluetooth“ modulį prie mikrovaldiklio, reikia žinoti, kurie įvadais ar išvadais yra tinkami „Bluetooth“ moduliui, tam tikslui prie kiekvieno mikrovaldiklio pridedamas gamintojo nustatytas įvadų ir išvadų žemėlapis su nurodytomis funkcijomis (2.10 pav.). Žalia ir violetine spalva pažymėti išvadais atlieka skaitmeninių signalų funkciją, mėlyna spalva pažymėti išvadais atlieka analoginių signalų funkciją, oranžine spalva pažymėti išvadais atlieka UART komunikacinę funkciją.



2.10 pav. Įvadų/išvadų „žemėlapis“ [27]

Prijungus „Bluetooth“ modulį prie mikrovaldiklio reikia jį sukonfigūruoti, tam naudojamas programinis konfigūracijos kodas. Žemiau pateiktas konfigūracijos kodas:

```
int data = 0; // iš eeg įtaiso gautos reikšmes kintamasis
void setup()
{
  Serial.begin(9600) // pradėti komunikaciją su BT įrenginiu
}
void loop()
{
  if(Serial.available()) // tikrina ar įmanomas BT ryšys
  {
    data = Serial.read(); // duomenis priskiria kintamajam
  }
}
```

Taip sukonfigūruotas mikrovaldiklis gali priimti iš kompiuterio jam siunčiamus duomenis ir toliau atlikti jų analizę.

2.2.2. Roboto elektromechaninė dalis

Roboto elektromechaninė dalis sudaryti iš dviejų pagrindinių komponentų: du servo varikliai (2.11 (a) pav.) ir plastikinis pagrindas su ratais (2.11 (b) pav.).



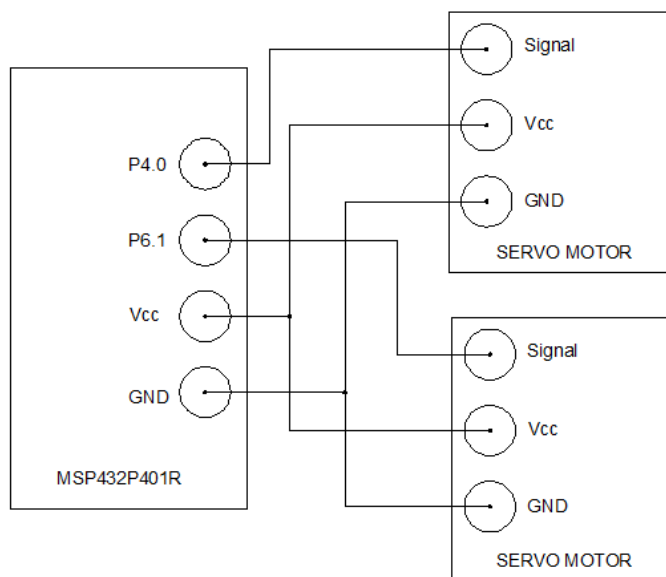
a)



b)

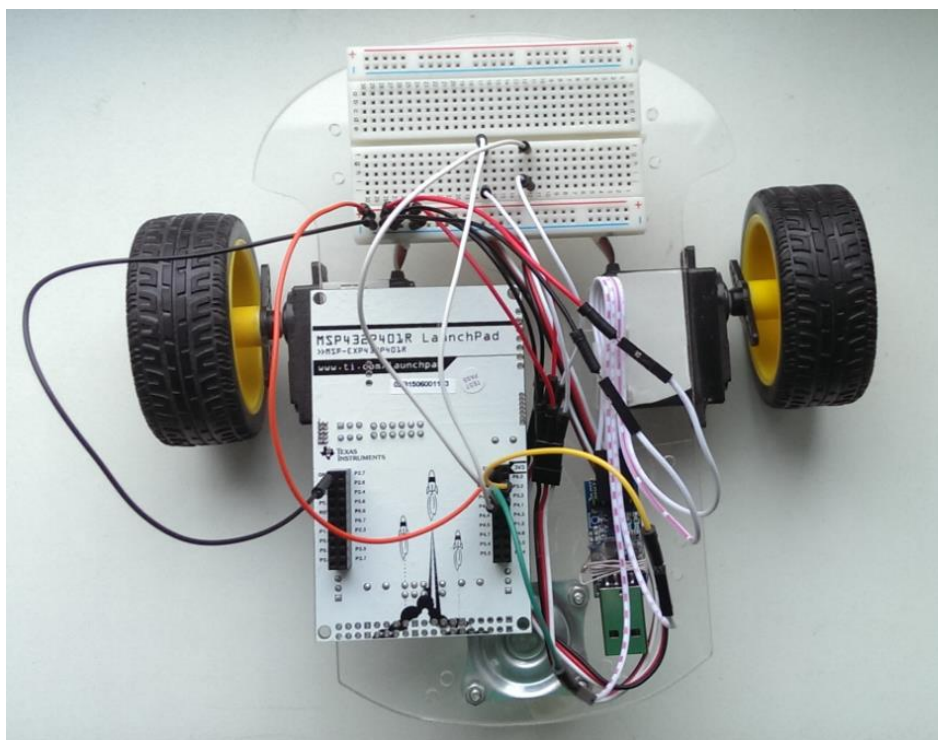
2.11 pav. a) Servo variklis [28] b) Plastikinis pagrindas su ratais [29]

Servo varikliai turi tris įvadinius lizdus. Raudonas laidas – nuolatinės įtampos 5 V įvadas, juodas laidas – nulinis potencialas, baltas laidas – valdymo signalo įvadas. Servo variklių pajungimo į mikrovaldiklį schema (2.12 pav.).



2.12 pav. Principinė pajungimo schema

Sujungus valdymo ir elektromechaninę sistemos dalis gaunama dviratė autonominio maitinimo robotizuota sistema (2.13 pav.).



2.13 pav. Realizuotas robotas

Toks primityvus robotas buvo pasirinktas todėl, kad jam sukurti neužima daug laiko, robotas atitinka visus valdymo sistemos bandymui keliamus reikalavimus ir yra sąlyginai pigus.

2.2.3. Sistemos judėjimas

Robotizuota sistema gali atlikti tris judesio komandas: važiuoti pirmyn, sukti kairėn, sukti dešinėn. Vienu metu sistema gali atlikti tik vieną iš trijų judesių. Norint judėti pirmyn, duodamas signalas abiem servo varikliams veikti, taip sistema važiuoja pirmyn. Norint pasukti sistemą kairėn, duodamas signalas kairiajam ratui sukti prieš laikrodžio rodyklę, o dešiniajam sukti pagal laikrodžio rodyklę taip gaunamas sukamasis judesys kairėn, o norint pasukti sistemą dešinėn duodamas signalas dešiniajam varikliui sukti prieš laikrodžio rodyklę, o kairiajam sukti pagal laikrodžio rodyklę, taip gaunamas sukamasis judesys dešinėn. Servo variklių valdymo kodas:

```
#include <Servo.h>
Servo myservoL; //sukuriams servo variklio kintamasis
Servo myservoR;
char data = 0;
int valueL; // kairiojo servo variklio kintamasis
int valueR; // dešiniojo servo variklio kintamasis

void setup()
{
  myservoR.attach(7);
  myservoL.attach(6);
  myservoR.write(95);
  myservoL.write(95);
  Serial.begin(9600) // pradėti komunikaciją su BT įrenginiu
}
void loop()
{
  if(Serial.available()) // tikrina ar įmanomas BT ryšys
  {
    data = Serial.read(); // duomenis priskiria kintamajam

    if(val == 'a') // sąlyga, kai važiuoja tiesiai
    {
      valueR = 0;
      valueL = 180;
    }
    if(val == 'b') // sąlyga, kai važiuoja į kairę
    {
      valueR = 180;
      valueL = 180;
    }
    if(val == 'c') // sąlyga, kai važiuoja į dešinę
    {
      valueR = 0;
      valueL = 0;
    }
  }
  myservoR.write(valueR);
```

```

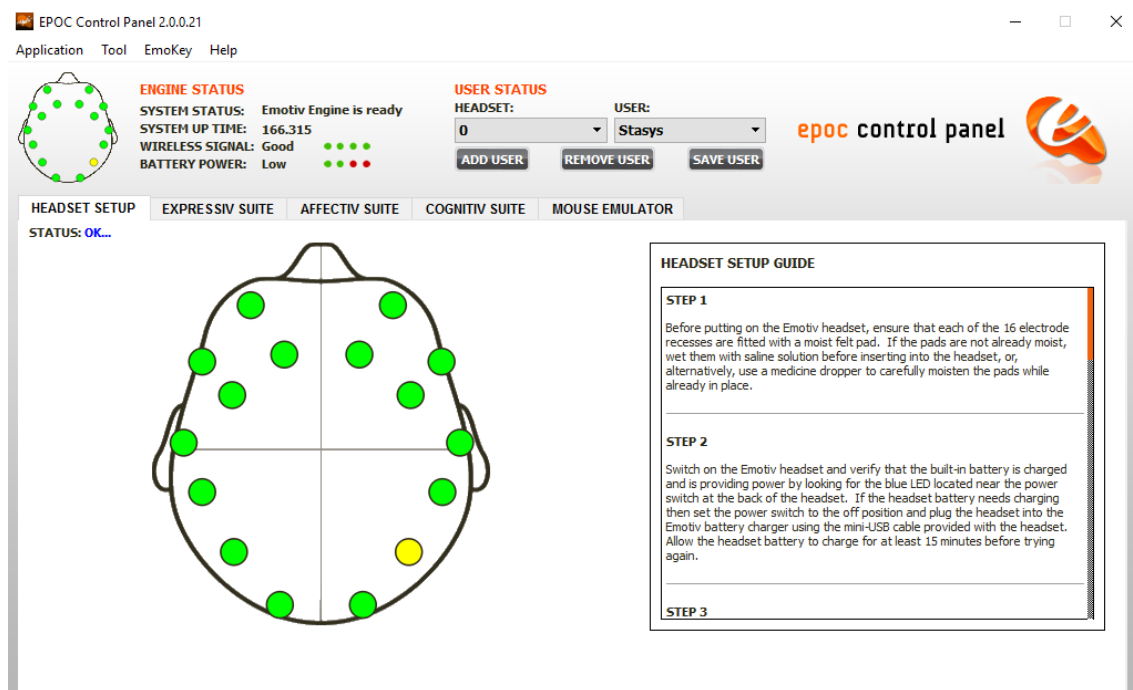
myservoL.write(valueL);
delay(20);
valueR = 95;
valueL = 95;
}

```

2.2.4. EEG signalų skaitytuvo programinė įranga

Kiekvienas žmogus skleidžia kitokios amplitudės ir skirtingo dažnių diapazono EEG signalus, todėl norint pritaikyti EEG signalus valdymo sistemose reikalingas šių signalų atpažinimas. Šiam tikslui yra naudojamos įvairios programinės įrangos, kurios yra susietos su konkrečiais EEG signalų skaitytuvais.

„EMOTIV EPOC“ signalų skaitytuvas naudoja „EPOC control panel 2.0.0.21“ programinę įrangą (2.14 pav.). Atsidarius šią programą pagrindiniame lange yra matoma „Headset setup“ skiltis, kurioje yra pavaizduoti pagrindiniai techniniai parametrai reikalingi sklandžiam darbui su „EMOTIV EPOC“ EEG signalų skaitytuvu.

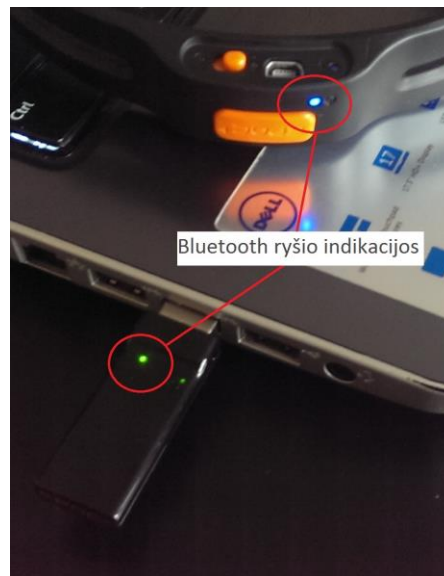


2.14 pav. „EPOC control panel“ programinė įranga

Programinės įrangos pagrindinio lango paaiškinimai:

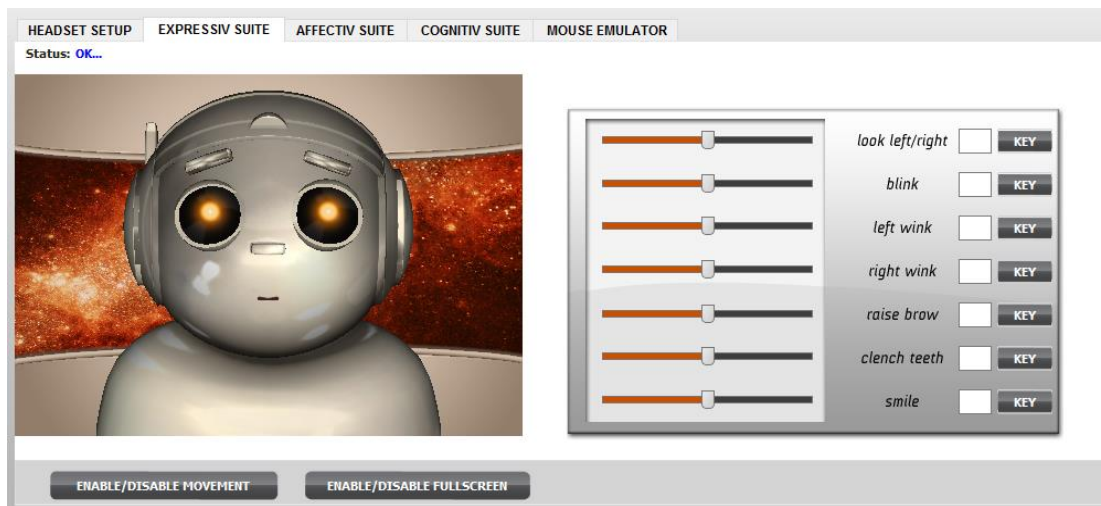
- User – vartotojas, kuriam yra pritaikyta programinė įranga (išsaugoti EEG signalai ir elektrodų prijungimo vieta);

- System status – šioje dalyje parodyta koks režimas yra parinktas. Režimai gali būti „Emotiv Engine“ – skirtas įprastiems vartotojams; „Emo Composer“ – skirtas programinės įrangos kūrėjams;
- System uptime – parodo laiką, kuris praėjo nuo programinės įrangos prisijungimo prie EEG signalų skaitytuvo;
- Wireless signal – parodo ryšio stiprumą tarp signalų skaitytuvo ir asmeninio kompiuterio. Programinė įranga, kuri yra įdiegta asmeniniame kompiuteryje, komunikaciją su EEG signalų skaitytuvu palaiko per „Bluetooth“ raktą, kuris yra įkištas į asmeninį kompiuterį (2.15 pav.);
- Elektrodo pozicijos – programinės įrangos pagrindiniame lange yra atvaizduota žmogaus kaukolė ir elektrodo pozicijos. Užsidėjus EEG signalų skaitytuvą reikia supozicionuoti elektrodus taip, jog elektrodai, esantys ant kaukolės programinės įrangos pagrindiniame lange, šviestų žaliai, taip bus užtikrinamas patikimas kontaktas tarp elektrodo ir žmogaus kaukolės. Geltona indikacija žymi silpną kontaktą, raudoną indikaciją – blogą kontaktą, o juodos spalvos indikacija parodo tai, kad nėra kontakto tarp EEG signalų skaitytuvo elektrodo ir žmogaus kaukolės;

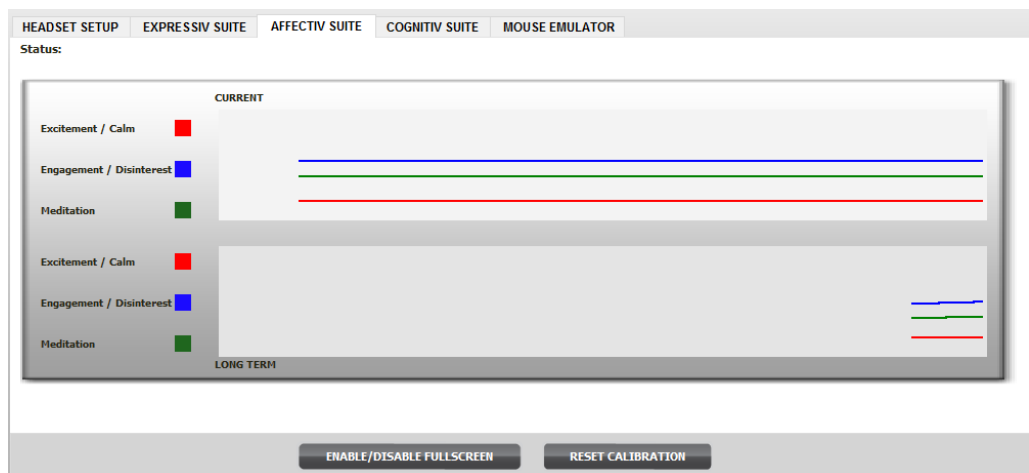


2.15 pav. Veikiantis „Bluetooth“ ryšys

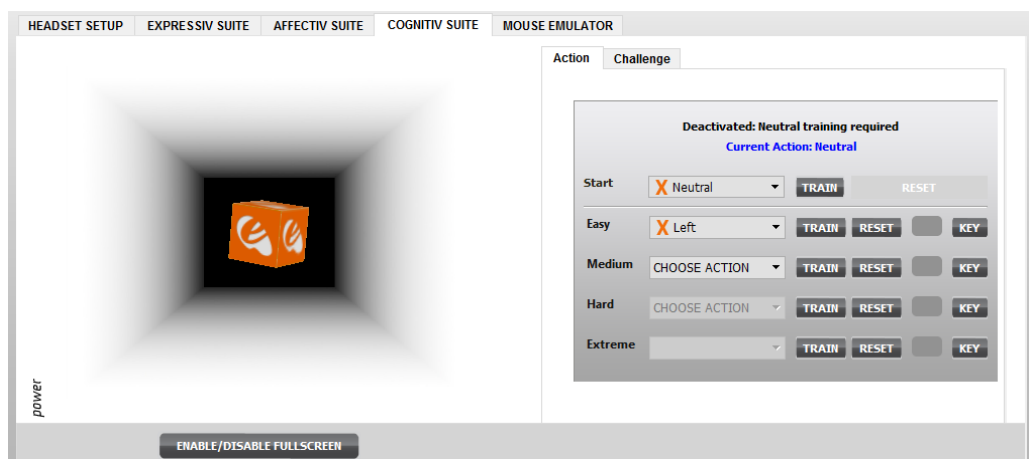
Kitose programinės įrangos skiltyse galime matyti veido mimikų atpažinimą („Expressiv suite“ 2.16 (a) pav.), stebėti žmogaus emocinę būseną („Affectiv suite“ 2.16 (b) pav.), taip pat simuliuoti žmogaus kognityvinius pojūčius („Cognitiv suite“ 2.16 (c) pav.), bei naudotis įrenginyje įmontuotu giroskopu („Mouse emulator“ 2.16 (d) pav.).



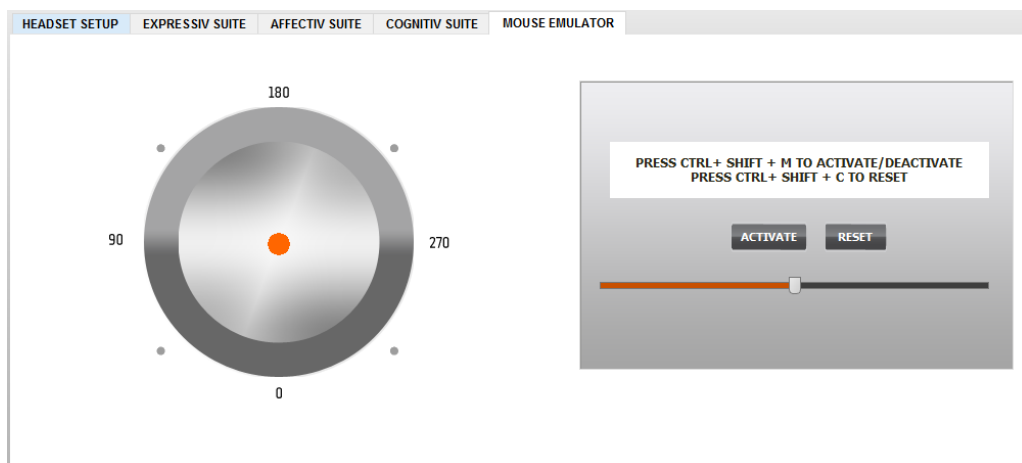
a)



b)



c)



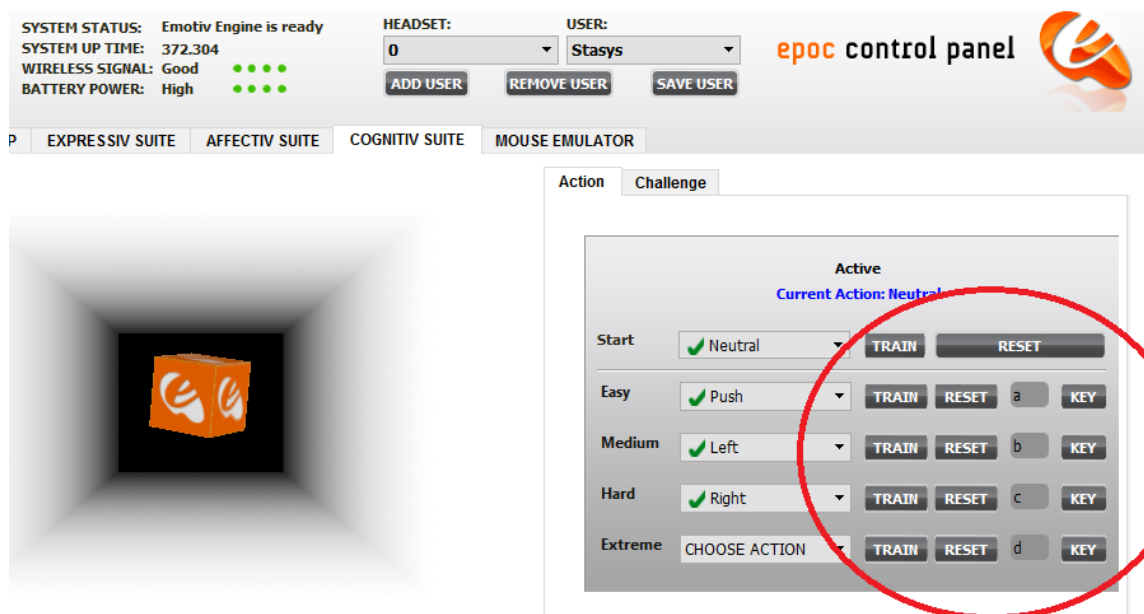
d)

2.16 pav. a) „Expressiv suite“ langas; b) „Affectiv suite“ langas; c) „Cognitiv suite“ langas; d) „Mouse emulator“ langas.

2.2.5. EEG signalų atpažinimas

Tiriamajame darbe bus naudojama tik „Cognitive suite“ programinės įrangos skiltis. EEG signalų skaitytuvu surinkti signalai per „Bluetooth“ ryšį siunčiami į asmeniniame kompiuteryje esančią „Epic control panel“ programą, programoje yra sukuriami individualūs signalų šablonai. Norint gauti tolimesniai naudojimui tinkamą signalų šabloną, sistemos naudotojas turi išmokti valdyti savo kognityvinius pojūčius. Šiam tikslui signalų skaitytuvo programinėje įrangoje yra skiltis „Cognitive suite“ (2.17 pav.). Veiksmi, kuriuos atliktus paruošiamas tinkamas signalų šablonas:

1. Vartotojas programinėje įrangoje išsaugo savo ramybės („Neutral“) būsenos signalų šabloną, tai būseną, kai žmogus apie nieką negalvoja, yra atsipalaidavęs ir neatlieka jokių kognityvinių veiksmų.
2. Toliau yra kuriami ir išsaugomi kiti signalų šablonai, kurie atlieka „Push“, „Left“, „Right“ veiksmus. Žmogui pagalvojus apie vieną iš anksčiau minėtų veiksmų, indikacinis elementas (virtualus kubas, kairėje 2.17 pav.) pradeda atitinkamai judėti tiesiai, kairėn arba dešinėn.

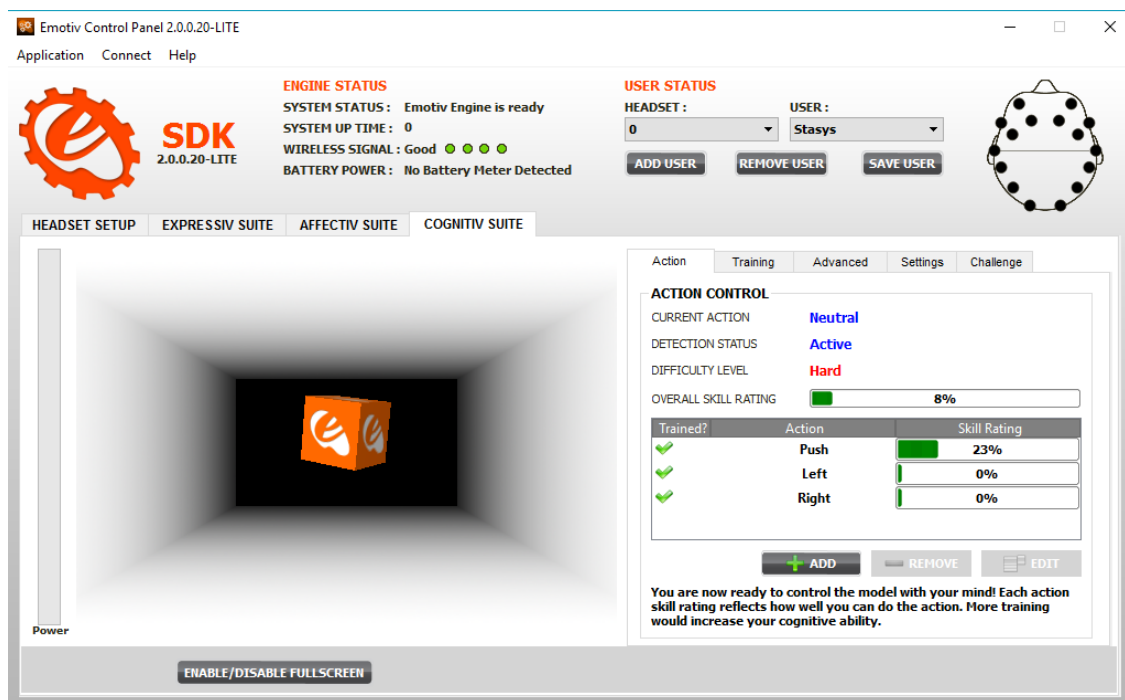


2.17 pav. Signalų šablonų kūrimas

Kiekvienam signalų šablonui paruošti, apmokymo sudėtingumo lygis yra skirtingas, nuo sudėtingumo lygio ir kognityvinių žmogaus savybių priklauso kaip tiksliai programa sugebės atpažinti reikiamus EEG signalų šablonus ir atlikti virtualius veiksmus. Sugeneruoti signalų šablonai per „Bluetooth“ įrenginį esantį kompiuteryje siunčiami į mikrovaldiklį, kuris atlieka mechaninius robotizuotos sistemos judesius.

2.2.6. Signalų atpažinimo tikslumas

Programinės įrangos „EPOC control panel“ skiltyje „Cognitive suite“ esančios komandos „Push“, „Left“ ir „Right“ turi savo „skill rating“ – signalų šablono atpažinimo lygį, kuris parodo, kaip tiksliai programos naudotojas gali valdyti virtualų objektą. Kuo didesnis „skill rating“ procentas, tuo tiksliau programa atpažįsta vartotojo sukurtą signalų šabloną ir atlieka vartotojo norimus veiksmus. Norint pasiekti aukštesnį „skill rating“ procentą, reikia atlikti pakartotinus signalų šablono kūrimo veiksmus kurie aprašyti 2.2.5 skyriuje.



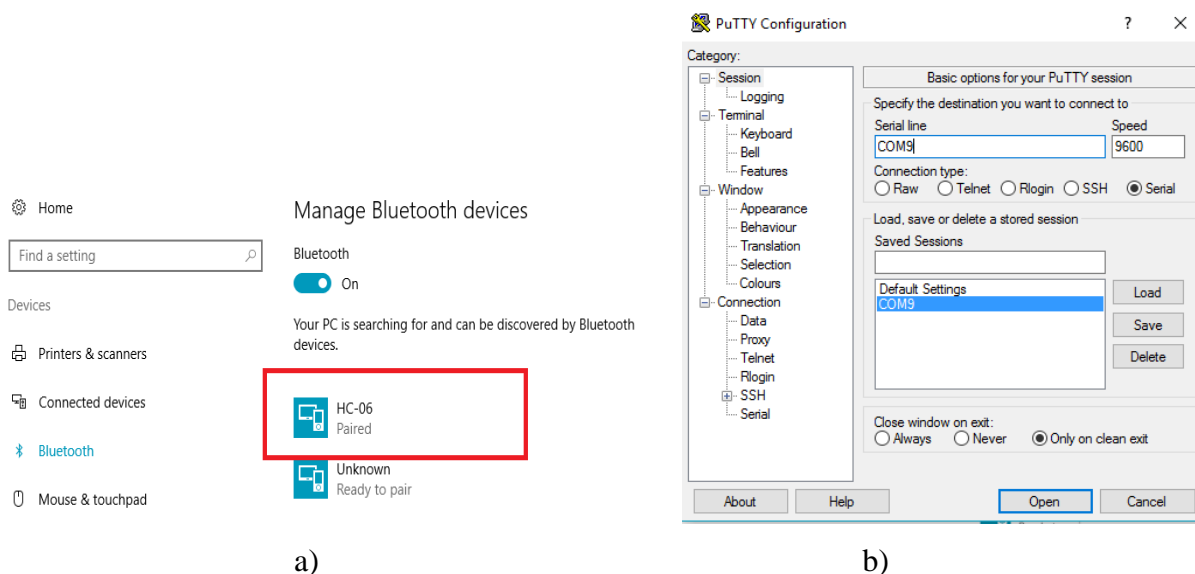
2.18 pav. Komandų „skill rating“ išsklotinė

Signalų šablonų atpažinimo lygis yra matomas „Emotiv control panel SDK“ programinėje įrangoje. Šioje programoje yra skiltis „Cognitive suite“, kurioje matosi komandų „Push“, „Left“, „Right“ atpažinimo lygis išreikštas procentais (2.18 pav.), taip pat ir bendras lygis („Overall skill rating“), kuris yra pasirinktų komandų atpažinimo lygio aritmetinis vidurkis.

2.2.7. Signalų perdavimo programinė įranga

Iš EEG signalų skaitytuvo surinkti ir programinėje įrangoje apdoroti duomenys „Bluetooth“ ryšiu perduodami iš kompiuterio į robotą. Ryšiui tarp roboto ir kompiuterio užtikrinti yra naudojama „PuTTY“ programa. Ši programa sukuria virtualų nuoseklų prievadą ir užtikrina sklandų duomenų perdavimą tarp „Bluetooth“ įrenginio ir asmeninio kompiuterio. Norint susieti robotą su kompiuteriu reikia atlikti šiuos veiksmus:

1. Prijungti „Bluetooth“ įrenginiui maitinimo įtampą;
2. Susieti asmeninį kompiuterį su „Bluetooth“ įrenginiu (2.19 (a) pav.);
3. Nustatyti kuris virtualus nuoseklus prievadas priskirtas „Bluetooth“ įrenginiui. Tai galima atlikti paspaudus dešinį pelės mygtuką ant „My computer“ piktogramos ir pasirinkti „Properties“. Tada eiti į „Device manager“, po to į „Ports“ skiltį, ten bus nurodytas „Bluetooth“ įrenginio „COM“ prievadas.
4. Pasileisti „PuTTY“ programą, pasirinkti „Connection type: Serial“, nurodyti virtualų prievadą, kuris buvo nurodytas 3 – iame punkte ir paspausti „Open“ mygtuką (2.19 (b) pav.).

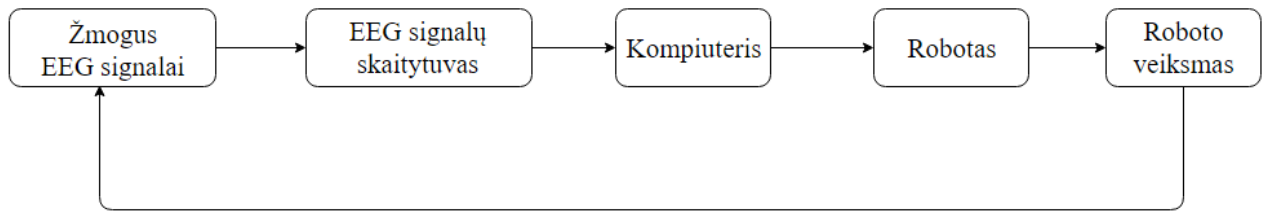


2.19 pav. a) BT įrenginio ir asmeninio kompiuterio susiejimas; b) „PuTTY“ programos nustatymai

Ryšys tarp „Bluetooth“ įrenginio ir asmeninio kompiuterio sukurtas. „Bluetooth“ įrenginyje indikacinės lemputės turi šviesti nepertraukiama šviesa.

2.2.8. Sistemos valdymo principas

Sklandžiam roboto valdymui yra sudarytas valdymo principas (2.20 pav.). Žmogus mintyse sugalvoja vieną iš trijų galimų veiksmų, kurių turi atlikti valdomas robotas, tada EEG signalų skaitytuvas nuskaito žmogaus sugeneruotus EEG signalus ir bevieliu ryšiu duomenis perduoda į asmeninį kompiuterį, kuriame yra įrašyta signalų skaitytuvo „EMOTIV EPOC control panel“ programinė įranga. Programinė įrangą atpažįsta vieną iš trijų EEG signalų šablonų ir priskiria „Push“, „Left“ arba „Right“ komandai. Tada šios komandos bevieliu ryšiu perduodamos iš kompiuterio į roboto mikrovaldiklį. Roboto mikrovaldiklis apdoroja gautą informaciją ir siunčia atitinkamus signalus į roboto servo variklius. Taip atliekamas roboto judesys. Žmogus įvertinęs roboto atliktą judesį, siunčia kitą signalų rinkinį naujam judesiui atlikti.



2.20 pav. Valdymo algoritmas

Roboto valdymo būdas yra toks: kol gaunama viena iš komandų „Push“, „Left“ ar „Right“ , tol robotas atlieka atitinkamą „Važiuoti pirmyn“, „Suktis kairėn“ , „Suktis dešinėn“ komandą. Toks valdymo būdas pasirinktas todėl, kad žmogus galėtų reaguoti į besikeičiančią aplinką ir realiu laiku galėtų daryti įtaką roboto judėjimui.

3. VALDYMO SISTEMOS TYRIMAS

Norint išsiaiškinti robotizuotos sistemos valdymo pritaikymo galimybes individualiam sistemos naudotojui, reikia atlikti tyrimus ir nustatyti realias sistemos pritaikymo galimybes. Tyrime dalyvauja 5 respondentai, dalyvių amžius 23-25 metai. Tiriamojo darbo metu atliekami kelių tipų tyrimai, kurie turi skirtingus uždavinius:

- Valdymo signalų šablono kūrimo tyrimas;
- Tikslios signalų realizacijos tyrimas;
- Realaus objekto valdymo tikslumo tyrimas.

Kiekvienas tyrimo dalyvis turi vienodas sąlygas atlikti jam skirtas užduotis, tyrimo dalyviams buvo paaiškinta kaip naudotis „EPOC control panel“ programine įranga, duotas EEG signalų skaitytuvas ir robotizuota sistema, 3.1. lentelėje pateikti tyrime dalyvavusių asmenų duomenys.

3.1. lentelė. Tyrimo dalyviai.

	Lytis	Amžius	Veiklos sritis
1-asis respondentas	Vyras	23	Žemėtvarka
2-asis respondentas	Moteris	23	Aptarnavimas
3-asis respondentas	Moteris	25	Gamyba
4-asis respondentas	Vyras	25	IT
5-asis respondentas	Vyras	24	Pramonės

Kiekvieno tyrimo metu, dalyviai turės atlikti jiems pateiktas užduotis. Užduotys visiems dalyviams yra parinktos vienodos, neatsižvelgiant į respondentų amžių, lytį, išsilavinimą ar veiklos sritį.

3.1. Valdymo signalų šablono kūrimo tyrimas

Vykdamas valdymo signalų šablono kūrimo tyrimą, respondentams buvo duota užduotis „EPOC control panel“ programinėje įrangoje sukurti unikalius signalų šablonus. Tyrimo tikslas nustatyti, kiek procentų pakyla kiekvienos valdymo komandos „skill rating“ atliktus treniruotę iš dešimties bandymų, taip pat kiek kartų reikia papildomai kartoti treniruotę norint pasiekti, kad kiekviena valdymo komanda turėtų 100% „skill rating“ ir išsiaiškinti tyrimo dalyvių koncentracijos, bei susikaupimo galimybes. Kiekvieno bandymo metu treniruojama tik viena komanda.

3.2 lentelė. 1-ojo respondento rezultatai

Bandymų kartai	Komanda	Komanda	Komanda	Bendras „skill
-----------------------	----------------	----------------	----------------	-----------------------

	„Push“, %	„Left“, %	„Right“, %	rating“, %
1	7	5	2	4,7
2	13	8	5	8,7
3	26	13	12	17,0
4	41	20	23	28,0
5	56	33	31	40,0
6	72	42	39	51,0
7	78	49	44	57,0
8	82	51	48	60,3
9	86	64	57	69,0
10	88	69	68	75,0

1-ajam respondentui norint pasiekti 100 % „skill rating“ reikėjo papildomai atlikti 2 bandymus komandai „Push“, 4 bandymus komandai „Left“ ir 5 bandymus komandai „Right“. Atlikus šias papildomas treniruotes bendras „skill rating“ procentas pasiekė 100 %.

3.3 lentelė. 2-ojo respondento rezultatai

Bandymų kartai	Komanda „Push“, %	Komanda „Left“, %	Komanda „Right“, %	Bendras „skill rating“, %
1	9	7	6	7,3
2	16	11	9	12,0
3	31	15	14	20,0
4	39	22	19	26,7
5	48	29	34	37,0
6	62	35	41	46,0
7	71	48	49	56,0
8	80	56	52	62,7
9	87	64	65	72,0
10	94	70	72	78,7

2-ajam respondentui norint pasiekti 100 % „skill rating“ reikėjo papildomai atlikti 3 bandymus komandai „Push“, 4 bandymus komandai „Left“ ir 6 bandymus komandai „Right“. Atlikus šias papildomas treniruotes bendras „skill rating“ procentas pasiekė 100 %.

3.4 lentelė. 3-ojo respondento rezultatai

Bandymų kartai	Komanda „Push“, %	Komanda „Left“, %	Komanda „Right“, %	Bendras „skill rating“, %
1	3	3	1	2,3
2	9	7	6	7,3
3	20	11	10	13,7
4	31	33	17	27,0
5	40	41	23	34,7
6	47	50	29	42,0
7	56	58	36	50,0
8	70	64	42	58,7
9	79	73	48	66,7
10	84	83	56	74,3

3-ajam respondentui norint pasiekti 100 % „skill rating“ reikėjo papildomai atlikti 5 bandymus komandai „Push“, 6 bandymus komandai „Left“ ir 7 bandymus komandai „Right“. Atlikus šias papildomas treniruotes bendras „skill rating“ procentas pasiekė 100 %.

3.5 lentelė. 4-ojo respondento rezultatai

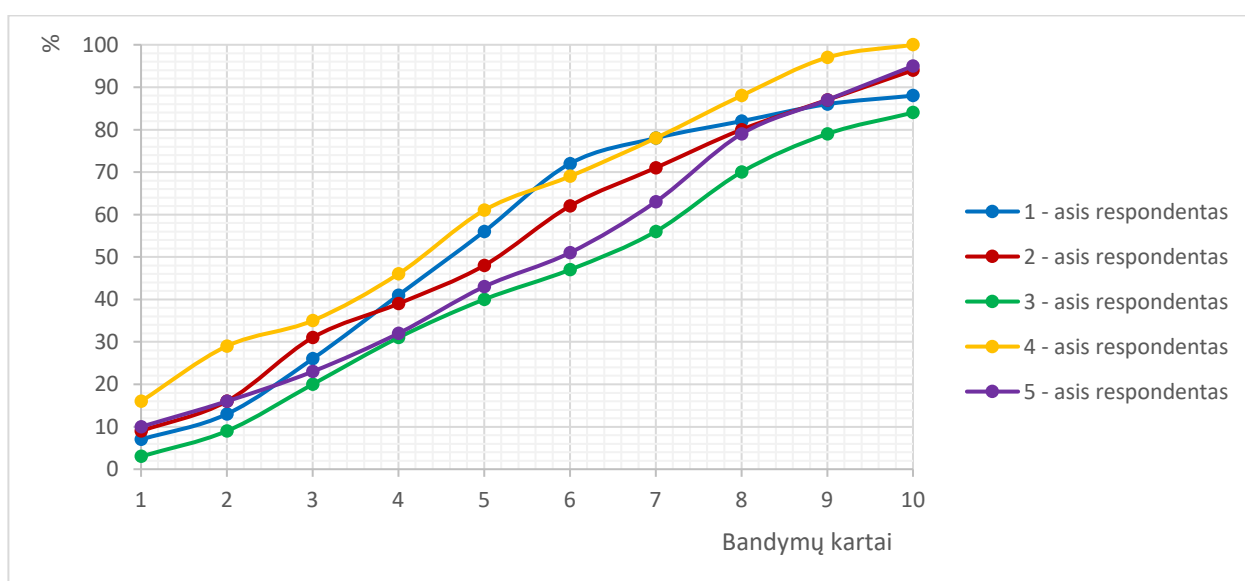
Bandymų kartai	Komanda „Push“, %	Komanda „Left“, %	Komanda „Right“, %	Bendras „skill rating“, %
1	16	15	11	14,0
2	29	27	21	25,7
3	35	34	30	33,0
4	46	48	42	45,3
5	61	62	55	59,3
6	69	70	63	67,3
7	78	81	74	77,7
8	88	87	81	85,3
9	97	92	89	92,7
10	100	96	93	96,3

4-ajam respondentui norint pasiekti 100 % „skill rating“ reikėjo papildomai 1 bandymą komandai „Left“ ir 1 bandymą komandai „Right“. Atlikus šias papildomas treniruotes bendras „skill rating“ procentas pasiekė 100 %.

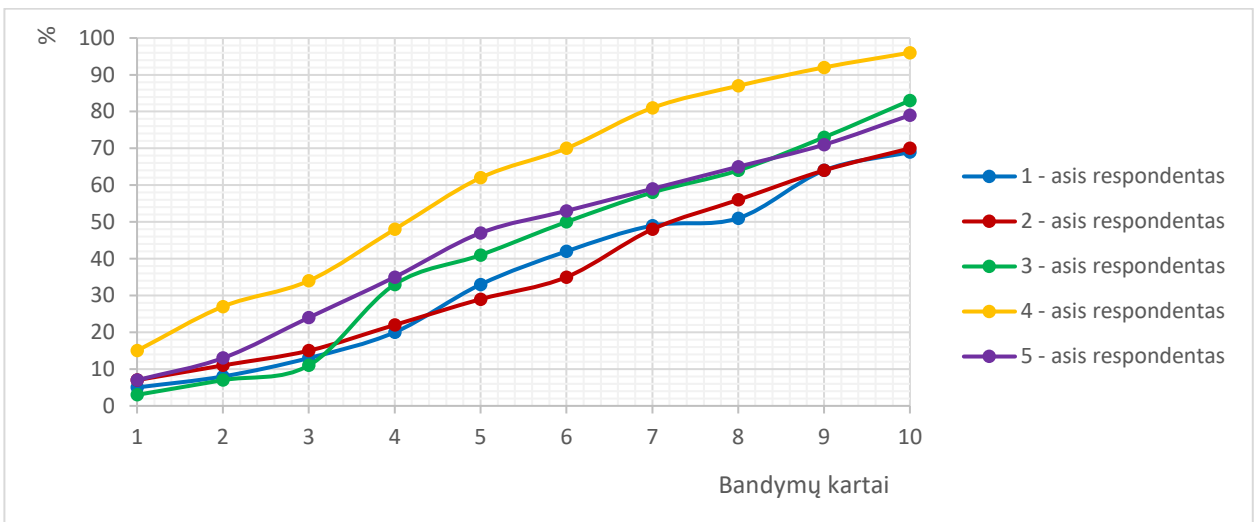
3.6 lentelė. 5-ojo respondento rezultatai

Bandymų kartai	Komanda „Push“, %	Komanda „Left“, %	Komanda „Right“, %	Bendras „skill rating“, %
1	10	7	6	7,7
2	16	13	11	13,3
3	23	24	21	22,7
4	32	35	30	32,3
5	43	47	45	45,0
6	51	53	50	51,3
7	63	59	58	60,0
8	79	65	65	69,7
9	87	71	72	76,7
10	95	79	77	83,7

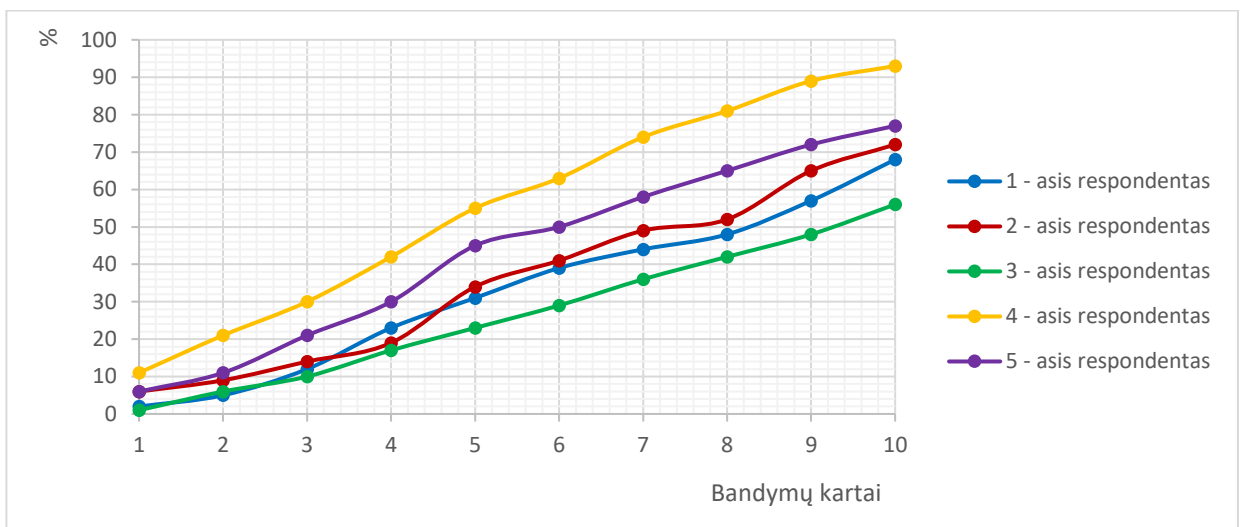
5-ajam respondentui norint pasiekti 100 % „skill rating“ reikėjo papildomai atlikti 1 bandymą komandai „Push“, 2 bandymus komandai „Left“ ir 2 bandymus komandai „Right“. Atlikus šias papildomas treniruotes bendras „skill rating“ procentas pasiekė 100 %.



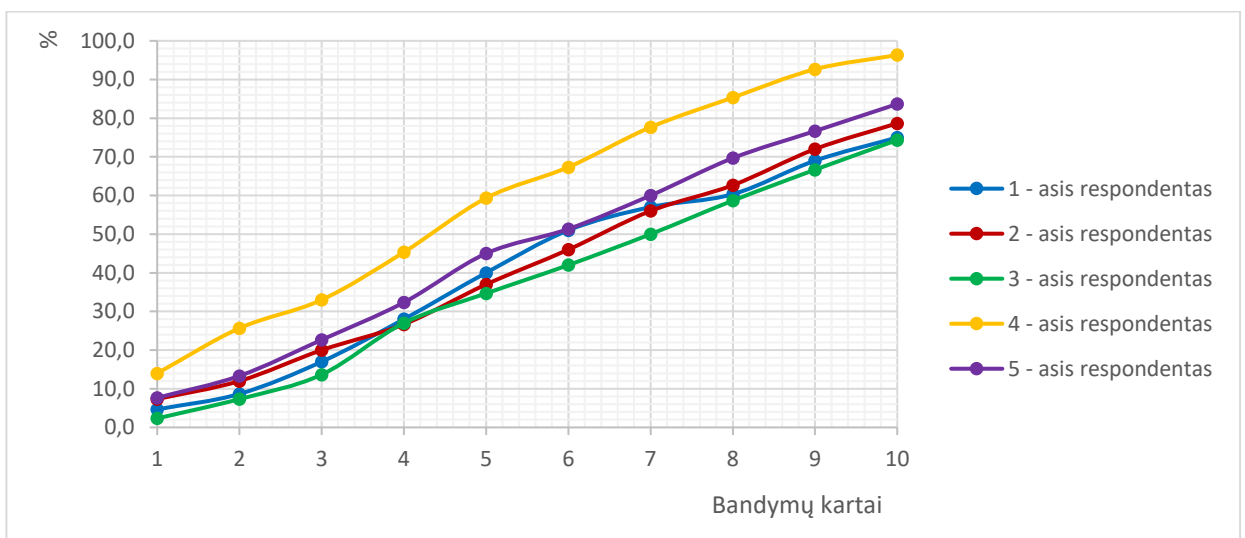
3.1 pav. Komandos „Push“ rezultatų grafikas



3.2 pav. Komandos „Left“ rezultatų grafikas



3.3 pav. Komandos „Right“ rezultatų grafikas



3.4 pav. Bendras „skill rating“ rezultatų grafikas

Iš bendro „skill rating“ rezultato grafiko (3.4. pav.), galima matyti, kad geriausi rezultatai atlikus 10 bandymų yra 4-ojo respondento, kitų respondentų rezultatai yra panašūs. Šis tyrimas parodė, jog esant vienodoms sąlygoms susikaupimo lygis priklauso nuo žmogaus asmeninių savybių ir praktikos dirbant su žmogaus kognityviniais pojūčiais.

3.2. Valdymo signalų tikslumo tyrimas

Tyrimo dalyvaujantys respondentai turės atlikti signalų tikslumo nustatymo užduotį. Šiame tyrimo reikės duoti robotui vieną iš valdymo signalų „važiuoti tiesiai“, „suktis kairėn“, „suktis dešinėn“ ir žymėti įvykusius neatitikimus, kai robotas neatliko jokio judesio arba atliko ne tą veiksmą, kurį buvo sugalvojęs respondentas. Tyrimo metu respondentai turės po 10 bandymų, tarp kiekvieno bandymo atliekama 10 s. pertrauka. Tyrimo tikslas – išsiaiškinti, kaip tiksliai respondentai, pasinaudodami savo kognityviniais pojūčiais, gali valdyti realų objektą.

3.7 lentelė. 1-ojo respondento rezultatai

Bandymų kartai	Respondento komanda	Roboto atliktas veiksmas
1	Suktis kairėn	Sukasi kairėn
2	Suktis dešinėn	Neatliko jokio veiksmo
3	Važiuoti tiesiai	Važiuoja tiesiai
4	Suktis kairėn	Važiuoja tiesiai
5	Suktis kairėn	Sukasi kairėn
6	Važiuoti tiesiai	Važiuoja tiesiai
7	Suktis kairėn	Sukasi kairėn
8	Suktis dešinėn	Sukasi kairėn
9	Važiuoti tiesiai	Važiuoja tiesiai
10	Suktis dešinėn	Sukasi dešinėn
Klaidų skaičius:		3

1-ajam respondentui atlikus 10 bandymų buvo padarytos 3 klaidos, klaidos – netiksliai atliktas roboto veiksmas. Galimos klaidų priežastys – tyrimo dalyvio nesugebėjimas susikoncentruoti naujai komandai arba galvojama apie, EEG signalų skaitytuvui, neatpažįstama komanda.

3.8 lentelė. 2-ojo respondento rezultatai

Bandymų kartai	Respondento	Roboto atliktas
-----------------------	--------------------	------------------------

	komanda	veiksmas
1	Suktis dešinèn	Neatliko jokio veiksmo
2	Suktis dešinèn	Sukasi dešinèn
3	Važiuoti tiesiai	Važiuoja tiesiai
4	Važiuoti tiesiai	Važiuoja tiesiai
5	Suktis kairèn	Sukasi kairèn
6	Suktis kairèn	Sukasi kairèn
7	Suktis kairèn	Sukasi kairèn
8	Suktis dešinèn	Sukasi kairèn
9	Suktis kairèn	Sukasi kairèn
10	Suktis dešinèn	Sukasi dešinèn
Klaidų skaičius:		2

2-ajam respondentui atlikus 10 bandymų buvo padarytos 2 klaidos, klaidos – netiksliai atliktas roboto veiksmas. Galimos klaidų priežastys – tyrimo dalyvio nesugebėjimas susikoncentruoti naujai komandai arba galvojama apie, EEG signalų skaitytuvui, neatpažįstama komandą.

3.9 lentelė. 3-ojo respondento rezultatai

Bandymų kartai	Respondento komanda	Roboto atliktas veiksmas
1	Važiuoti tiesiai	Neatliko jokio veiksmo
2	Važiuoti tiesiai	Važiuoja tiesiai
3	Suktis kairèn	Sukasi kairèn
4	Suktis kairèn	Sukasi kairèn
5	Suktis dešinèn	Sukasi kairèn
6	Suktis dešinèn	Neatliko jokio veiksmo
7	Suktis dešinèn	Sukasi dešinèn
8	Važiuoti tiesiai	Sukasi dešinèn
9	Važiuoti tiesiai	Važiuoja tiesiai
10	Suktis dešinèn	Sukasi dešinèn
Klaidų skaičius:		4

3-ajam respondentui atlikus 10 bandymų buvo padarytos 4 klaidos, klaidos – netiksliai atliktas roboto veiksmas. Galimos klaidų priežastys – tyrimo dalyvio nesugebėjimas susikonzcentruoti naujai komandai arba galvojama apie, EEG signalų skaitytuvui, neatpažįstama komandą.

3.10 lentelė. 4-ojo respondento rezultatai

Bandymų kartai	Respondento komanda	Roboto atliktas veiksmas
1	Suktis dešinèn	Sukasi dešinèn
2	Važiuoti tiesiai	Važiuoja tiesiai
3	Suktis kairèn	Sukasi kairèn
4	Suktis dešinèn	Sukasi dešinèn
5	Važiuoti tiesiai	Važiuoja tiesiai
6	Suktis kairèn	Sukasi kairèn
7	Suktis dešinèn	Sukasi dešinèn
8	Važiuoti tiesiai	Važiuoja tiesiai
9	Suktis kairèn	Sukasi kairèn
10	Suktis dešinèn	Sukasi dešinèn
Klaidų skaičius:		0

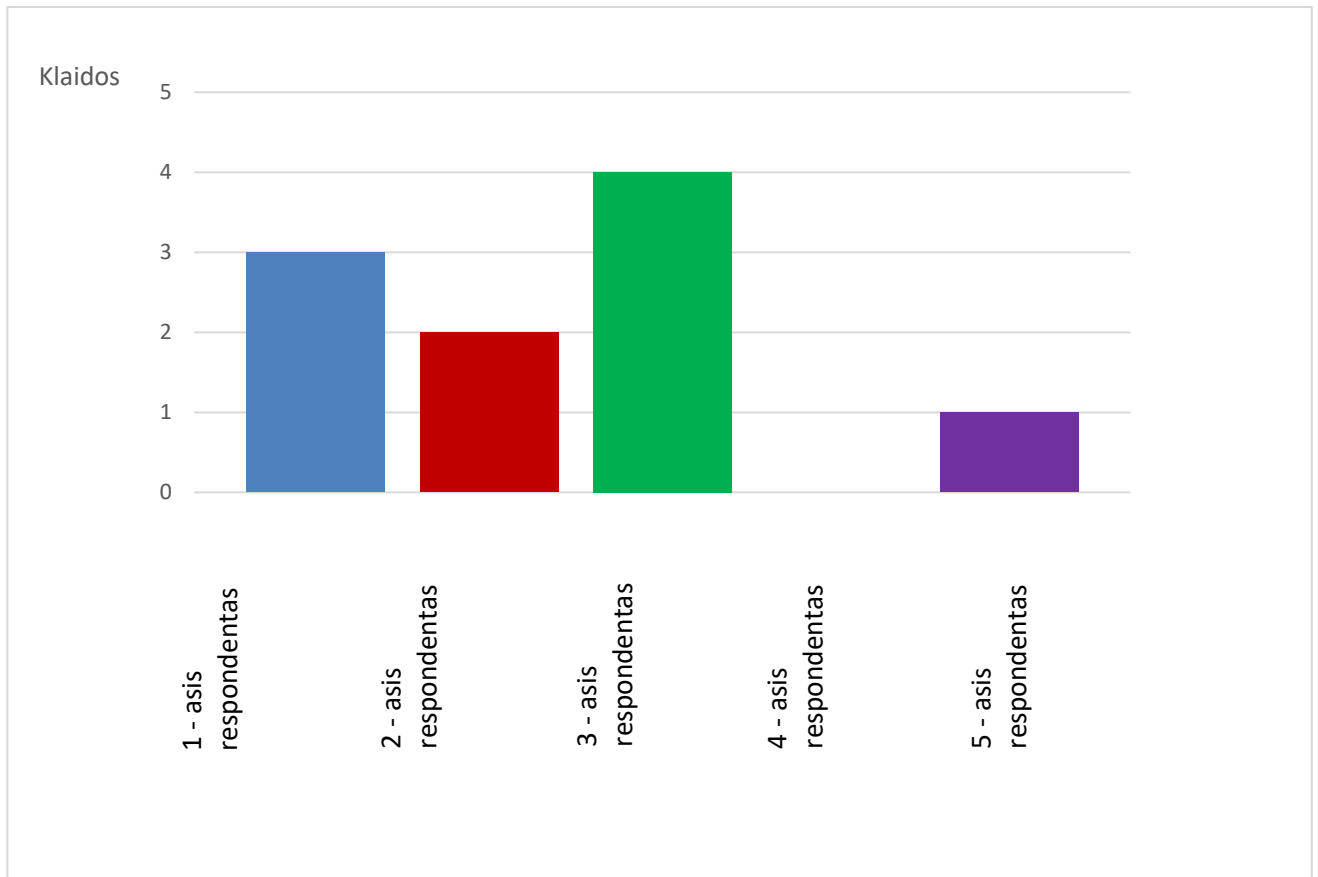
4-ajam respondentui atlikus 10 bandymų klaidų nepadaryta. Tyrimo dalyvis puikiai sugebėjo išlaikyti koncentracija viso tyrimo metu.

3.11 lentelė 5-ojo respondento rezultatai

Bandymų kartai	Respondento komanda	Roboto atliktas veiksmas
1	Važiuoti tiesiai	Važiuoja tiesiai
2	Suktis kairèn	Sukasi kairèn
3	Suktis dešinèn	Sukasi dešinèn
4	Važiuoti tiesiai	Važiuoja tiesiai
5	Suktis kairèn	Sukasi kairèn
6	Suktis dešinèn	Sukasi dešinèn
7	Važiuoti tiesiai	Važiuoja tiesiai
8	Suktis kairèn	Sukasi kairèn
9	Suktis dešinèn	Sukasi dešinèn

10	Važiuoti tiesiai	Sukasi dešinėn
Klaidų skaičius:		1

1-ajam respondentui atlikus 10 bandymų buvo padaryta 1 klaida. Priežastis – nesugebėjimas susikoncentruoti naujai valdymo komandai.



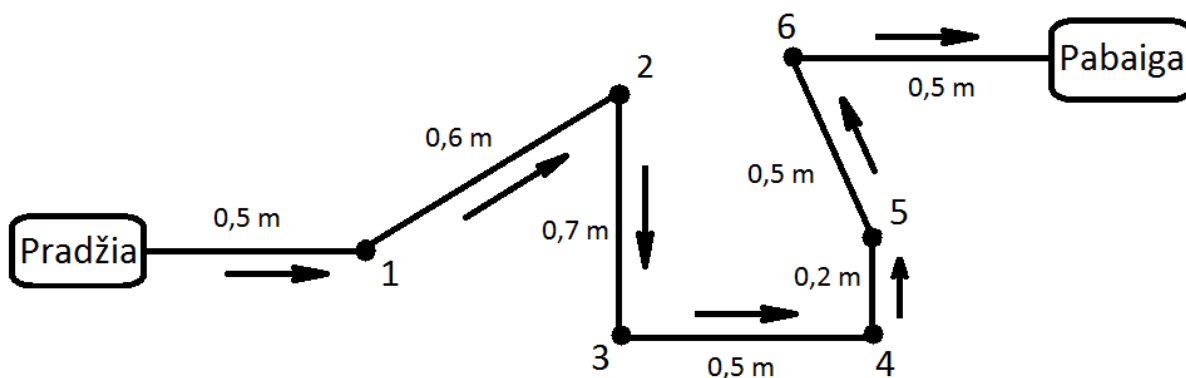
3.5 pav. Tyrimo dalyvių klaidų palyginimo diagrama

Iš tyrimo dalyvių klaidų palyginimo diagramos (3.5 pav.) galima matyti, kad tiksliausiai realų objektą valdo 4-asis respondentas. Šis tyrimo dalyvis nesusidūrė su sunkumais pereinant nuo vieno robotų judesio veiksmo prie kito, kitų tyrimo dalyvių pagrindinės klaidos buvo tos, jog pereinant nuo vieno veiksmo prie kito nesugebėdavo tinkamai susikoncentruoti į naują veiksmą, todėl robotas atlikdavo prieš tai respondento sugalvotą veiksmą arba tyrimo dalyvis galvodavo ne apie vieną iš trijų galimų komandų, todėl robotas neatlikdavo jokio veiksmo.

3.3. Realaus objekto valdymo tyrimas

Respondentai turės atlikti užduotį, kurioje reikės valdyti primityvų dviejų varomųjų ratų robotą nustatytu maršrutu (3.6 pav.). Robotas turi pradėti judėti iš pradžios vietos, nepadaryti klaidų ir pasiekti pabaigos tašką per 60 s. Schemoje rodyklėmis pažymėta robotų judėjimo kryptis, maršrutas

sudarytas iš įvairaus ilgio atkarpų, kai robotas nuvažiuoja nustatytą atkarpos ilgį ir pasiekia posūkio tašką, tada robotas turi pasisukti mažiausiu kampu link kito maršruto taško, taip pravažiuodamas visus schemeje nurodytus 1-6 taškus, robotas turi pasiekti pabaigos sustojimo vietą. Roboto judėjimo metu bus fiksuojami padarytos klaidos ir vertinamas kelionės laikas. Kiekvienas respondentas maršrutą bandys nuvažiuoti po 5 kartus. Tyrimo tikslas – tikslas nustatyti kaip tiksliai žmogus gali valdyti robotą esant papildomoms sąlygomis.



3.6 pav. Roboto maršruto schema

3.12 lentelė. 1-ojo respondento rezultatai

Bandymų kartai	Klaidų skaičius	Laikas, s
1	14	115
2	9	78
3	6	72
4	4	59
5	2	54

Kartojant tą pačią užduotį kelis kartus, 1-ojo respondento rezultatai buvo vis geresni. Klaidų skaičius, atliekant daugiau tramos važiavimų, mažėjo, atitinkamai sumažėjo ir tramos įveikimo laikas.

3.13 lentelė. 2-ojo respondento rezultatai

Bandymų kartai	Klaidų skaičius	Laikas, s
1	14	115
2	9	78
3	6	72
4	4	59

5	2	54
---	---	----

Kartojant tą pačią užduotį kelis kartus, 2-ojo respondento rezultatai buvo vis geresni. Klaidų skaičius, atliekant daugiau trasos važiavimų, mažėjo, atitinkamai sumažėjo ir trasos įveikimo laikas.

3.14 lentelė. 3-ojo respondento rezultatai

Bandymų kartai	Klaidų skaičius	Laikas, s
1	14	121
2	12	89
3	8	71
4	4	63
5	4	55

Kartojant tą pačią užduotį kelis kartus, 3-ojo respondento rezultatai buvo vis geresni. Klaidų skaičius, atliekant daugiau trasos važiavimų, mažėjo, atitinkamai sumažėjo ir trasos įveikimo laikas.

3.15 lentelė. 4-ojo respondento rezultatai

Bandymų kartai	Klaidų skaičius	Laikas, s
1	8	75
2	4	53
3	1	45
4	0	42
5	0	41

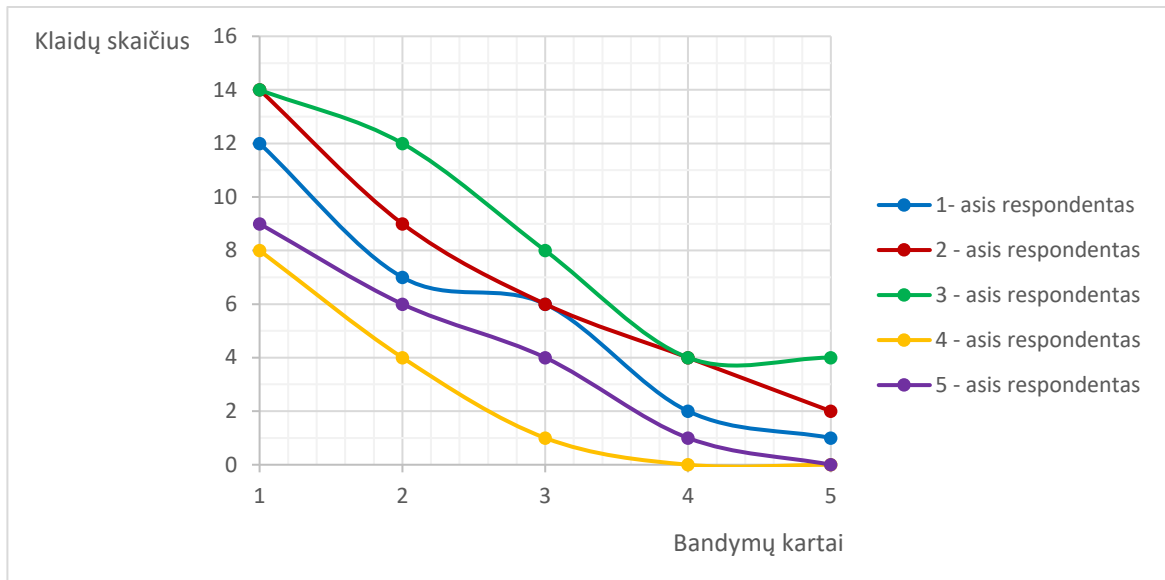
Kartojant tą pačią užduotį kelis kartus, 4-ojo respondento rezultatai buvo vis geresni. Klaidų skaičius, atliekant daugiau trasos važiavimų, mažėjo, atitinkamai sumažėjo ir trasos įveikimo laikas.

3.16 lentelė. 5-ojo respondento rezultatai

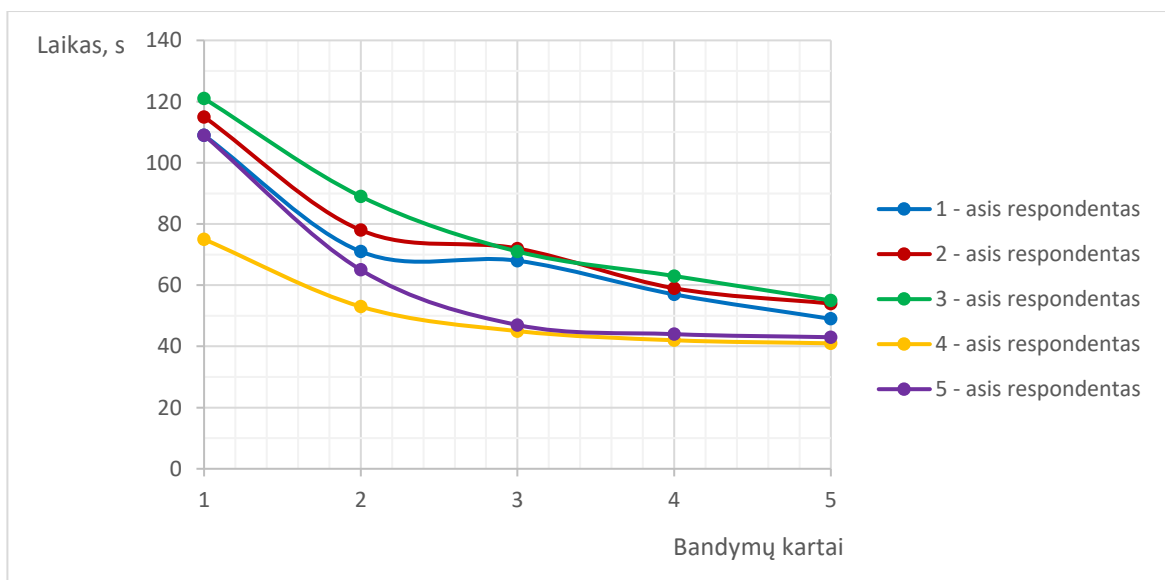
Bandymų kartai	Klaidų skaičius	Laikas, s
1	9	109
2	6	65
3	4	47

4	1	44
5	0	43

Kartojant tą pačią užduotį kelis kartus, 5-ojo respondento rezultatai buvo vis geresni. Klaidų skaičius, atliekant daugiau tramos važiavimų, mažėjo, atitinkamai sumažėjo ir tramos įveikimo laikas.



3.7 pav. Klaidų palyginimo diagrama



3.8 pav. Užduoties atlikimo laiko diagrama

Šio tyrimo metu pastebėta, jog tyrimo dalyviai gavę papildomų sąlygą, nesugebėdavo tinkamai susikoncentruoti į užduoties tikslą, laiko apribojimas respondentus priverstė prarasti koncentraciją,

todėl vykdant užduotį atsirado sąlyginai didelis klaidų skaičius. Po keletos bandymų tyrimo dalyviai sugebėjo sumažinti klaidų skaičių ir įveikti trasą per jiems skirtą laiką.

Gauti tyrimų rezultatai gali padėti lengviau nustatyti kokio pasiruošimo reikia norint pradėti naudotis robotizuotomis sistemos paremtomis EEG signalais. Sistemos naudotojas, kurio veikla labiau susijusi su smegenų aktyvumu, gali lengviau perprasti sistemos valdymo principus, geba lengviau susikoncentruoti į pateiktą užduotį, todėl atlieka mažiau klaidų ir tiksliau valdo sistemą, taip pat jam reikia mažiau laiko norint sukurti valdymo signalų šablonus.

IŠVADOS

1. Žmogaus kūno skleidžiamų elektromagnetinių impulsų šaltiniu buvo pasirinkti smegenų generuojami EEG signalai. Šių signalų panaudojimo sritis yra platesnė, nei EMG signalų.
2. Susipažinta su esamomis sistemomis, kurių valdymas yra paremtas EEG signalais. Apžvelgtos sritys, kuriose gali būti pritaikytas valdymas EEG signalais, plačiausios pritaikymo galimybės – robotikoje ir medicinoje.
3. Bandymams sukonstruotas primityvus valdomas objektas – dviejų varomųjų ratų robotas.
4. Atliktas valdymo sistemos tyrimas, kuris susideda iš 3 dalių, parodė, kad sistemos tikslumas ir patikimumas labiausiai priklauso nuo žmogaus kognityvinių gebėjimų. Šiuos gebėjimus galima treniruoti naudojant išoriniams dirgiklius, taip užtikrinant sistemos veikimą pasikeitusioms išorės sąlygoms.
5. Nustatyta, jog sistemos naudotojai kurių veikla susijusi su smegenų aktyvumu, gali greičiau sukurti, valdymui tinkamus, EEG signalų šablonus.
6. Pasiektas magistrinio tiriamojo darbo tikslas – sukurta valdymo koncepcija paremta EEG signalais.

LITERATŪRA

1. Baršauskienė V., Mačerinskienė I. Studijų darbų parengimo tvarka : mokomoji knyga. Kaunas : Technologija, 2010.- 105 p
2. Electric Fields of the Brain: The Neurophysics of EEG. Oxford: Oxford University Press. 1981.- 484 p.
3. g.tec product catalogue. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-02-14]:
<http://www.gtec.at/Download/Product-Brochures/g.tec-Product-Catalogue-2016>
4. Įrangos naudotojo vadovas. EPOC User manual. EmotivLtd. 2013.- 46 p.
5. Yury Magda. Real-Time Applications using MSP432P401R LaunchPad and Raspberry Pi, Kindle Edition, 2015
6. Jaakko Malmivuo, Robert Plonsey. Bioelectromagnetism. Oxford: Oxford University Press. 1995.- 471 p.
7. Konferencijos pranešimas. Muhammad N. Fakhruzzaman, Edwin Riksakomara , Hatma Suryotrisongko. EEG Wave Identification in Human Brain with Emotiv EPOC for Motor Imagery. The Third Information Systems International Conference. Surabaya. 2015.- 7 p.
8. Publikacija. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-03-08]:
http://crl.med.harvard.edu/publications/Taimouri_Electrodelocalizationforplanningsurgicalresectionoftheepileptogeniczoneinpediatricpilepsy.pdf
9. Publikacija. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-03-12]:
<http://jmscr.igmpublication.org/v3-i8/28%20jmscr.pdf>
10. Saeid Sanei, Jonathon A. Chambers. EEG Signal Processing. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd. 2007.- 312 p.
11. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-03-13]:
<https://www.quora.com/Is-there-a-way-to-measure-your-neuromuscular-activity-from-weightlifting>
12. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-03-24]:
<https://www.computer.org/csdl/mags/co/2012/07/mco2012070087-abs.html>
13. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-03-24]:
https://lt.wikipedia.org/wiki/Smegenys#/media/File:C5%A0oninis_smegen%C5%B3_vaizdas.jpg
14. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-03-24]:
<https://www.slideshare.net/udaysaikia/brain-computer-interfaces-by-uday-mc-gill>
15. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-03-24]:

<https://www.technologyreview.com/s/420756/wheelchair-makes-the-most-of-brain-control/>

16. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-04-01]:
<http://newatlas.com/honda-asimo-brain-machine-interface-mind-control/11379/>
17. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-04-01]:
http://www.respublika.lt/lt/naujienos/mokslas/sveikata/lietuviui_pritaikyta_bionine_ranka/
18. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-04-01]:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:21_electrodes_of_International_10-20_system_for_EEG.svg
19. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-04-01]:
<http://www.gtec.at/Products/Electrodes-and-Sensors/g.GAMMAsys-Specs-Features>
20. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-04-01]:
<http://www.gtec.at/Products/Hardware-and-Accessories/g.Nautilus-Specs-Features>
21. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-04-01]:
<http://www.gtec.at/Products/Electrodes-and-Sensors/g.SAHARA-Specs-Features>
22. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-04-01]:
<https://www.emotiv.com/product/emotiv-insight-5-channel-mobile-eeeg/>
23. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-04-01]:
<https://www.emotiv.com/epoc/>
24. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-04-01]:
https://www.researchgate.net/figure/284031383_fig1_Fig-1-The-Emotiv-EPOC-and-the-electrodes-location
25. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-04-02]:
<https://www.ti.com/ww/en/launchpad/launchpads-msp430-msp-exp432p401r.html>
26. Nuotrauka. Autorius: Stasys Čivilis.
27. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-04-02]:
<http://www.planetarduino.org/?cat=550>
28. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-04-02]:
<http://www.communica.co.za/catalog/Details/P0823088140>
29. Paveikslas. Prieiga per internetą [žiūrėta: 2017-04-02]:
<http://www.dx.com/p/diy-2wd-smart-robot-car-chassis-kit-for-arduino-black-yellow-407666>