



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Rūtenis Turčinas

TEKSTO ĮVEDIMO NEURONINĖS KOMPIUTERIO SAŠAJOS
TYRIMAS

Magistro darbas

Vadovas
Prof. Robertas Damaševičius

KAUNAS, 2014



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Rūtenis Turčinas

TEKSTO ĮVEDIMO NEURONINĖS KOMPIUTERIO SAŠAJOS
TYRIMAS

Magistro darbas

Vadovas
Prof. R. Damaševičius

(data, parašas)

Recenzentas
doc. dr. T. Blažauskas

(data, parašas)

Studentas
R. Turčinas

(data, parašas)

KAUNAS, 2014

AUTENTIŠKUMO PATVIRTINIMAS

Rašant šį darbą:

1. Pateikiama medžiaga nėra plagijuojama bei nepažeidžia trečiųjų asmenų autorių teisių.
2. Jei darbe naudojama kitų autorių medžiaga, tai aiškiai deklaruojama, pateikiant nuorodas į literatūros sąrašą.
3. Literatūros sąraše nėra pateikiami šaltiniai, kurie nebuvo cituoti magistrinio darbo tekste.

SANTRAUKA

Neuroninė kompiuterio sąsaja – sistema, kurios valdymas paremtas ne tradiciniais būdais (nenaudojant rankų). Tokio pobūdžio sistemos suteikia galimybę skaitmeninius įrenginius valdyti naudojant nervinius signalus. Viena pagrindinių taikymo sričių: įvairių įrenginių valdymo pritaikymas neįgaliems žmonėms. Tai ne tik neįgaliesiems skirtų prietaisų, bet ir kompiuterių ar kitos aparatinės įrangos valdymas.

Šiame darbe nagrinėjama neuroninė kompiuterio sąsaja, skirta teksto rašymui. Pateikiama sukurta sistema, kuri suteikia galimybę žmogui rašyti tekstą nenaudojant rankų. Sistema yra aktuali žmonėms, turintiems ribotas bendravimo galimybes. Ji suteikia galimybę bendrauti su aplinkiniais naudojant vien tik kaktos EMG signalus.

Pateikiami išsamūs eksperimentai, atlikti dėl sistemos efektyvumo didinimo. Taip pat apibendrinti rezultatai bei išvados.

SUMMARY

Neural computer interface is a system which provides the control based on non-traditional methods (e.g. physiological signals). Such systems give opportunity to control various digital devices using neural signals. One of the main areas of application is people with disabilities. The system with additional hardware (OCZ NIA) makes usual PC suitable for text input without hands.

In this work we analyze neural computer interface for the text spelling. The system which gives opportunity to write text without using hands is presented. It is very relevant system for people who has limited communication possibilities. It gives opportunity to communicate with other people by using forehead muscle EMG signals. The experiments were performed using developed system. The results showed that system features like dictionary selection and adaptive stimulus rate can increase the effectiveness of the system and decrease the text input time.

TURINYS

Paveikslėlių sąrašas	9
Lentelių sąrašas	11
TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNAS	12
1. Įvadas.....	13
1.1. Dokumento paskirtis.....	13
1.2. Darbo tikslas	14
1.3. Mokslinis naujumas	14
1.4. Uždaviniai	14
2. Neuroninės kompiuterio sąsajos analizė	14
2.1. Įėjimo signalai.....	14
2.1.1. <i>Elektroencefalograma</i>	<i>15</i>
2.1.2. <i>Elektromiograma</i>	<i>15</i>
2.2. Neuroninės kompiuterio sąsajos sistemu tipai.....	15
2.2.1. <i>Smegenų – kompiuterio sąsaja.....</i>	<i>16</i>
2.2.2. <i>Sistemos, naudojančios EMG.....</i>	<i>17</i>
2.3. Taikomi metodai.....	18
2.3.1. <i>Duomenų apdorojimui.....</i>	<i>18</i>
2.3.2. <i>Duomenų klasifikavimui</i>	<i>19</i>
2.4. Egzistuojančios sistemos	22
2.4.1. <i>BCI2000</i>	<i>22</i>
2.4.2. <i>OpenViBE.....</i>	<i>22</i>
2.4.3. <i>BCILAB</i>	<i>22</i>
2.4.4. <i>BCI++.....</i>	<i>22</i>
2.4.5. <i>xBCI.....</i>	<i>22</i>

2.5.	Egzistuojančių sistemų palyginimas	22
2.6.	Analizės išvados	23
3.	Teksto įvedimo sistemos projektinė dalis.....	24
3.1.	Sistemos paskirtis.....	24
3.2.	Sistemos panaudos atvejų diagrama	24
3.3.	Funkciniai reikalavimai	25
3.4.	Nefunkciniai reikalavimai.....	25
3.4.1.	<i>Reikalavimai sistemos išvaizdai.....</i>	<i>25</i>
3.4.2.	<i>Reikalavimai panaudojamumui (angl. Usability).....</i>	<i>26</i>
3.4.3.	<i>Reikalavimai vykdymo charakteristikoms (angl. Performance).....</i>	<i>26</i>
3.4.4.	<i>Reikalavimai veikimo sąlygoms (angl. Operational).....</i>	<i>26</i>
3.4.5.	<i>Saugumas</i>	<i>26</i>
3.5.	Sistemos architektūros modelis.....	27
3.5.1.	<i>BCI modulis.....</i>	<i>28</i>
3.5.2.	<i>ReaderAPI modulis</i>	<i>28</i>
3.5.3.	<i>MainReader modulis</i>	<i>29</i>
3.5.4.	<i>NiaReader modulis.....</i>	<i>29</i>
3.5.5.	<i>ControllerAPI modulis</i>	<i>31</i>
3.5.6.	<i>MainController modulis</i>	<i>31</i>
3.5.7.	<i>SpellingSquare modulis.....</i>	<i>32</i>
3.6.	Naudojami trečiųjų šalių komponentai	34
3.7.	Naudojama aparatūrinė įranga	34
4.	Teksto įvedimo sistemos tyrimai.....	35
4.1.	Valdymas naudojant paviršinį EMG signalą.....	35
4.2.	Projektinės sistemos valdymo principai.....	35
4.3.	Esami valdymo trūkumai.....	37

4.3.1.	<i>Kalibravimas</i>	37
4.3.2.	<i>Triukšmai</i>	38
4.3.3.	<i>Ilgalaikiai nominalios signalo amplitudės pokyčiai</i>	38
5.	Teksto įvedimo sistemos eksperimentinė dalis	40
5.1.	Eksperimento tikslai	40
5.2.	Pasiruošimas eksperimentams	41
5.2.1.	<i>Rašymo greitis</i>	41
5.2.2.	<i>Rašymo efektyvumas</i>	43
5.2.3.	<i>Rašymo kokybė</i>	45
5.2.4.	<i>Priimtinumumas vartotojui</i>	46
5.3.	Eksperimentų metodika	46
5.4.	Tekstų rinkimo eksperimentai	47
5.4.1.	<i>Eksperimentų pradžia</i>	47
5.4.2.	<i>Eksperimentų eiga</i>	48
5.4.3.	<i>Eksperimentų rezultatai</i>	48
5.4.4.	<i>Apibendrinti eksperimentų rezultatai</i>	55
6.	Išvados	58
7.	Literatūra	59
8.	Priedai	61
8.1.	Parengti straipsniai	61
8.1.1.	<i>EMG Speller with Addaptive Stimulus Rate and Dictionary Support</i>	61
8.1.2.	<i>Development of EMG-Based Speller</i>	73

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

1 pav.	Smegenų – kompiuterio sąsajos bazinis modelis	16
2 pav.	Neuroninės kompiuterio sąsajos, naudojančios EMG, schema	18
3 pav.	Vienasluoksnis perceptronas	19
4 pav.	Tiesioginio sklidimo neuroninis tinklas.....	20
5 pav.	Tiesinio klasifikavimo sprendimo plokštumos.....	21
6 pav.	Netiesinio klasifikavimo plokštumos	21
7 pav.	Sistemos panaudos atvejų diagrama	24
8 pav.	Sistemos architektūros diagrama	27
9 pav.	ReaderAPI klasių diagrama	28
10 pav.	MainReader modulio klasių diagrama	29
11 pav.	NiaReader modulio klasių diagrama	30
12 pav.	ControllerAPI klasių diagrama	31
13 pav.	MainController modulio klasių diagrama	32
14 pav.	SpellingSquare modulio klasių diagrama	33
15 pav.	„OCZ NIA“ duomenų nuskaitymo įrenginys [7].....	34
16 pav.	Signalų lygio dalinimas į intervalus	35
17 pav.	Nuskaityto signalo bei ribinių reikšmių grafinis atvaizdavimas	37
18 pav.	Ribinių amplitudės reikšmių reguliavimo slinkties juostos	37
19 pav.	Signalų pavyzdžiai esant ryškiam trikdžių poveikiui.....	38
20 pav.	Signalas pradėtas naudoti sistemą.....	39
21 pav.	Signalas baigiant naudoti sistemą.....	40
22 pav.	SpellingSquare simbolių lentelė su aktyviu stulpeliu	41
23 pav.	SpellingSquare simbolių lentelė su aktyviu simboliu	42
24 pav.	Greitėjimo/lėtėjimo algoritmo nustatymai	43
25 pav.	SpellingSquare langas su žodynu	44
26 pav.	Žodyno nustatymų parametrai	45
27 pav.	„OCZ NIA“ įrenginys paruoštas eksperimentui	48
28 pav.	Tiriamąjį nr. 1 greičio kitimo grafikas (etapas nr. 2, pastraipa nr. 1)	50
29 pav.	Tiriamąjį nr. 2 greičio kitimo grafikas (etapas nr. 2, pastraipa nr. 1)	51
30 pav.	Tiriamąjį nr. 3 greičio kitimo grafikas (etapas nr. 2, pastraipa nr. 1)	52
31 pav.	Tiriamąjį nr. 4 greičio kitimo grafikas (etapas nr. 2, pastraipa nr. 1)	53

32 pav.	Tiriamąjo nr. 5 greičio kitimo grafikas (etapas nr. 2, pastraipa nr. 1).....	55
33 pav.	Tiksrumo kriterijaus vidutinių reikšmių grafikas.....	56
34 pav.	Laiko kriterijaus vidutinių reikšmių grafikas	57
35 pav.	Rašymo greičio kriterijaus vidutinių reikšmių grafikas	58

LENTELIŲ SARAŠAS

1 lentelė.	Sistemų palyginimas.....	23
2 lentelė.	Duomenų nuskaitymo modulio paketo aprašymas.....	28
3 lentelė.	NiaReader modulio aprašymas.....	30
4 lentelė.	SpellingSquare modulio aprašymas.....	33
5 lentelė.	Eksperimentuose dalyvavę asmenys.....	47
6 lentelė.	Tiriamasis nr. 1. Pastraipa nr. 1.....	49
7 lentelė.	Tiriamasis nr. 1. Pastraipa nr. 2.....	49
8 lentelė.	Tiriamasis nr. 1. Pastraipa nr. 3.....	49
9 lentelė.	Tiriamasis nr. 2. Pastraipa nr. 1.....	50
10 lentelė.	Tiriamasis nr. 2. Pastraipa nr. 2.....	50
11 lentelė.	Tiriamasis nr. 2. Pastraipa nr. 3.....	50
12 lentelė.	Tiriamasis nr. 3. Pastraipa nr. 1.....	51
13 lentelė.	Tiriamasis nr. 3. Pastraipa nr. 2.....	51
14 lentelė.	Tiriamasis nr. 3. Pastraipa nr. 3.....	52
15 lentelė.	Tiriamasis nr. 4. Pastraipa nr. 1.....	52
16 lentelė.	Tiriamasis nr. 4. Pastraipa nr. 2.....	53
17 lentelė.	Tiriamasis nr. 4. Pastraipa nr. 3.....	53
18 lentelė.	Tiriamasis nr. 5. Pastraipa nr. 1.....	54
19 lentelė.	Tiriamasis nr. 5. Pastraipa nr. 2.....	54
20 lentelė.	Tiriamasis nr. 5. Pastraipa nr. 3.....	54
21 lentelė.	Eksperimentų tikslumo kriterijus.....	55
22 lentelė.	Eksperimentų laiko kriterijus	56
23 lentelė.	Eksperimentų rašymo greičio kriterijus	58

TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNAS

1. EEG – elektroencefalograma, tai elektrinio smegenų aktyvumo užrašymas, naudojant paviršiaus elektrodus, juos tvirtinant prie galvos odos.
2. EMG – elektromiograma, tai susitraukiančių raumenų biopotencialų registravimas.
3. EOG – elektrookulograma, tai akių judesių generuojamų signalų registravimas.
4. ECG – elektrokardiograma, tai širdies ląstelių sukurto suminio elektros lauko potencialo kitimo kreivės registravimas.
5. MV – motorinis vienetas, kurį sudaro vieno nugaros smegenų priekinių ragų ar kamieno branduolių alfa motoneurono inervuojama raumenų skaidulų grupė.
6. MVVP – motorinio vieneto veikimo potencialas
7. NCI – neuroninė kompiuterio sąsaja (angl. Neuro Computer Interface)
8. Neuroninė kompiuterio sąsaja – komunikavimo sistema, suteikianti galimybę valdyti kompiuterį ar kitą įrenginį naudojant nervinės kilmės fiziologinius signalus.
9. BCI – smegenų – kompiuterio sąsaja (angl. Brain – Computer Interface)
10. Smegenų – kompiuterio sąsaja – komunikavimo sistema, suteikianti galimybę valdyti kompiuterį ar kitą įrenginį naudojant žmogaus mentalines būsenas.
11. USB – universalioji jungtis, kuri naudojama kompiuteriuose. Per šią jungtį galima prijungti įvairius išorinius įrenginius (ang. Universal Serial Bus).

1. ĮVADAS

Šiandieniniame pasaulyje kompiuterinė technika vis plačiau naudojama kiekvieno žmogaus gyvenime. Tobulėjant technologijoms - sparčiai daugėja skirtingo pobūdžio prietaisų: mobilieji, diagnostiniai įrenginiai, robotai, pagalbinais įtaisai neįgaliesiems ir pan. Kartu plečiamas ir jų taikymo sričių bei naudojimo būdų spektras. Pastaruoju metu didelis dėmesys skiriamas alternatyviems valdymo būdams. Vienas iš jų: neuroninė kompiuterio sąsaja. Šiuo principu valdymas vyksta naudojant žmogaus generuojamus elektrinius impulsus (EEG, EMG, EOG, ECG), kurie apdorojami ir analizuojami kompiuteryje suteikia galimybę valdyti. Tobulėjant technologijoms atsiranda naujų žmogaus fiziologinių signalų skaitytuvų ir jų kaina sparčiai mažėja. Dėl to neuroninė kompiuterio sąsaja tampa vis aktualesne šiandieniniame technologijų pasaulyje .

Pagrindinė taikymo sritis: palengvinti neįgalių žmonių kasdienybę. Tam skirti specialūs išmanieji vežimėliai neįgaliesiems [5, 6], valdomi protezai [9], balsu valdomi prietaisai [10]. Nemažiau svarbu yra mažinti neįgaliųjų socialinę atskirtį, suteikiant galimybę jiems pilnavertiškai valdyti bei naudotis skaitmeniniais įrenginiais. Siekiant šio tikslo yra kuriami įvairūs prietaisai: virtuali klaviatūra [24], multimedijos įrenginių valdymo priemonės [11]. Taip pat neuroninė kompiuterio sąsaja gali būti taikoma kompiuteriniuose žaidimuose bei robotų valdymui [3, 8].

Šiame darbe pateikiama teksto įvedimo neuroninė kompiuterio sąsaja. Tai sistema, leidžianti žmogui įvedinėti tekstą į kompiuterį nenaudojant rankų. Rašomas tekstas aiškiai pateikiamas kompiuterio ekrane, tad tokiu būdu neįgaliesiems yra suteikiama galimybė bendrauti su aplinkiniais žmonėmis. Teksto įvedimui naudojami veido raumenų įtempimai (mimika). Raumenų signalų nuskaitymui sistema naudoja žmogaus veido raumenų elektromiogramos (EMG) skaitytuvą „OCZ NIA“ [5]. Naudojant šią sistemą atlikti tyrimai, kurių tikslas – ištirti teksto įvedimą naudojant neuro sąsajos sistemą bei rašymo greitinimo galimybes.

1.1. Dokumento paskirtis

Šiame dokumente yra apžvelgiama neuroninė kompiuterio sąsaja. Detaliau pristatomi jos veikimo ir taikymo principai. Taip pat pateikiama atlikta egzistuojančių sistemų analizė, nagrinėjami jų privalumai ir trūkumai bei naujų sistemų poreikis.

3 skyriuje pateikiamas sukurtos sistemos projektas. Tai teksto įvedimo neuroninė kompiuterio sąsaja, su kuria atlikti tyrimai, nagrinėjantys teksto įvedimo efektyvumą. Dokumente pateikiama detali tyrimų informacija, gauti rezultatai bei išvados.

1.2. Darbo tikslas

Ištirti teksto įvedimo neuroninę kompiuterio sąsają. Teksto įvedimo tyrimo aspektai:

- Efektyvumas;
- Klaidų skaičius;
- Greitis;
- Priimtinumai vartotojui.

Tyrimai atliekami taikant paviršinio EMG signalo lygio metodą.

1.3. Mokslinis naujumas

1. Pasiūlytas ir aprašytas teksto įvedimo valdymas, naudojant dvi komandas, per paviršinio EMG signalo lygį metodas;
2. Suprojektuota ir sukurta neuroninės kompiuterio sąsajos sistema;
3. Realizuoti tekstų įvedimo greitinimo ir efektyvumo didinimo algoritmai;
4. Atlikti teksto įvedimo tyrimai.

1.4. Uždaviniai

1. Išanalizuoti esamas neuroninės kompiuterio sąsajos sistemas;
2. Išanalizuoti naudojamus neuroninės kompiuterio sąsajos metodus;
3. Suprojektuoti ir sukurti teksto įveimo neuroninės kompiuterio sąsajos sistemą;
4. Atlikti tekstų rašymo efektyvumo didinimo eksperimentus su skirtingais žmonėmis;
5. Formuluoti teksto rašymo efektyvumo didinimo išvadas, remiantis atliktų eksperimentų rezultatais.

2. NEURONINĖS KOMPIUTERIO SĄSAJOS ANALIZĖ

2.1. Įėjimo signalai

Neuroninės kompiuterio sąsajos veikimo principas yra paremtas įvairiais žmogaus fiziologiniais signalais. Smegenų – kompiuterio sąsajoje yra naudojama elektroencefalograma kaip įėjimo signalas. Neuroninėje kompiuterio sąsajoje gali būti naudojami įvairūs įėjimo signalai:

- Elektroencefalograma – smegenų generuojami signalai;
- Elektrokardiograma – širdies generuojamas signalas;
- Elektrokulograma – akių judesių generuojami signalai;
- Elektromiograma – raumenų susitraukimų generuojami signalai.

Tolimesniuose analizės žingsniuose bus skiriamas didesnis dėmesys elektroencefalogramai ir elektromiogramai, dėl šių sričių tinkamumo išsikeltų uždavinių sprendimui.

2.1.1. Elektroencefalograma

Elektroencefalograma (EEG) – smegenų žievės neuronų sinapsinių potencialų atspindis [15]. Signalus generuoja galvos smegenų žievės piramidinių ląstelių slopinantys ir dirginantys postsinapsiniai potencialai. Šie potencialai sumuojasi žievėje ir, plisdami į galvos (skalpo) paviršių, registruojami kaip elektroencefalografinė kreivė [14].

Pagrindiniai EEG dažniai:

- Alfa bangos – dažnis 8-13 Hz, amplitudė – 20-60 μV ;
- Beta bangos – dažnis > 13 Hz, vidutiniškai 18-30 Hz, amplitudė < 20 μV ;
- Teta bangos – dažnis 4-7 Hz, amplitudė < 30 μV ;
- Delta bangos – dažnis 1-3 Hz, amplitudė 75-150 μV ;
- Lambda bangos – dažnis 4-6 Hz, amplitudė 20-50 μV .

Sistemose, paremtose EEG signalų analize, efektyvumas priklauso nuo subjekto generuojamų mentalinių būsenų.

2.1.2. Elektromiograma

Elektromiograma (EMG) – elektrinis raumenų aktyvumas [15]. Raumuo susitraukia, pamažu įsijungiant jo anatominėms funkcinėms grupėms – motoriniams vienetams (MV). MV sudaro vieno nugaros smegenų priekinių ragų ar kamieno branduolių alfa motoneurono inervuojama raumenų skaidulų grupė. Atliekant EMG registruojami suminiai šios skaidulų grupės veikimo potencialai – motorinio vieneto veikimo potencialai (MVVP) [14].

Elektromiogramos signalo dažnis gali svyruoti: 1-2000 Hz, amplitudė: nuo < 50 μV iki 30 mV.

Elektromiogramos signalas yra bene geriausiai suprantamas, jį galima efektyviai analizuoti ir sėkmingai naudoti neuroninės sąsajos sistemose.

2.2. Neuroninės kompiuterio sąsajos sistemų tipai

Egzistuoja daug įvairaus pobūdžio neuroninės kompiuterio sąsajos sistemų:

- Smegenų – kompiuterio sąsaja;
- Sistemos, naudojančios EMG;
- Biokibernetinės, adaptyviosios sistemos;

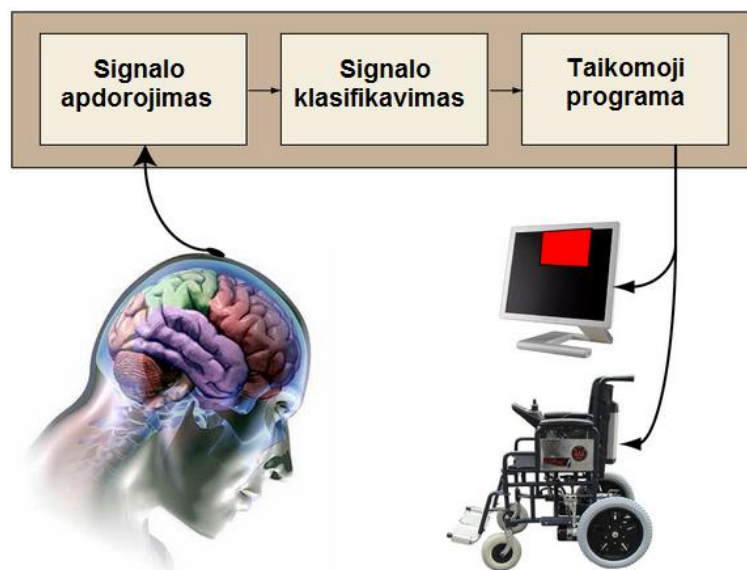
- Akimis valdomos sistemos.

Tolimesniuose analizės žingsniuose bus skiriamas didesnis dėmesys smegenų – kompiuterio bei naudojančioms EMG signalus sistemoms, dėl šių sričių tinkamumo išsikeltų uždavinių sprendimui.

2.2.1. Smegenų – kompiuterio sąsaja

Smegenų – kompiuterio sąsaja – tai komunikavimo sistema, kuri smegenų generuojamas bangas verčia į kompiuterio ar kito skaitmeninio įrenginio komandas [21]. Elektroencefalograma (EEG) yra smegenų generuojamos bangos.

Yra įvairių įrenginių, skirtų nuskaityti EEG signalą. Dalis iš jų yra moksliniai, dalis – plataus vartojimo įrenginiai. EEG signalas, nuskaitytas mokslinio pobūdžio įrenginiais, pasižymi duomenų tikslumu ir pilnumu (nuskaityti visi arba dauguma EEG signalo kanalų). Tokių įrenginių naudojimui skirta „kepurė“, kurią užsidėjus galvą liečia keletas elektrodų. Kartais yra reikalinga speciali želė kontaktų gerinimui. Tačiau vienas didesnių tokio pobūdžio įrenginių trūkumas - jų kaina. Plataus vartojimo įrenginiai yra paprastesni ir patogesni, tačiau nuskaityti EEG duomenys yra prastesni lyginant su mokslinės paskirties įrenginių nuskaitytais duomenimis.



1 pav. Smegenų – kompiuterio sąsajos bazinis modelis

Bazinis smegenų – kompiuterio sąsajos modelis yra pateiktas 1 pav. Šis modelis susideda iš trijų pagrindinių žingsnių: signalo apdorojimo, signalo klasifikavimo ir taikomosios programos. Vykstant signalo apdorojimui, gali būti vykdoma nuskaitytų duomenų transformacija (pvz.: Furje, DCT), taip pat gali būti vykdomas aukšto dažnio filtravimas.

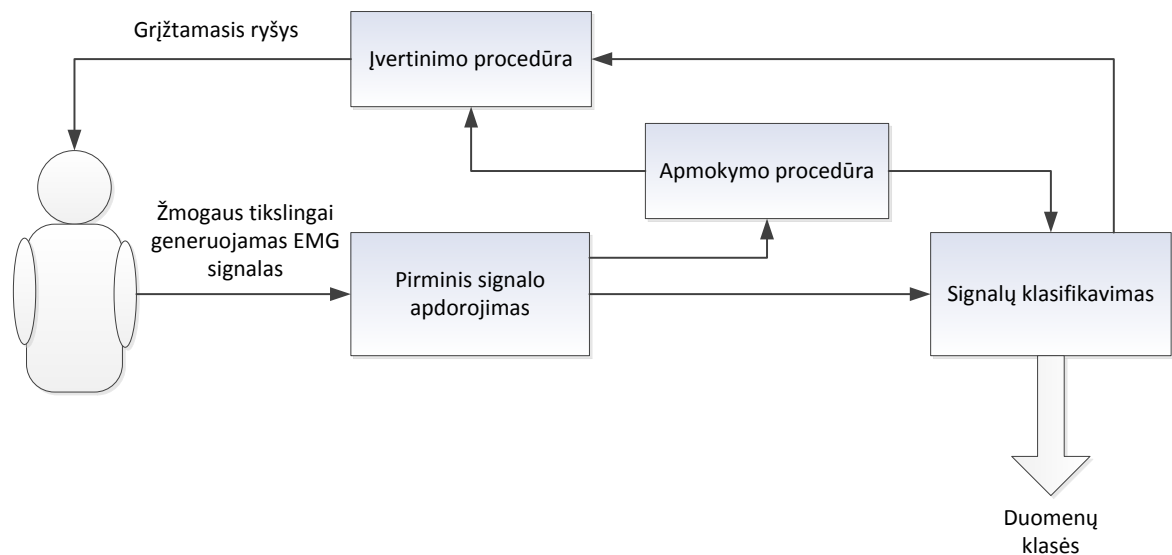
Kitame, signalo klasifikavimo, žingsnyje iš apdoroto EEG signalo bandoma išskirti duomenų klases, padėsiančias priskirti nuskaitytus duomenis tam tikroms komandoms. Klasifikavimo būdų taip pat yra įvairių: neuroninių tinklų metodas, atraminių vektorių metodas, principinių komponentų analizė, nepriklausomų komponentų analizė. Po šių klasifikavimo veiksmų yra suformuojami duomenų šablonai, pagal kuriuos duomenys yra klasifikuojami.

Taikomoji programa sprendžia konkretų uždavinį. Taikomosios programos valdymą atlieka smegenų – kompiuterio sąsajos sistema. Todėl tokia sistema gali būti taikoma neįgaliems asmenims, turintiems ribotas galimybes valdyti įprastu būdu. Todėl naudojant smegenų – kompiuterio sąsają galima valdyti tokius įrenginius kaip invalidų vežimėliai, galūnių protezai, robotizuotos rankos, virtualios klaviatūros ir pan.

2.2.2. Sistemos, naudojančios EMG

Neuroinės kompiuterio sąsajos, naudojančios EMG, nuo smegenų – kompiuterio sąsajų skiriasi įeinančiu signalu. Smegenų - kompiuterio sąsajos sistemose yra naudojamas EEG signalas, o neuroninės kompiuterio sąsajos EMG sistemose yra naudojama raumenų elektromiograma (EMG). Tai yra pagrindinis sistemų skirtumas, nes EMG signalą galima nuskaityti nuo įvairių kūno vietų, o EEG signalas nuskaitytas tik nuo žmogaus galvos.

Vartotojas, valdydamas konkretų skaitmeninį, turi tikslingai generuoti EMG signalus. Dažniausiai tai nėra sudėtinga sudėtinga procedūra, nes daugelio raumenų valdymas yra įprastas ir sąmoningai kontroliuojamas. Nuskaityti signalai yra apdorojami skaitmeninio signalo apdorojimo metodais. Gali būti taikoma sistemos apmokymo procedūra, kurios tikslas - sukurti duomenų šablonus klasifikavimo algoritmams. Atlikus apmokymą galima atlikti klasifikavimą (žr. 2 pav.). Signalų klasifikavimui naudojami įvairūs metodai: neuroninių tinklų metodas, atraminių vektorių metodas, pagrindinių komponentų analizė ir pan.



2 pav. Neuroninės kompiuterio sąsajos, naudojančios EMG, schema

Gali būti atliekama ir įvertinimo procedūra, kuri gali būti vykdoma tuo pat metu kaip ir apmokymo ar klasifikavimo procedūros. Jos metu vartotojas gali stebėti apmokymo ir klasifikavimo rezultatus bei reaguoti į gautą informaciją (pvz.: kitaip įtempinėti atitinkamus raumenis). Įvertinimo procedūra suteikia galimybę vartotojui gauti informaciją apie sistemos valdymą.

2.3. Taikomi metodai

Analizavimui pasirinkti tie metodai, kurie dažniausiai yra taikomi BBCI EEG duomenų klasifikavimo konkursuose (<http://www.bbc.de/activities>).

2.3.1. Duomenų apdorojimui

Greitoji Furje transformacija (FFT)

Greitoji Furje transformacija (FFT) – algoritmas, kuris yra vienas plačiausiai naudojamų apdorojant skaitmeninius signalus. Greitosios Furje transformacijos rezultatai yra tokie patys kaip ir diskrečiosios Furje transformacijos, tik FFT veikia greičiau. Šis metodas leidžia išgauti dažnių spektrą. FFT yra palčiai taikoma realaus laiko sistemose, todėl yra tinkamas naudoti ir smegenų – kompiuterio sąsajoje EEG signalų apdorojimui.

Diskrečioji kosinusinė transformacija (DCT)

Diskrečioji kosinusinė transformacija pakeičia signalą į baigtinę koeficientų seką, tam kad būtų sumažintas informacijos kiekis. DCT transformacijos išraiška:

$$X_k = \frac{1}{2}(x_0 + (-1)^k x_{N-1}) + \sum_{n=1}^{N-2} \left(x_n \cos \frac{\pi}{N-1} nk \right), k = 0, \dots, N-1 \quad (1)$$

Čia N – signalo reikšmių skaičius, x_0, \dots, x_{N-1} – signalo reikšmės, X_0, \dots, X_{N-1} – transformuotos signalo reikšmės.

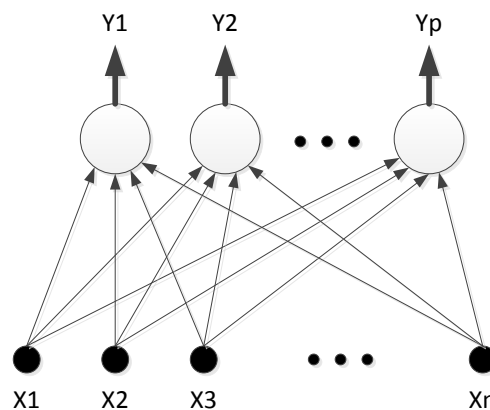
Signalų apdorojimui naudojant DCT - yra prarandama dalis informacijos. Todėl naudinga šiuo metodu apdoroti tik aukšto diskretizavimo dažnio signalus, tokius kaip: EMG, EEG, ECG. Sumažinus signalų apimtį galima pasiekti greitesnį signalų klasifikavimą.

2.3.2. Duomenų klasifikavimui

Neuroniniai tinklai

Neuroninio tinklo veikimo principas yra pagrįstas neuronais.. Neuronas - skaičiavimo mazgas, galintis turėti keletą įėjimo reikšmių. Kiekviena įėjimo jungtis turi „svorį“, kuris vadinamas perdavimo koeficientu. Kiekvienas neuronas turi slenkstinę ir sužadinimo reikšmes. Sužadinimo reikšmė yra apskaičiuojama: iš įėjimo signalų svorių sumos atimama slenkstinė reikšmė. Neurono išėjimo reikšmė apskaičiuojama pagal neurono perdavimo koeficientą. Perdavimo koeficientas, tai funkcija, kurios argumentas - sužadinimo reikšmė.

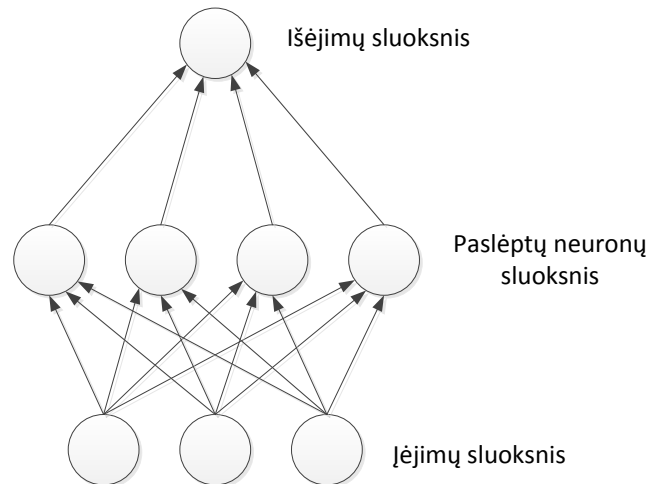
Paprasti neuroniniai tinklai yra sudaryti iš vieno neuronų sluoksnio. Tokio tinklo vaizdas yra pateiktas 3 pav. Šiuose tinkluose informacija sklinda tik į vieną pusę. Tokie neuroniniai tinklai dar yra vadinami perceptronais. 5 pav. matome: tinklas yra sudarytas iš p išėjimų ir n išėjimų.



3 pav. Vienasluoksnis perceptronas

Perceptronas pasižymi paprastumu ir greitu mokymo algoritmu. Jis yra lengvai realizuojamas, tačiau šio tinklo pagalba galima spęsti tik nesudėtingus atpažinimo uždavinius.

„Tiesioginio sklaidimo“ tinklai, turintys daugiau nei vieną neuronų sluoksnį yra vadinami daugiasluoksniais perceptronais arba daugiasluoksniais tiesioginio sklaidimo neuroniniais tinklais [22]. Kiekvienas toks tinklas yra sudarytas iš įėjimų aibės, paslėptojo neuronų sluoksnio ir išėjimų neuronų sluoksnio (žr. 4 pav.).



4 pav. Tiesioginio sklaidimo neuroninis tinklas

Yra daug skirtingų neuroninių tinklų, kurie turi skirtingas taikymo sritis: rekurentinis neuroninis tinklas (RNN), neuroninis miglotasis tinklas, tikimybinis neuroninis tinklas ir pan.

Atraminų vektorių metodas

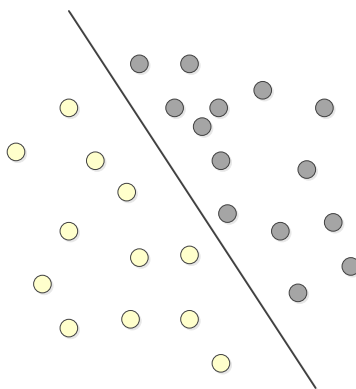
Atraminų vektorių metodas (SVM) – savaimė apsimokančių metodų (algoritmų) grupė, kuri gali būti taikoma klasifikavimo ar regresijos uždavinių sprendimui [23]. SVM yra sukurtas remiantis ankstesnių statistinio mokymosi teorijų pasiekimais. Dėl didelio taikymo sričių skaičiaus - SVM metodai tampa vienais pagrindinių įrankių kompiuterių apmokymo ir naudingų duomenų išgavimo srityse.

Apmokymo metu SVM metodui yra pateikiama aibė pradinių duomenų, kurių kiekvienas pažymimas kaip priklausantis vienai iš dviejų kategorijų (klasių). Remiantis apmokymo duomenimis yra konstruojamas modelis, pagal kurį bus klasifikuojami kiti duomenys. Analizės etapo metu nagrinėjama aibė duomenų, kurie klasifikuojami pagal sudarytą modelį. Kiekvienas elementas yra priskiriamas vienai iš dviejų klasių. Iš pradžių SVM metodas konstruoja sprendimų plokštumas daugiamatėje erdvėje, tam, kad atskirtų objektų klases ir vėliau pagal jas klasifikuotų analizuojamus duomenis.

SVM veikimas pagrįstas sprendimų priėmimo plokštumomis, kurios apibrėžia sprendimo ribas. Sprendimo plokštuma riboja (atskiria nuo kitų) tos pačios klasės narius. Skirtingų klasių atskyrimui

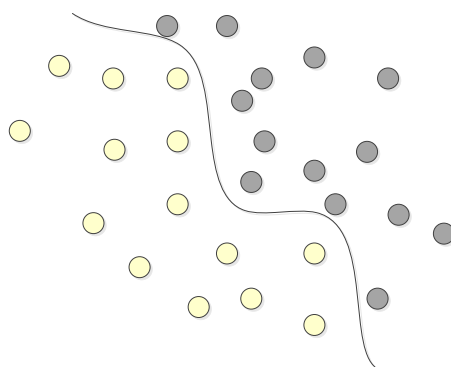
naudojami įvairūs metodai, dar vadinami branduolio funkcijomis: tiesinis klasifikavimas (tiesinė branduolio funkcija), netiesinis klasifikavimas (netiesinė branduolio funkcija).

Tiesinis klasifikavimas. Šį klasifikavimo būdą iliustruojantis pavyzdys pateiktas 5 pav. Jame pavaizduoti šviesūs ir tamsūs objektai, priklausantys skirtingoms klasėms. Skiriančioji linija nustato sprendimų plokštumų ribas. Analizuojant objektą yra vertinama jo padėtis ir pagal poziciją vykdomas priskyrimas vienai ar kitai klasei. Pvz.: jeigu naujas taškas būtų kairiau linijos – jis būtų priskirtas šviesių objektų klasei.



5 pav. Tiesinio klasifikavimo sprendimo plokštumos

Netiesinis klasifikavimas. Tai yra sudėtingesnis klasifikavimo būdas. Jo pavyzdys yra pateiktas 6 pav. Lyginant su tiesinio klasifikavimo pavyzdžiu yra aiškus skirtumas: klasių atskyrimui naudojama ne tiesė, o kreivė.



6 pav. Netiesinio klasifikavimo plokštumos

Yra daug įvairių SVM tipų. Skirtingų tipų metodai kombinuojami su skirtingomis branduolių funkcijomis, skirtingais parametrais ir pan., dėl to galima rasti tinkamiausius metodus remiantis konkrečiai sprendžiamu uždaviniu.

2.4. Egzistuojančios sistemos

Neuroninių sistemų srityje vykdoma daug tyrimų bei bandymų. Yra sukurtų sistemų, skirtų dirbti šioje srityje. Tačiau viena didesnių problemų, kad esamos sistemos yra labai ribotos: taikomos tik konkrečiam akademiniam tyrimui ar realizuoja vieną metodiką. Tokios riboto funkcionalumo sistemos dažniausiai yra neaktualios vartotojams, jos naudingos tik moksliniams tyrimams atlikti. Kita nemažesnė problema – mažas produktų skaičius, kurie būtų vystomi iki realaus pritaikymo gyvenime. Šiame analizės etape apžvelgiamos kelios populiariausios neuroninės kompiuterio sąsajos sistemos.

2.4.1. BCI2000

BCI2000 programinis paketas skirtas BCI tyrimams atlikti. Jis taip pat gali būti naudojamas duomenų kaupimui bei smegenų stebėjimui atlikti. Produktas prieinamas nemokamai, jeigu yra naudojamas nekomerciniais tikslais. Veikia tik Windows aplinkoje [16].

2.4.2. OpenViBE

OpenViBE - multiplatforminis BCI programinis paketas, palaikantis kai kurią apartinę įrangą. Šis programinis paketas suteikia duomenų analizės ir atvaizdavimo galimybę naudojant įvairius BCI metodus. Veikia keliose operacinėse sistemose (yra skirtingos versijos skirtingoms OS). Platinamas nemokamai. Šis paketas turi galimybę gautus duomenis siųsti į serverį, kur atliekama analizė OpenViBE klientų pagalba [17].

2.4.3. BCILAB

BCILAB yra MATLAB programinių įrankių rinkinys ir EEGLAB programinis įskiepis skirtas prototipų ruošimui, testavimui ir eksperimentams su BCI [18].

2.4.4. BCI++

BCI++ skirtas greitam BCI sąsajos prototipų kūrimui ir kitoms BCI programoms. Ši programinė įranga teikia saugojimo, vizualizavimo, algoritmų valdymo, realaus laiko signalų apdorojimo funkcijas. Patogi vartotojo sąsaja. Produktas yra nemokamas [19].

2.4.5. xBCI

xBCI platforma skirta BCI sistemų kūrimui. Programinė įranga turi duomenų analizės, darbo tinkle, eksperimento kontrolės galimybes. Patogi vartotojo sąsaja. Veikia Windows ir Linux aplinkose [20].

2.5. Egzistuojančių sistemų palyginimas

Sistemos lyginamos pagal 4 kriterijus:

- Ar sistema atviro kodo?
- Ar įmanoma naudoti skirtingose operacinėse sistemose?
- Ar naudojamos ne senos technologijos?
- Ar sistema yra prižiūrima?

1 lentelė. Sistemų palyginimas

Sistemos pavadinimas	Kriterijai			
	Atviras kodas	Prieinamumas skirtingose OS	Nepasenusios technologijos	Palaikymas
BCI2000	+	-	+	+
OpenViBE	+	+	+	+
BCILAB	+	-	+	-
BCI++	+	-	+	+
xBCI	+	+	+	-

Iš 1 lentelės matome, kad programinis paketas „OpenViBE“ geriausiai atitinka iškeltus kriterijus.

2.6. Analizės išvados

Išanalizuoti neuroninės kompiuterio sąsajos įėjimo signalai. Vienas perspektyviausių neuroninės kompiuterio sąsajos metodų yra EMG, nes raumenų signalas yra aiškiai interpretuojamas lengvai kontroliuojamas.

Apžvelgti neuroninės kompiuterio sąsajos tipai: smegenų – kompiuterio sąsajos, EMG naudojančios neuroninės sąsajos sistemos. Šiame darbe realizuojama neuroninės kompiuterio sąsajos sistema, paremta EMG signalu. Taip pat buvo apžvelgti neuroninėje kompiuterio sąsajoje taikomi metodai. Šioje analizėje nebuvo apžvelgti visi įmanomi metodai, buvo pasirinkti populiariausi.

Apžvelgtos egzistuojančios panašios sistemos pagal kriterijus pateiktus 2.5 skyriuje. Vertinant pagal išsikeltus kriterijus, geriausiai juos tenkinanti sistema yra OpenViBE. Kuriant teksto rašymo neuroninę sistemą bus stengiamasi atsižvelgti į gerąsias šios sistemos savybes.

3. TEKSTO ĮVEDIMO SISTEMOS PROJEKTINĖ DALIS

3.1. Sistemos paskirtis

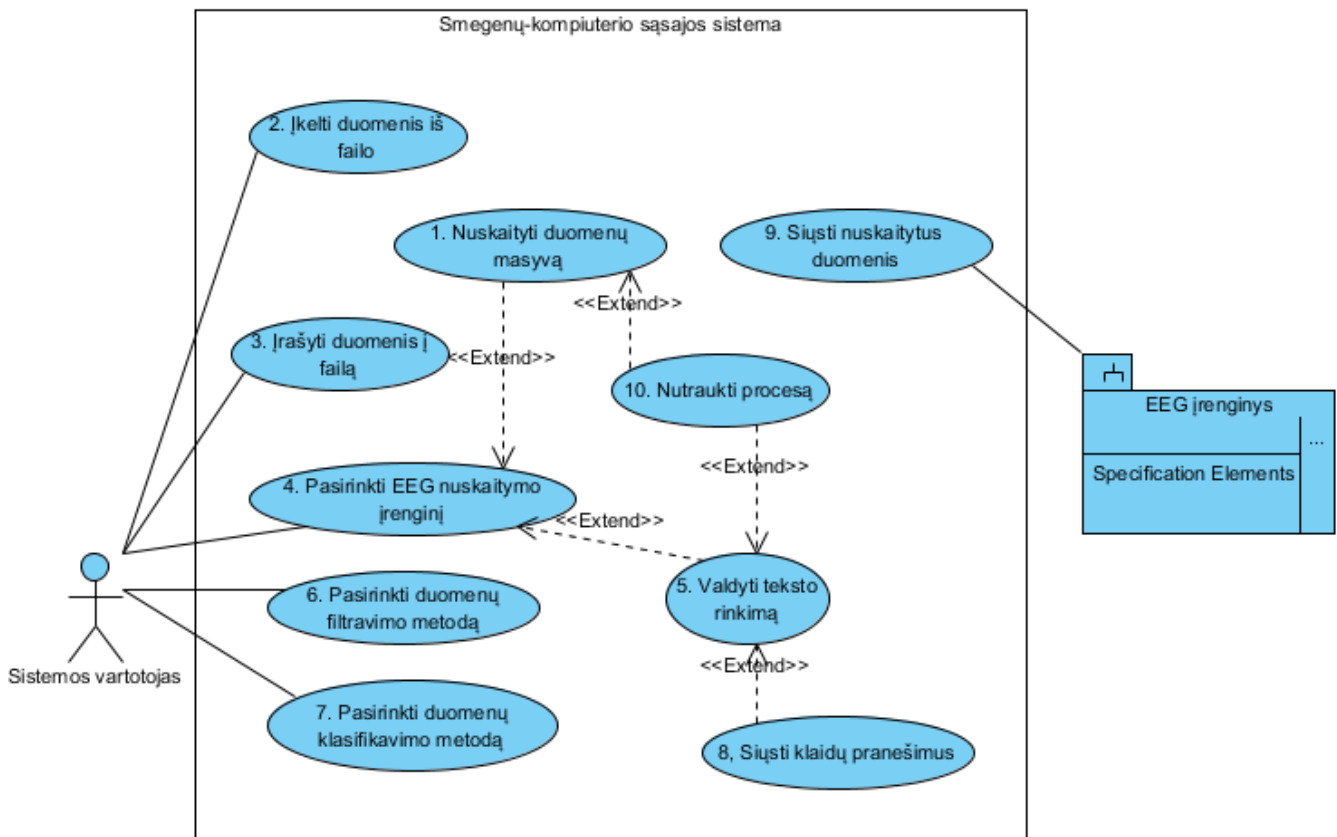
Neuroninės kompiuterio sąsajos programa turi atlikti teksto rinkimą valdomą paviršinio EMG signalo generuojamomis bangomis. Taip pat sistema gali veikti kaip signalų apdorojimo ir klasifikavimo platforma, kuri teikia galimybę pasirinkti skirtingas valdymo ir tekstų rašymo savybes.

Bendru atveju neuroninės kompiuterio sąsajos sistema turi atlikti šiuos veiksmus:

- Nuskaityti pavienius EEG/EMG duomenų masyvus iš EEG/EMG skaitytuvo;
- Apdoroti gaunamus signalus ir klasifikuoti siunčiamas komandas;
- Siųsti atpažintas komandas teksto rinkimo valdikliui;
- Pagal gaunamas komandas vykdyti teksto rinkimą.

3.2. Sistemos panaudos atvejų diagrama

Panaudos atvejų diagramoje vaizduojami pagrindiniai teksto įvedimo neuroninės kompiuterio sąsajos panaudos atvejai.



7 pav. Sistemos panaudos atvejų diagrama

3.3. Funkciniai reikalavimai

Pagrindiniai sistemos funkciniai reikalavimai:

- *Pasirinkti norimą naudoti duomenų nuskaitymo įrenginį.* Vartotojas turi turėti galimybę pasirinkti naudojamą duomenų nuskaitymo įrenginį, priklausomai nuo to, kuris yra prijungtas prie kompiuterio. Pvz: „OCZ NIA“ [7] arba „NeuroSky MindSet“ [12];
- *Pasirinkti norimą valdyti modulį.* Vartotojas turi turėti galimybę pasirinkti valdiklį, kuris atlieka komandų vykdymą, kai jos yra iškviečiamos ir ekrane pateikia informaciją. Pvz: „Spelling Square“ – valdymo modulis teksto rašymui;
- *Nustatyti papildomus pasirinktų modulių parametrus.* Jeigu pasirinkti duomenų nuskaitymo ar valdymo moduliai turi papildomų nustatymų, vartotojas turi turėti galimybę juos konfigūruoti. Pvz: „Spelling Square“ modulio parametrai: rašymo kalba, raidžių išdėstymo tvarka, papildomi simboliai ir pan.
- *Pradėti duomenų nuskaitymą.* Duomenų nuskaitymas vykdomas ne visada, tik gavus komandą „Pradėti“;
- *Stabdyti duomenų nuskaitymą.* Duomenų nuskaitymas vykdomas nuo komandos „Pradėti“ iki komandos „Stabdyti“;
- *Matyti ekrane nuskaitytų duomenų informaciją.* Ekrane turi būti pateikiama informacija vartotojui apie gaunamą signalą iš pasirinkto įrenginio;
- *Matyti ekrane valdymo komandų informaciją.* Ekrane turi būti pateikiama informacija apie vartotojo inicijuojamas komandas bei jų vykdymo rezultatus;
- *Galimybė bet kada keisti visus parametrus.* Vartotojas turi turėti galimybę bet kada atlikti nustatymų pakeitimus ir kad pakeitimai būtų aktyvuojami po nustatymų išsaugojimo. Pvz: pakeičiamas duomenų nuskaitymo įrenginys arba pakeičiamas valdomas modulis.

3.4. Nefunkciniai reikalavimai

3.4.1. Reikalavimai sistemos išvaizdai

Bendri reikalavimai neuroninės kompiuterio sąsajos sistemos vartotojo sąsajai:

- Lengvai suprantama sąsaja;
- Neįkyri sąsaja (pavyzdžiui, nereikalaujanti pastoviai ką nors kelis kartus patvirtinti);
- Profesionali (imituojanti realią aplinką) išvaizda;
- Sąveikaujanti sąsaja;
- Suprantama ir patogi teksto rinkimo bei surinkto teksto atvaizdavimo sąsaja.

3.4.2. Reikalavimai panaudojamumui (angl. Usability)

Panaudojimo paprastumas (lengvumas) neuroninės kompiuterio sąsajos sistemai kriterijai:

- Klaidos poveikio mažinimas;
- Galimybė nutraukti bet kokį vykstantį procesą;
- Procesų, duomenų, suvesto teksto vizualizacija;
- Galimybė patogiai pateikti surinktą tekstą bendravimui su aplinkiniais žmonėmis;
- Suprantama ir patogi teksto rinkimo bei surinkto teksto atvaizdavimo sąsaja.

3.4.3. Reikalavimai vykdymo charakteristikoms (angl. Performance)

Užduočių vykdymo greičio apribojimai:

- Maksimalus signalo surinkimo laikas: 5s;
- Maksimalus apmokymo proceso laikas: 1s;
- Maksimalus klasifikavimo proceso laikas: 1s.

Viršijant nustatytus apribojimus procesas nutraukiamas ir tolimesni procesai vykdomi su duomenimis, kurie buvo apdoroti per duotąjį laiką.

Maksimalus buferio dydis duomenų nuskaitymui yra 5 MB. Jeigu susiklosto tam tikra situacija, kurios metu generuojama daugiau duomenų nei maksimalus buferio dydis, tai pertekliniai duomenys yra ignoruojami.

3.4.4. Reikalavimai veikimo sąlygoms (angl. Operational)

Sistema turi veikti windows 32 bitų ir windows 64 bitų operacinėse sistemose: windows xp, windows vista, windows 7.

Norint pilnai naudotis sistema, ji turi veikti kartu su tekstų įvedimo moduliu ir signalų skaitytuvu. Sistema turi veikti tiek nešiojamuose, tiek stacionariuose kompiuteriuose.

3.4.5. Saugumas

Toliau pateikiami neuroninės kompiuterio sąsajos sistemos saugumo aspektai:

- Konfidencialumas - sistemoje saugomi tik nuskanuoti asmens duomenys, nesaugoma jokia kita su asmeniu susijusi ir jo tapatybę galinti atskleisti informacija;
- Vientisumas - sistemoje nebus saugoma jokia informacija apie testuojamus asmenis, išskyrus asmenų nuskanuotus duomenis, kurie patys neteikia jokios informacijos apie

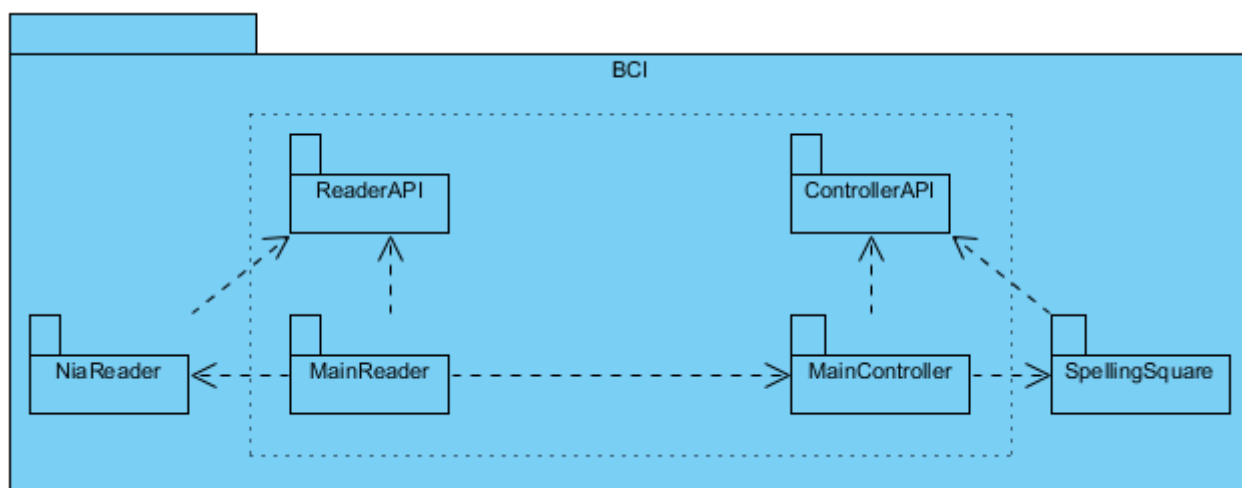
testuojamus asmenis. Sistema nebus jungiama prie interneto ir sistemos naudotojai nebus skirstomi į atskirtas kategorijas;

- Pasiiekiamumas - pagrindiniai sistemos duomenys su kuriais operuoja sistema yra nuskaityti EEG duomenys, jie saugomi duomenų failuose. Sistemos vartotojai nėra skirstomi į atskiras grupes ir turi vienodą prieigą prie visų duomenų ir funkcijų.

3.5. Sistemos architektūros modelis

Projektuojant sistemą pereita prie anglišku terminų naudojimo dėl galimo vėlesnio sistemos plečiamumo ir galimybės naudoti trečiųjų šalių rengtus komponentus, tam kad visuose išeities koduose būtų naudojama viena kalba.

Sistemos architektūra yra pateikta kaip BCI modulis. Naudojamas „NetBeans Platform“ [13] karkasas, kuriame yra sukurti visi sudėtiniai moduliai. Architektūros diagrama pateikiama žemiau.



8 pav. Sistemos architektūros diagrama

Pateiktoje schemeje yra pažymėti (apibrėžti punktyrine linija) sisteminiai moduliai, nuo kurių priklauso sisteminis programos funkcionavimas. Moduliai esantys už tos linijos - gali būti įvairūs, jų gali būti daug, gali būti tiekiami trečiųjų šalių. Vartotojai per nustatymus galės pasirinkti, kuriuos modulius, esančius už punktyrinės linijos, naudoti. Esant daugiau pridėtų modulių, vykdant programą yra naudojami ne daugiau kaip 2 nustatymuose pasirenkami moduliai: vienas duomenų skaitymo modulis ir vienas valdymo modulis. Pastaba: gali būti pasirinkta ir mažiau modulių, pvz: tik duomenų nuskaitymo, tik valdymo arba nė vienas modulis, bet negalima pasirinkti daugiau kaip vieno modulio duomenų nuskaitymui ir daugiau kaip vieno modulio valdymui žr: 1 paveikslėlyje.

3.5.1. BCI modulis

Sisteminis programos pagrindas (NetBeans platform karkasas), užtikrinantis sisteminių funkcionalumą:

- Grafinė sąsaja;
- Nustatymų išsaugojimas, atkūrimas;
- Kitų vartotojo nustatymų parametrų saugojimas, kad nebūtų prarasti išjungus programą;
- Pridedamų papildomų arba trečiųjų šalių modulių valdymas.

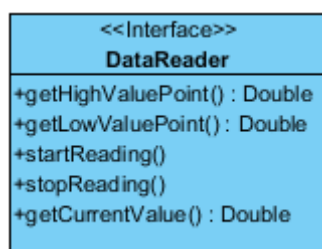
Visas šis ir papildomas karkaso funkcionalumas yra apibrėžtas sisteminėje dokumentacijoje.

2 lentelė. Duomenų nuskaitymo modulio paketo aprašymas

Klasifikacija	Karkasas
Apibrėžimas	Sisteminis programos karkasas, <i>NetBeans platform</i> produktas.
Atsakomybės	Paketas užtikrina sistemines modulių sąveiką ir kitas sisteminės funkcijas.
Apribojimai	Realizuotas JAVA programavimo kalba.
Struktūra	Pateikta sisteminėje dokumentacijoje.
Sąveikavimas	Visi bendraujantys komponentai remiasi karkaso funkcionalumu.
Resursai	Naudoja JAVA paketą, <i>NetBeans platform</i> karkasą.
Skaičiavimai	Aprašyti sisteminėje dokumentacijoje.
Sąsaja/eksportas	Aprašyti sisteminėje dokumentacijoje.

3.5.2. ReaderAPI modulis

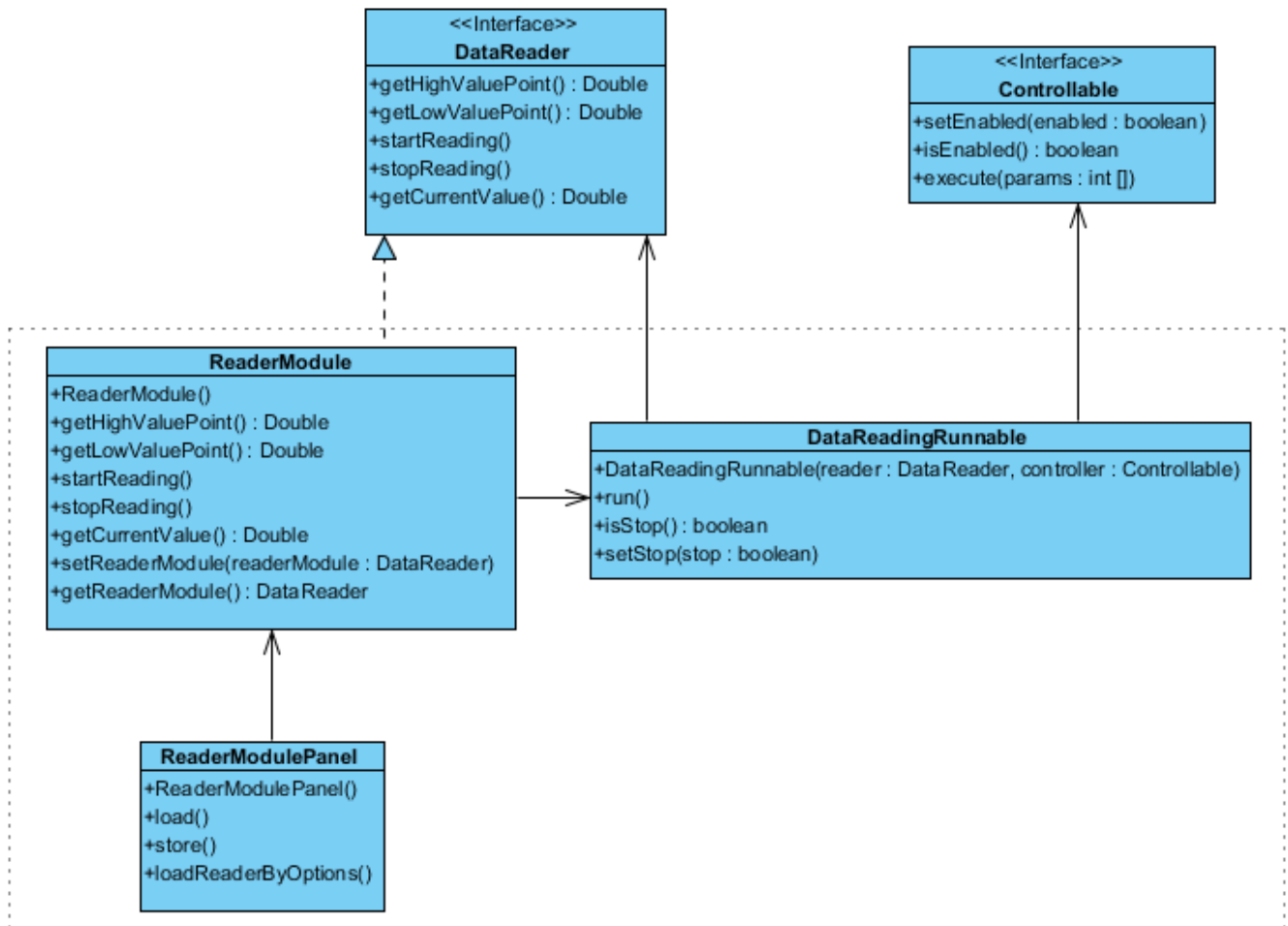
Viešas duomenų nuskaitymo įrenginio modulis. Visi trečių šalių moduliai realizuojantys šį modulį gali būti naudojami duomenų nuskaitymui vykdyti.



9 pav. ReaderAPI klasių diagrama

3.5.3. MainReader modulis

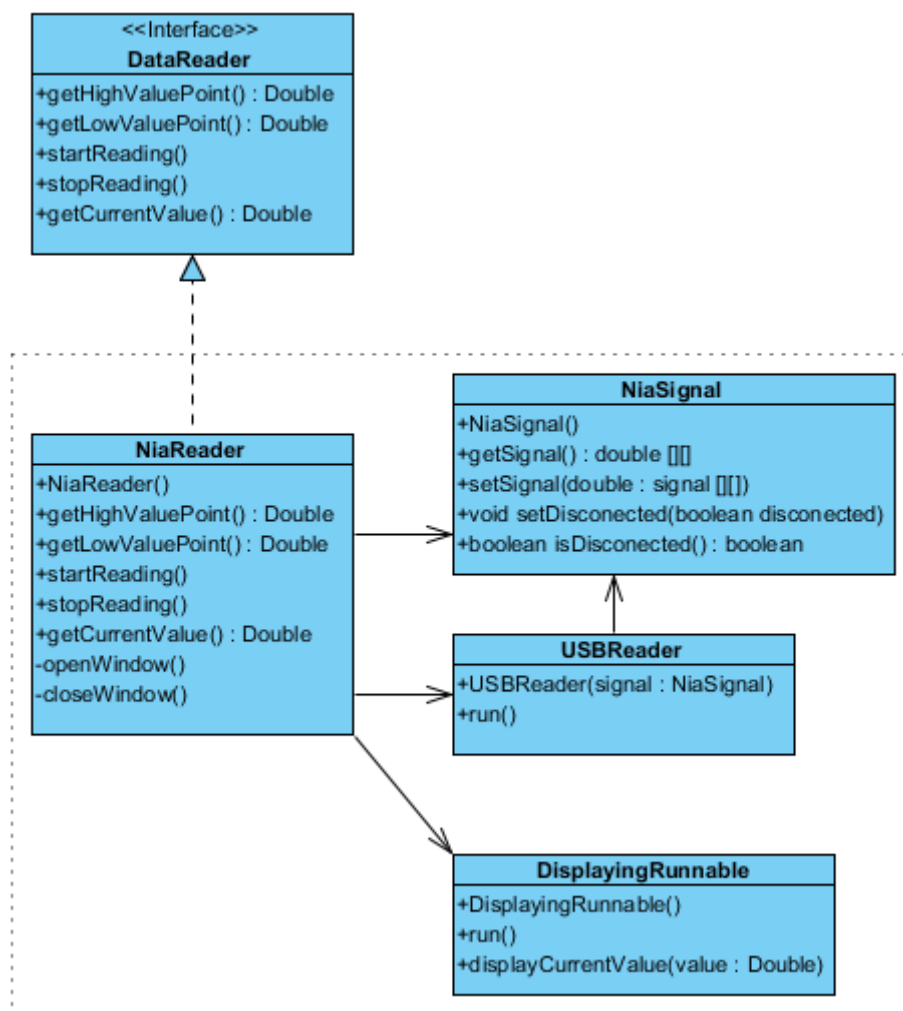
Modulio klasės pateiktos diagramoje yra apibrėžtos punktyrine linija. Jos sąveikauja su kitų modulių sąsajomis: ReaderAPI modulio DataReader sąsaja ir ControllerAPI modulio Controllable sąsaja.



10 pav. MainReader modulio klasių diagrama

3.5.4. NiaReader modulis

Modulio klasės pateiktos diagramoje yra apibrėžtos punktyrine linija. NiaReader klasė realizuoja ReaderAPI sąsają DataReader tam, kad būtų tinkamas modulis duomenų nuskaitymui šioje programoje. Realizavus DataReader sąsają NiaReader modulis vartotojui yra matomas kaip pasirenkamas duomenų nuskaitymo modulis.



11 pav. NiaReader modulio klasių diagrama

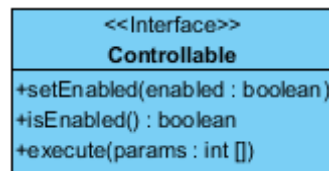
3 lentelė. NiaReader modulio aprašymas

Klasifikacija	Modulis
Apibrėžimas	Modulis teikia galimybę nuskaityti duomenis iš Nia įrenginio.
Atsakomybės	Modulis turi teisingai realizuoti DataReader sąsają, kad būtų tinkamas naudoti bendrame programos kontekste.
Apribojimai	Realizuojamas JAVA programavimo kalba, naudojant <i>NetBeans platform</i> karkaso funkcionalumą.
Struktūra	Struktūra pateikta klasių diagramoje.
Sąveikavimas	Šis modulis gali būti naudojamas duomenų nuskaitymui, nes realizuojama DataReader sąsają. Vartotojui pasirinkus šį duomenų nuskaitymo modulį, jis bus naudojamas bendrame programos funkcionavime.
Resursai	Naudoja JAVA kalbą, <i>NetBeans platform</i> karkasą.

Skaičiavimai	Aprašyti modulį sudarančių klasių aprašymuose.
Sąsaja/eksportas	Tinkamam duomenų nuskaitymui realizuota vieša DataReader sąsaja. Modulis MainReader gali kreiptis į šių metodų realizacijas, jeigu tai bus vartotojo pasirinktas duomenų nuskaitymo modulis.

3.5.5. ControllerAPI modulis

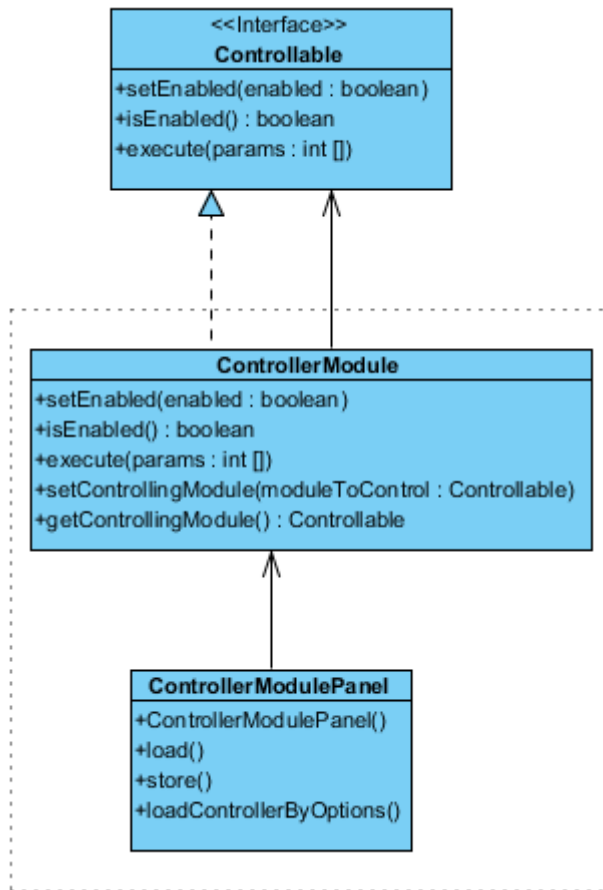
Vieša valdymo modulių sąsaja. Visi trečiųjų šalių moduliai, realizuojantys šį modulį gali būti naudojami sistemoje kaip valdymo moduliai.



12 pav. ControllerAPI klasių diagrama

3.5.6. MainController modulis

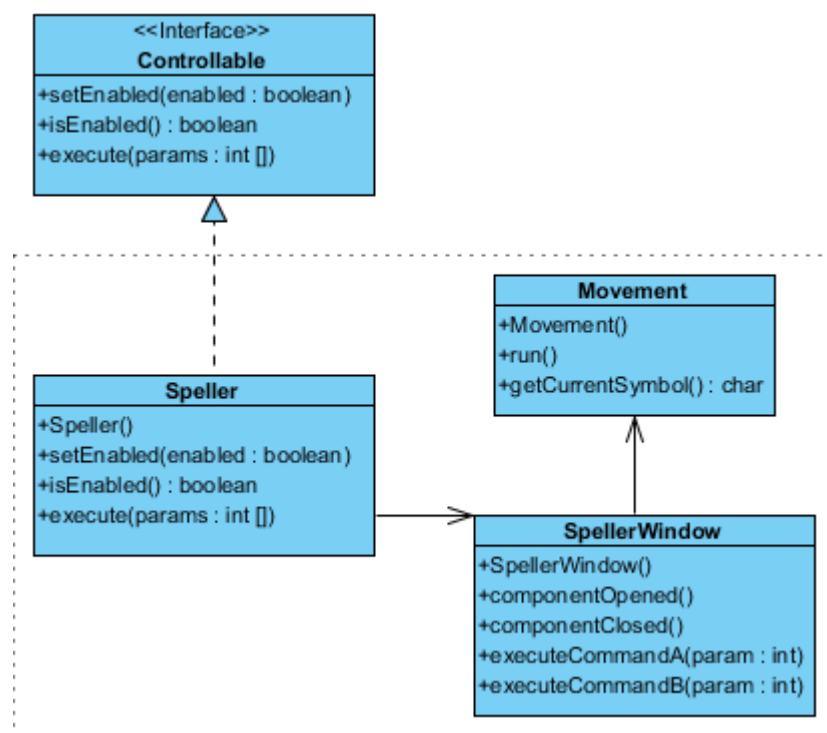
Modulio klasės pateiktos diagramoje yra apibrėžtos punktyrine linija. Jos sąveikauja su kitų modulių sąsajomis: ControllerAPI modulio Controllable sąsaja.



13 pav. MainController modulio klasių diagrama

3.5.7. SpellingSquare modulis

Tekstų įvedimo valdymo modulis. Jis atsakingas už tai, kad vartotojo komandų pagalba būtų renkamas tekstas, aiškiai atvaizduojamas kompiuterio ekrane.



14 pav. SpellingSquare modulio klasių diagrama

4 lentelė. SpellingSquare modulio aprašymas

Klasifikacija	Modulis
Apibrėžimas	Modulis teikia galimybę valdyti tekstų surinkimą (komandų principu).
Atsakomybės	Modulis turi teisingai realizuoti Controllable sąsają, kad būtų tinkamas naudoti bendrame programos kontekste.
Apribojimai	Realizuojamas JAVA programavimo kalba, naudojant <i>NetBeans platform</i> karkaso funkcionalumą.
Struktūra	Struktūra pateikta klasių diagramoje.
Sąveikavimas	Šis modulis gali būti naudojamas programinio komponento (tekstų rinkimo) valdymui, nes realizuojama Controllable sąsają. Vartotojui pasirinkus šį valdymo modulį, jis bus naudojamas bendrame programos funkcionavime.
Resursai	Naudoja JAVA kalbą, <i>NetBeans platform</i> karkasą.
Skaičiavimai	Aprašyti modulį sudarančių klasių aprašymuose.
Sąsaja/eksportas	Tinkamam valdymui realizuota vieša Controllable sąsają. Modulis MainController gali kreiptis į šių metodų realizacijas, jeigu tai bus vartotojo pasirinktas valdymo modulis.

3.6. Naudojami trečiųjų šalių komponentai

Realizuojant sistemą numatoma panaudoti šiuos trečiųjų šalių komponentus:

- USBReader.CLibrary – „OCZ NIA“ skaitytuvo ir sistemos aukštos spartos komunikacijai realizuoti;
- JfreeChart – diagramų pateikimo biblioteka, reikalinga atvaizduoti iš skaitytuvo gaunamus duomenis.

3.7. Naudojama aparatūrinė įranga

Teksto įvedimo neuroninė kompiuterio sąsaja naudoja vieną įrenginį, EEG/EMG signalų nuskaitymui: „OCZ NIA“ [7]. Žemiau pateikiama įrenginio nuotrauka.



15 pav. „OCZ NIA“ duomenų nuskaitymo įrenginys [7]

Tai EEG ir EMG signalo skaitytuvas, komunikuojantis su kompiuteriu per USB sąsają. Įrenginio lankelis uždedamas žmogui ant galvos, virš antakių. Lankelyje yra 3 elektrodai. Elektrodai, esantys kairėje ir dešinėje, skirti signalų nuskaitymui, o vidurinis elektrodas skirtas įžeminimui. Šio skaitytuvo diskretizavimo dažnis - 3906 Hz.

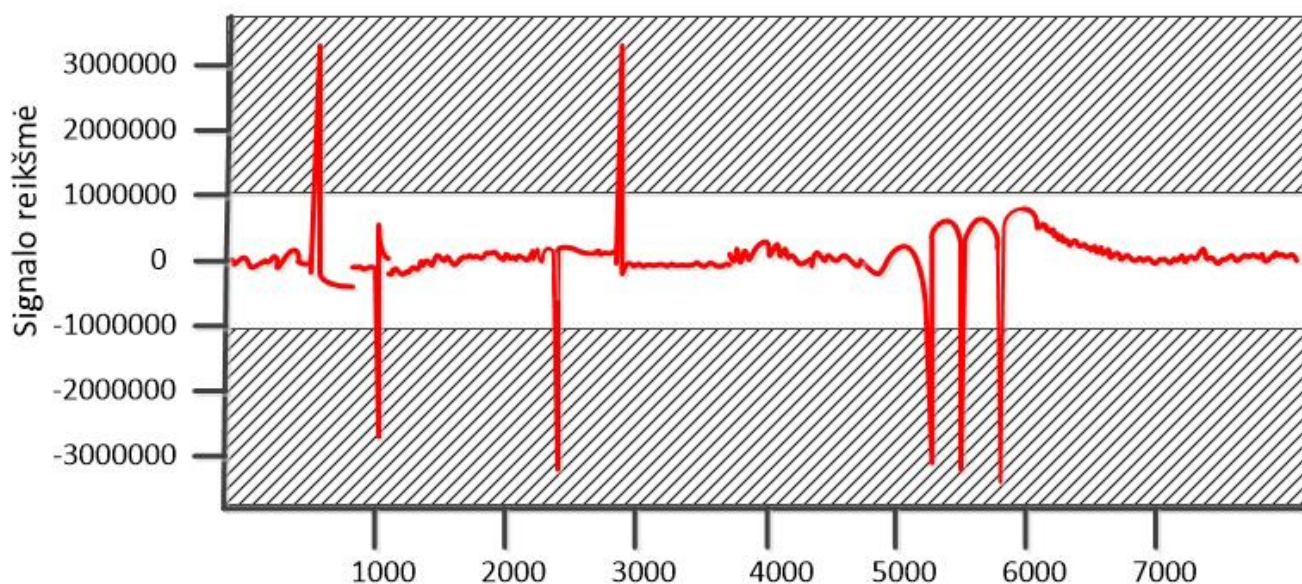
4. TEKSTO ĮVEDIMO SISTEMOS TYRIMAI

4.1. Valdymas naudojant paviršinį EMG signalą

Valdymas vykdomas naudojant paviršinio elektromiogramos signalo momentines reikšmes. Signalų pokytis laike nėra aktualus, dėl to ši metodologija nėra sudėtinga realizavimo atžvilgiu. Svarbu, kad nuskaitytas signalas būtų be triukšmų ir neturėtų ryškių amplitudės ribinių reikšmių svyravimų.

Tiriamoje sistemoje signalo amplitudė yra skirstoma į 3 intervalus (žr. žemiau pateiktoje diagramoje):

- Teigiamo impulso intervalas – kai teigiamo signalo amplitudė viršina numatytą ribinę signalo reikšmę (diagramoje ribinė reikšmė: +1000000);
- Neigiamo impulso intervalas – kai neigiamo signalo amplitudė viršina numatytą ribinę signalo reikšmę (diagramoje ribinė reikšmė: -1000000);
- Ramybės būsenos impulso intervalas – kai signalo amplitudė nesiekia teigiamos ir neigiamos ribinės reikšmės.



16 pav. Signalų lygio dalinimas į intervalus

Analizuojant signalo momentinę reikšmę yra nustatoma, kuriame intervale esama einamuoju laiko momentu.

4.2. Projektinės sistemos valdymo principai

Teksto rašymo valdymo modulyje yra taikomas dviejų komandų principas:

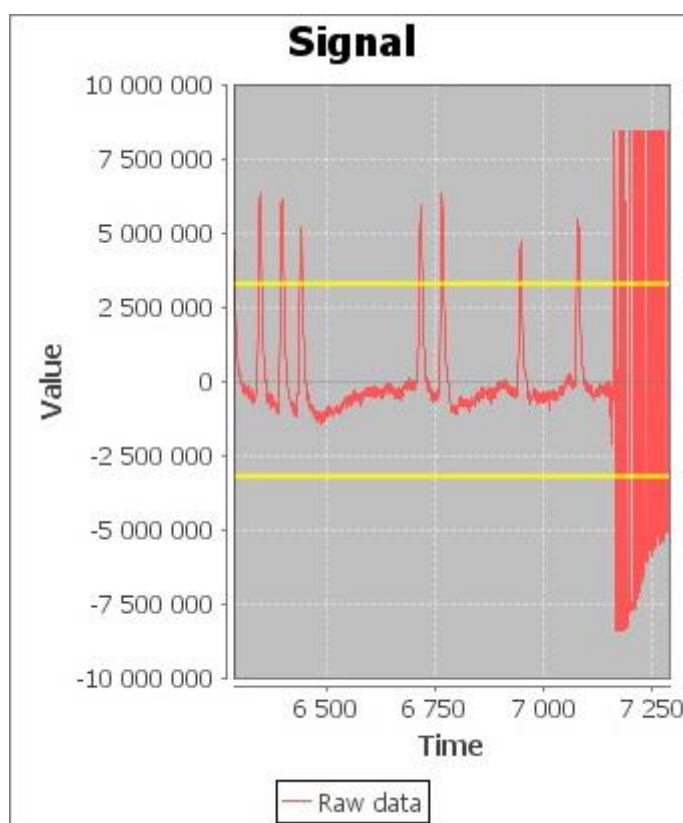
- Pasirinkimo komanda – vykdant ją yra atliekamas norimo raidžių stulpelio pasirinkimas (esant simbolių stulpelio rinkimosi etapui) arba norimo parašyti simbolio pasirinkimas (esant simbolių rinkimosi etapui);
- Atšaukimo komanda – parašyto simbolio nutrynimasis (esant simbolių stulpelio rinkimosi etapui) arba pasirinkto simbolių stulpelio atšaukimas (esant simbolių rinkimosi etapui).

Valdymo modulis vykdo iškviečiamas komandas ir yra atsakingas, kad ekrane būtų aiškiai atvaizduojamas renkamas tekstas bei pateikiama patogi sąsaja raidžių rinkimuisi naudojant 2 komandas. Valdymo komandas iškviečia duomenų nuskaitymo modulis, kurį pasirenka vartotojas pagal turimą duomenų nuskaitymo įrenginį. Atliekant tyrimus buvo naudojamas NiaReader modulis.

Sistemoje NiaReader modulis yra atsakingas už šiuos veiksmus:

- EMG signalo nuskaitymas naudojant „OCZ NIA“ įrenginį;
- Grafinis nuskaityto signalo atvaizdavimas ekrane;
- Ribinių signalo reikšmių nustatymas;
- Ribinių signalo reikšmių atvaizdavimas ekrane.

Žemiau pateikiamas ekrano vaizdas, kuriame matyti kaip yra atvaizduojamas NiaReader modulio nuskaitytas signalas. Taip pat ekrane yra grafiškai pateikiamos ribinės signalo reikšmės. Jos yra žymimos geltona linija grafike.



17 pav. Nuskaitomo signalo bei ribinių reikšmių grafinis atvaizdavimas

Žemiau pateiktame ekrano vaizde matyti kaip yra reguliuojamos ribinės signalo reikšmės. Vartotojui yra pateikiamos dvi slinkties juostos. Su viršutine slinkties juosta yra reguliuojama teigiama signalo ribinės amplitudės reikšmė, su apatine slinkties juosta yra reguliuojama neigiama signalo ribinės amplitudės reikšmė. Vartotojui reguliuojant ribines reikšmes, grafike pakeitimai matomi realiu laiku.



18 pav. Ribinių amplitudės reikšmių reguliavimo slinkties juostos

Vykstant EMG signalo analizei realiu laiku yra nagrinėjama kuriame segmente yra signalo momentinė reikšmė. Jeigu reikšmė yra didesnė už teigiamą ribinę amplitudės reikšmę – iškviečiama pirmoji komanda (kurią SpellingSquare modulis interpretuoja kaip pasirinkimo komandą). Jeigu reikšmė yra mažesnė už neigiamą ribinę amplitudės reikšmę – iškviečiama antroji komanda (kurią SpellingSquare modulis interpretuoja kaip atšaukimo komandą).

4.3. Esami valdymo trūkumai

NiaReader duomenų nuskaitymo modulis turi kelis trūkumus, kurie apsunkina sistemos naudojimą tekstų įvedimui. Visi žemiau aprašyti modulio trūkumai yra priklausomi nuo naudojamo duomenų nuskaitymo įrenginio „OCZ NIA“. Naudojant kitokius duomenų nuskaitymo įrenginius ir jiems realizuotus duomenų nuskaitymo modulius - galimi kitokie arba jokių trūkumų.

4.3.1. Kalibravimas

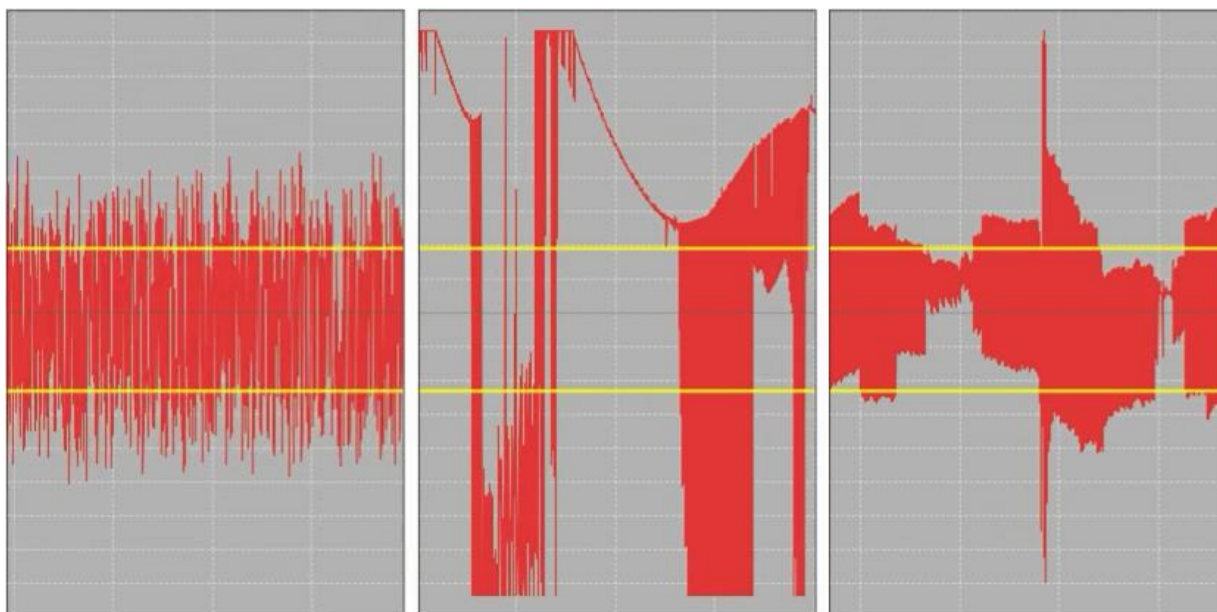
Laiko trukmė, kuri reikalinga kalibruoti įrenginį naudojimui nuo jo uždėjimo ant sistemos vartotojo galvos iki sėkmingo jo naudojimo, nėra vienareikšmiška. Kartais trunka mažiau nei 15 sek., kartais trunka apie 15 min. Vidutinė kalibravimo trukmė ~4 min. Bet ji priklauso nuo vartotojo kaktos ir kontakto. Kalibruojant yra svarbu nustatyti įrenginio kontaktus tiksliai virš konkrečių kaktos raumenų. Svarbi ne tik horizontali, bet ir vertikali įrenginio „OCZ NIA“ kaktos lankelio padėtis dėl kontakto su kaktos raumenimis. Galimi prasto kalibravimo trikdžiai:

- Raumenų impulsai nėra nuskaitymi arba nuskaitymas tik labai nežymus impulso signalas;
- Tik vieno kaktos raumens signalas yra nuskaitymas teisingai. Kito kaktos raumens įtempimai nėra nuskaitymi arba nuskaitymas labai nežymus impulso signalas;
- Neesant įžeminimui - signalas užteršiamas pastoviais, stabiliais elektriniais trikdžiais ir raumenų signalai yra prarandami triukšmuose.

4.3.2. Triukšmai

Įrenginys „OCZ NIA“ yra pakankamai jautrus pašaliniams triukšmams, kurių kiekis ir intensyvumas priklauso nuo naudojamo kompiuterio konstrukcijos. Tai reiškia, kad tam tikruose modeliuose triukšmai yra neįjuntami, o kai kuriuose labai intensyvūs. Kompiuteriuose, kuriuose USB jungtis, prie kurios prijungtas „OCZ NIA“, yra arti krovimo srovės lizdo – įtampos triukšmai labai dideli. Jeigu USB jungtis ir krovimo įtampos lizdai toli vienas kito – triukšmai neįjuntami. Tas pats ir su kitų triukšmų šaltiniais, kai kuriuose modeliuose jie labai intensyvūs, kai kuriuose – neįjuntami. Triukšmų šaltiniai:

- Krovimo įtampos lizdas;
- Belaidės klaviatūros/pelės USB jungtis;
- Belaidžio interneto Wi-Fi naudojimas;
- Išorinio monitoriaus VGA jungtis.



19 pav. Signalo pavyzdžiai esant ryškiam trikdžių poveikiui

Šaltiniai, kurie trikdžių nesukelia:

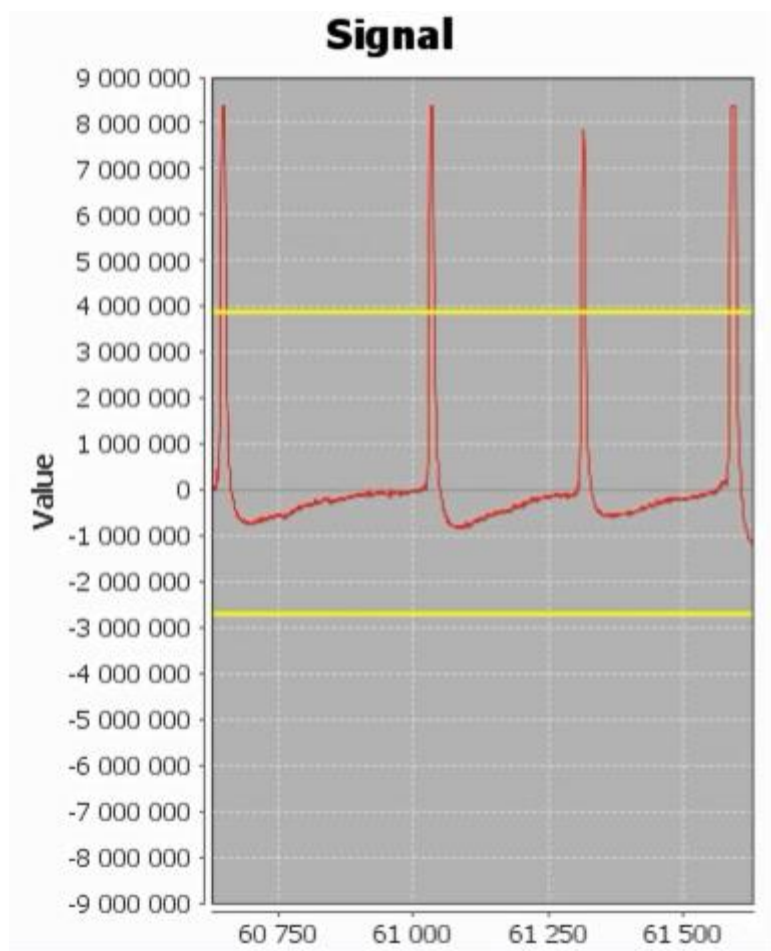
- Pelės klaviatūros ar kitų įrenginių naudojimas prijungus per USB jungtis;
- Išorinio monitoriaus HDMI jungtis;
- Mobiliojo ryšio naudojimas arti įrenginio ar kompiuterio USB jungties.

4.3.3. Ilgalaikiai nominalios signalo amplitudės pokyčiai

Tai ne „OCZ NIA“ įrenginio trūkumas, bet NiaReader modulio trūkumas. Problemos priežastis: vartotojui ilgai naudojantis sistema (apie 15min.), jo raumenys pavargsta, todėl EMG signalai silpsta.

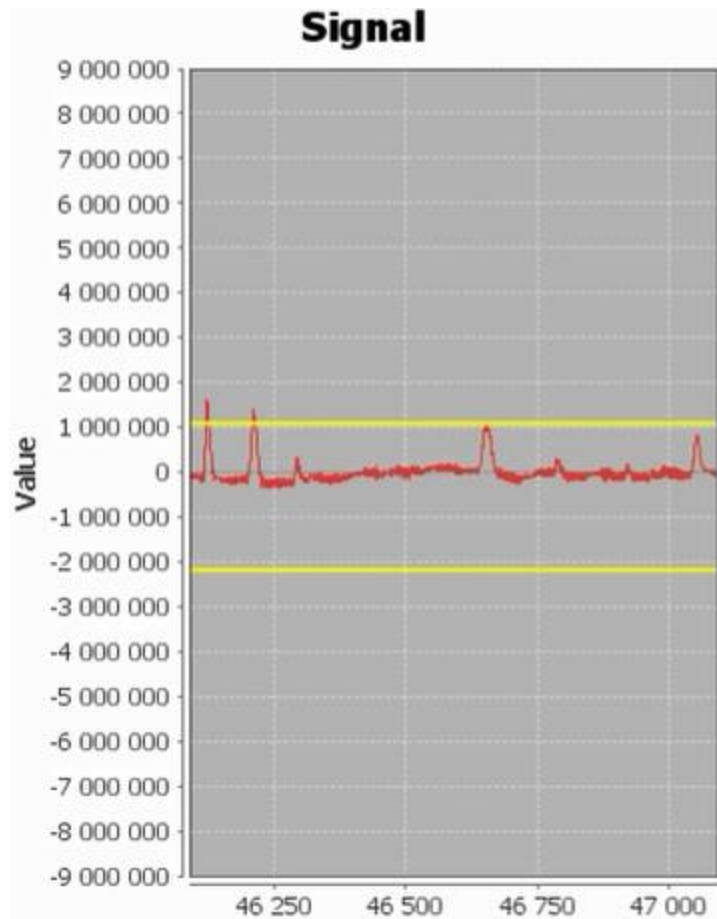
Silpstant raumenims vis sunkiau pasiekti ribines signalo reikšmes, norint iškviešti komandą. Galimas problemos sprendimas: dinaminis ribinių reikšmių kitimas. Skaičiuojant nominalią signalo vertę būtų galima gana tiksliai apskaičiuoti optimaliausią ribinės vertės reikšmę. Tačiau toks funkcionalumas prototipinėje sistemos versijoje realizuotas nebuvo. Tyrimų metu buvo naudojama papildomo vartotojo pagalba, kuris silpstant raumenims tyrimų metu reguliuotų ribinių verčių reikšmes.

Žemiau pateiktuose pavyzdžiuose demonstruojama žmogaus raumenų impulsų vertės sistemos naudojimo pradžioje ir pabaigoje. Pirmoji signalo nuotrauka padaryta praėjus 30 sek. nuo naudojimo pradžios, kai vartotojas dar nėra pavargęs. Raumens impluso signalo amplitudė siekia ~8000000.



20 pav. Signalas pradedant naudoti sistemą

Antroji signalo nuotrauka padaryta praėjus ~14 min. nuo naudojimo pradžios, kai vartotojas jau yra pavargęs. Raumens impluso signalo amplitudė siekia ~1000000.



21 pav. Signalas baigiant naudoti sistemą

5. TEKSTO ĮVEDIMO SISTEMOS EKSPERIMENTINĖ DALIS

5.1. Eksperimento tikslai

Esama sistema teksto rašymui naudojant neuroninę kompiuterio sąsają – turi keletą tobulinimo krypčių:

- Rašymo greitis – parašyti daugiau teksto per trumpesnę laiką;
- Rašymo efektyvumas – parašyti daugiau teksto naudojant mažiau komandų;
- Rašymo kokybė – kuo mažiau padaromų klaidų;
- Priimtinumumas vartotojui – kad renkamo teksto simboliai būtų išdėstyti ekrane optimaliai.

Dėl eksperimentų trukmės ir sudėtingumo, buvo pasirinkti trys iš aukščiau išvardintų tobulinimo aspektų: greitis, efektyvumas, kokybė. Priimtinumumo vartotojui tyrimą reikia atlikti atskiru eksperimentiniu tyrimu.

Šio eksperimento tikslas išnagrinėti teksto rašymo greičio mažinimo bei efektyvumo didinimo galimybes. Analizuoti eksperimentų rezultatus ir pasirinkti geriausius sprendimus, didinančius tekstų rašymo sistemos naudingumą.

5.2. Pasiruošimas eksperimentams

5.2.1. Rašymo greitis

SpellingSquare modulio veikimo principas:

1. Ekrane matoma simbolių lentelė;
2. Vienas iš simbolių stulpelių visada yra išskiriamas (pažymimas raudonu rėmeliu, žr. žemiau pateiktoje nuotraukoje);
3. Praėjus tam tikram laiko intervalui (prototipiniame modulyje intervalas 1000 ms) žymimas kitas simbolių stulpelis kaip aktyvus. Žymėjimo kryptis: iš kairės į dešinę, jeigu nėra kito stulpelio dešinėje – žymimas kairiausias simbolių stulpelis;
4. Gavus pirmąją komandą (pasirinkimo komandą) – aktyvus stulpelis yra pasirenkamas.

A	Ą	B	C	Č	D	E	Ę
Ė	F	G	H	I	Į	Y	J
K	L	M	N	O	P	R	S
Š	T	U	Ū	Ū	V	Z	Ž
	.	,	-				

22 pav. SpellingSquare simbolių lentelė su aktyviu stulpeliu

Po aktyvaus stulpelio pasirinkimo vykdomi tokie veiksmai:

1. Vienas iš pasirinkto stulpelio simbolių visada yra išskiriamas (pažymimas raudonu rėmeliu, žr. žemiau pateiktoje nuotraukoje);

2. Praėjus tam tikram laiko intervalui (prototipiniame modulyje intervalas 1000 ms) žymimas kitas simbolis stulpelyje kaip aktyvus. Žymėjimo kryptis: iš viršaus į apačią, jeigu nėra kito simbolio apačioje – žymimas viršutinis pasirinkto stulpelio simbolis;
3. Gavus pirmąją komandą (pasirinkimo komandą) – aktyvus simbolis yra fiksuojamas kaip rašomas simbolis ir yra pridamas prie rašomo teksto.
4. Po atliktos simbolio pasirinkimo komandos pereinama vėl į stulpelių rinkimosi veiksmų ciklą.

A	Ą	B	C	Č	D	E	Ę
Ė	F	G	H	I	Į	Y	J
K	L	M	N	O	P	R	S
Š	T	U	Ū	Ū	V	Z	Ž
	.	,	-				

23 pav. SpellingSquare simbolių lentelė su aktyviu simboliu

SpellingSquare turi ir antrąją komandą – atšaukimo arba trynimo. Jeigu yra pasirinktas stulpelis ir išskviečiama atšaukimo komanda, tai stulpelio pasirinkimas yra atšaukiamas ir vėl pereinama į stulpelio rinkimosi etapą. Jeigu yra išskviečiama atšaukimo komanda esant stulpelio rinkimosi etapui – nutrinamas vienas simbolis jau parašytame tekste, jeigu nėra nė vieno parašyto simbolio – nevykdoma jokia operacija.

Tokiu būdu yra rašomas tekstas naudojant SpellingSquare modulį. Toks rašymo principas nėra labai patogus, nes dalis vartotojų nori rašyti greičiau, dalis – lėčiau. O esant tokiam realizavimui greitis yra nekintamas. Dėl fiksuoto žingsnio trukmės rašymo greitis irgi yra fiksuotas.

Siekiant pagerinti rašymo greitį ir naudojimosi įrankiu naudingumą – buvo realizuotas **dinaminis greitėjimo/lėtėjimo algoritmas**. Algoritmo veikimo principas:

1. Pradedant naudoti programą – žingsnio intervalui naudojama numatytoji reikšmė (tam tikras ms skaičius);

2. Įvykdžius pasirinkimo komandą (stulpelio pasirinkimą arba simbolio pasirinkimą) žingsnio intervalas yra sumažinamas;
3. Įvykdžius atšaukimo komandą (pasirinkto stulpelio atšaukimas arba parašyto simbolio nutrynimasis) žingsnio intervalas yra padidinamas.

Mažinant intervalą neperžengiama minimali intervalo trukmė. Didinant intervalą neperžengiama maksimali intervalo trukmė. Reikšmės: numatytoji intervalo trukmė, intervalo didinimo, mažinimo žingsnis, minimali ir maksimali intervalo trukmė - pasirenkamos nustatymuose, pagal varototojų poreikius.

Regulation parameters

Current period ms

Increase/decrease period ms

Minimum period ms

Maximum period ms

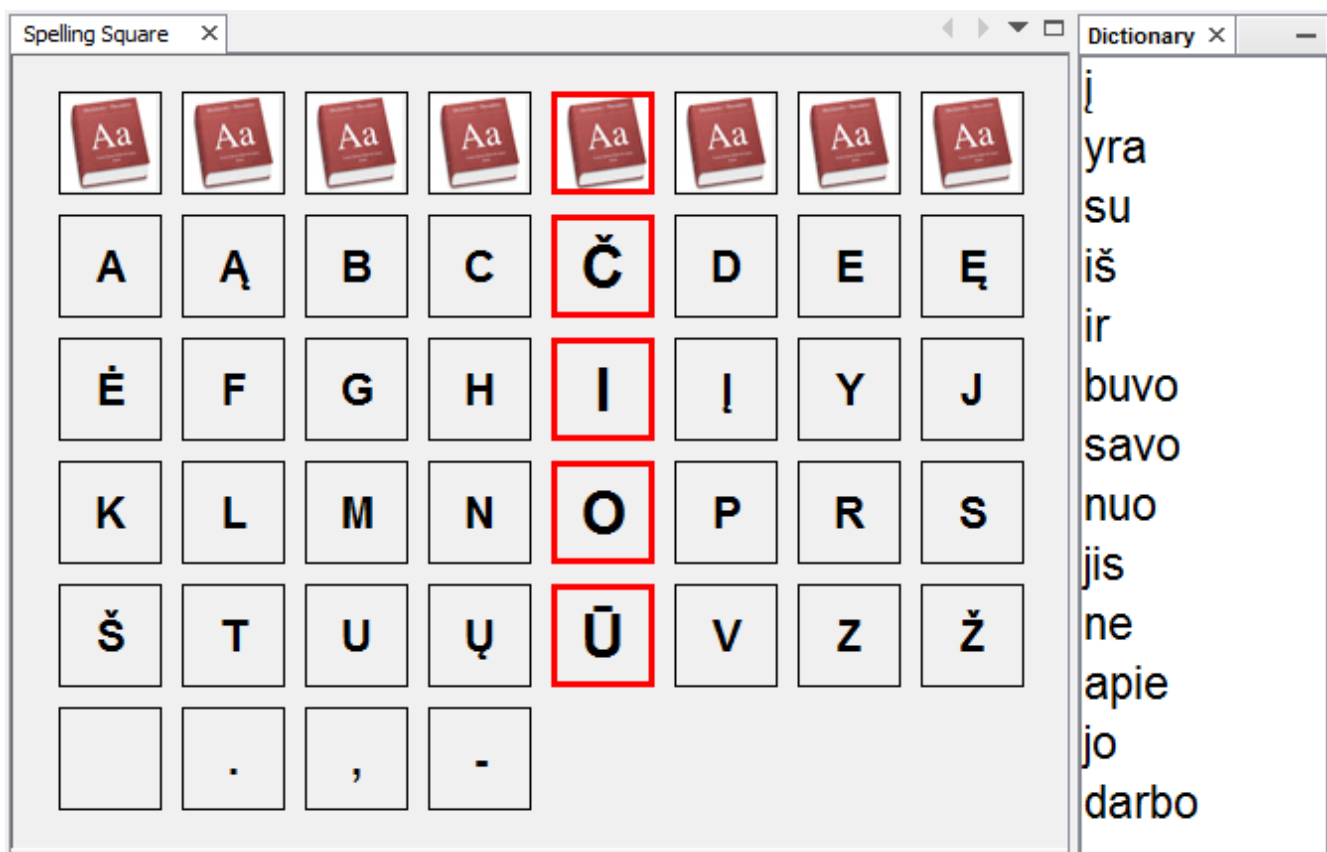
24 pav. Greitėjimo/lėtėjimo algoritmo nustatymai

5.2.2. Rašymo efektyvumas

Esama SpellingSquare modulio versija suteikia galimybę naudoti simbolinį teksto rašymą, t.y. galima rašyti tekstą tik po vieną simbolį. Vieno simbolio parašymui reikia 2 pasirinkimo komandų (stulpelio pasirinkimui ir simbolio pasirinkimui), tarp kiekvieno aktyvaus elemento pasikeitimo daroma laiko pauzė ir dėl to visas rašymo procesas užtrunka norint parašyti vieną sakinį. Vartotojas yra apsunkinamas ir pasiekiamas didelis nuovargis rašant trumpą tekstą. Siekiant kuo labiau sumažinti šiuos rašymo trūkumus buvo nuspręsta realizuoti **dinaminį dažninio klasifikavimo žodyną**, palengvinantį rašymo procesą. Naudojant žodyną vartotojui yra suteikiama galimybė parašyti žodį naudojant mažesnę komandų skaičių.

Žodyno realizavimo principai:

- Žodyno pasirinkimui naudojamas specialus simbolis su nuotrauka, kurioje nupiešta knyga su „A“ raidėmis;
- Žodyno pasirinkimo simboliai yra pirmoje simbolių lentelės eilutėje arba pasutinėje simbolių lentelės eilutėje, priklausomai nuo pasirinkimo nustatymuose;
- Žodynas yra matomas dešinėje ekrano pusėje vertikaliajose juostoje;
- Žodyne matomi nufiltruoti žodžiai pagal dabar rašomą žodį;
- Filtravimas žodyne vykdomas pagal abėcėlę arba pagal naudojimo dažnį.



25 pav. SpellingSquare langas su žodynu

Pradedant naudoti programą pirmą kartą – žodyne yra standartinis žodžių rinkinys su naudojimo dažniais toje kalboje. Nustatymų lange galima pasirinkti:

- Kurioje vietoje bus žodyno aktyvavimo mygtukai;
- Kokio pobūdžio filtravimas bus vykdomas;
- Kiek daugiausiai žodžių bus rodoma ekrane vienu metu;
- Kokia yra žodžio naudojimo dažnio didinimo konstanta;
- Ar papildyti žodyną naujais žodžiais.

Activation buttons	
<input checked="" type="radio"/>	Add first line
<input type="radio"/>	Fill last line
Sorting	
<input type="radio"/>	Alphabetic
<input checked="" type="radio"/>	By frequency
Dictionary properties	
Maximal words number	<input type="text" value="5"/>
Frequency increase	<input type="text" value="100"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Add new words to dictionary

26 pav. Žodyno nustatymų parametrai

Žodyno naudojimas vykdomas rašant tekstą. Rašant žodžiai yra filtruojami pagal parašytus simbolius. Jeigu parašyta raidė „a“, tai visi žodyne esantys žodžiai yra prasidedantys raide „a“. Žodyne pateikiamų žodžių tvarka gali būti arba pagal abėcėlę arba pagal dažnį. Jeigu rikiavimo tvarka abėcėlinė, tai visi žodyne matomi žodžiai yra surūšiuoti pagal abėcėlę. Jeigu rikiavimo tvarka dažninė – tai aukščiau yra tie žodžiai, kurie yra dažniau vartojami kalboje. Pvz.: parašius raidę „a“ ir esant dažniam rikiavimui, žodžiai „apie“, „aš“, „ar“ yra aukščiau nei žodis „ačiū“, nes jie yra naudojami dažniau, todėl ir jų pasirinkimo tikimybė yra didesnė. Kai vartotojas rašo žodžius, kiekvieno parašyto žodžio naudojimo dažnis yra padidinamas konstantine verte, kuri yra parinkta nustatymuose. Jeigu vartotojas parašo tokį žodį, kurio nėra žodyne (kokį nors barbarizmą), jis yra įtraukiamas į žodyną, jeigu tai yra numatyta nustatymuose.

5.2.3. Rašymo kokybė

Tyrimo metu atliekami veiksmai, kurie traktuojami kaip klaida, yra šie:

- Patekimas į netinkamą simbolių stulpelį;
- Patekimas į žodyna to nenorint;
- Netinkamos raidės ar simbolio pasirinkimas;
- Netinkamo žodžio pasirinkimas.

Viso tyrimo metu yra skaičiuojamas tiriamojo asmens padarytų klaidų skaičius. Ir nagrinėjant tyrimo rezultatus bus daroma išvada, kaip tiriamas funkcionalumas (dinaminis greitėjimo/lėtėjimo algoritmas, dinaminis dažninio klasifikavimo žodynas) įtakoja rašymo kokybę – klaidų skaičių.

5.2.4. Priimtinumas vartotojui

Dėl tyrimų sudėtingumo bei trukmės - šiame eksperimente atliekamas nebus. Reikalingas atskiras eksperimentinis tyrimas.

5.3. Eksperimentų metodika

Kadangi eksperimentų tikslas išnagrinėti teksto greitinimo ir efektyvumo didinimo galimybes, tad kiekvieno eksperimento metu reikalinga atlikti šiuos 4 etapus:

1. Naudojant pradinį SpellingSquare modulį;
2. Naudojant SpellingSquare modulį su greitinimo/lėtinimo algoritmu;
3. Naudojant SpellingSquare modulį su dinamiu dažninės klasifikacijos žodynu;
4. Jeigu ir 2, ir 3 punktai pagerino sistemos naudojamumą – naudoti ir greitinimo/lėtinimo algoritmą, ir žodyną.

Kad eksperimentų rezultatai būtų teisingi ir objektyvūs, turi būti laikomasi šių principų:

1. Tyrimų subjektai turi būti įvairaus amžiaus abiejų lyčių atstovai;
2. Tyrimams naudojami tekstai turi būti iš įvairių tematikų;
3. Tyrimo metu nenuvarginti subjekto, kad rezultatai būtų objektyvūs.

Tam kad būtų tenkinamas 1 principas buvo nuspręsta atlikti tyrimus su 5 įvairių amžiaus kategorijų asmenimis. Dėl 2 principo buvo pasirinktos 3 teksto pastraipos iš skirtingų tematikų: buitinio, techninio ir matematikos pastraipos. Jos yra pateiktos **PRIEDUOSE**. Tad kiekvieno iš 4 eksperimento etapų bus rašomos 3 pastraipos. Kadangi eksperimentas susideda iš 4 etapų po 3 pastraipas, tai per visą eksperimentą bus parašoma 12 pastraipų. Remiantis 3-čiuoju principu priimtos šios taisyklės:

1. Po kiekvienos parašytos pastraipos, tiriamajam būtina daryti ne trumpesnę nei 5 min. pertrauką;
2. Po kiekvieno užbaigto etapo, tiriamajam būtina daryti ne trumpesnę nei 15 min. pertrauka.

Atliekant 2-ąjį eksperimento etapą, prieš pradėdant rašyti kiekvieną pastraipą yra atstatomos numatytosios parametrų reikšmės nustatymuose:

- Numatytasis žingsnio ilgis – 800 ms;
- Žingsnio didinimo/mažinimo konstanta – 50 ms;
- Ilgiausia galima žingsnio trukmė – 1100 ms;
- Trumpiausia galima žingsnio trukmė – 500 ms.

Atliekant 3-ąjį eksperimento etapą, prieš pradėdant rašyti kiekvieną pastraipą yra atstatomas pradinis žodynas, kuris būna paleidžiant programą pirmąjį kartą. Tuo tikslu, kad dažniai ir žodžių kiekis pradėdant eksperimentą visada būtų toks pats.

Atliekant 4-ąjį eksperimento etapą, prieš pradėdant rašyti kiekvieną pastraipą yra atliekami ir 2-ojo ir 3-ojo etapų atstatymo veiksmai.

5.4. Tekstų rinkimo eksperimentai

Eksperimentai atlikti su šiais asmenimis:

5 lentelė. Eksperimentuose dalyvavę asmenys

Eil. Nr.	Amžius	Lytis
1.	24	M
2.	25	V
3.	28	V
4.	32	V
5.	54	M

5.4.1. Eksperimentų pradžia

Prieš pradėdant eksperimentus, kiekvienas asmuo yra supažindinamas su sistema ir išmokomas ją tinkamai naudoti. Prieš kiekvieną pastraipos rašymą atliekami paruošiamieji ir kalibravimo darbai:

1. Patogiai uždedamas įrenginio „OCZ NIA“ lankelis;
2. Patikrinami abiejų raumenų EMG signalai;
3. Pašalinami visi triukšmai, jei tokių yra;
4. Sureguliuojamos ribinių verčių reikšmės pagal einamąsias signalo vertes;
5. Atliekami testiniai komandų iškvietimo žingsniai, kurių metu įsitikinama sistemos naudojamumu.



27 pav. „OCZ NIA“ įrenginys paruoštas eksperimentui

5.4.2. Eksperimentų eiga

Visi eksperimentai buvo pradedami apie 12val., tam, kad būtų galima visus eksperimento etapus vienam žmogui atlikti per vieną dieną.

Eksperimentų vykdymas buvo sėkmingas. Tiriamieji nr.: 1, 2, 3, 4 – įvykdė visus tyrimų etapus. Nr. 5 įvykdė 1, 2, 3 etapus ir nevykdė 4 etapo, nes 2-sis etapas buvo nesėkmingas, todėl nebuvo poreikio vykdyti kompleksinį 4 etapą.

Kartais, vykdant eksperimentą atsirasdavo nenumatytų trikdžių ar buvo prarandamas švarus kontaktas ir signalo vertė tapdavo neklasifikuojama. Tokia situacija buvo eksperimentą vykdant 2-jam asmeniui, rašant 2-ojo etapo 3-ią pastraipą, ir 3-jam asmeniui, rašant 4-ojo etapo 2-ąją pastraipą. Jeigu tyrimo metu atsirasdavo nenumatytų trikdžių – tyrimas (to etapo vienos pastraipos rašymas) būdavo sustabdomas, daroma 5 min. pertrauka ir pastraipos rašymas kartojamas nuo pradžių.

Tiriamieji vykdydami eksperimentus jautėsi gerai, tačiau visi jautė didesnę ar mažesnę nuovargį nuo ilgesnio teksto rašymo. Nuovargis buvo ryškiai matomas mažėjant EMG signalo amplitudei.

5.4.3. Eksperimentų rezultatai

Visas eksperimentų vykdymo procesas buvo nuosekliai registruojamas. Fiksuojamų įvykių ir procesų sąrašas:

- Vykdomo trukmė;
- Atliktų veiksmų skaičius;
- Pasirinkimų skaičius;
- Atšaukimų skaičius;

- Nutrintų simbolių skaičius;
- Žodžių iš žodyno skaičius (jeigu buvo naudojamas dinaminis dažninio klasifikavimo žodynas);
- Greičio kitimas (jeigu buvo naudojamas dinaminis greitėjimo/lėtėjimo algoritmas).

Toliau yra pateikiami visų tiriamųjų asmenų eksperimentų rezultatai. Bendrieji pastraipų rašymo rezultatai lentelėse ir greičio kitimo grafikas rašant buitinę (nr. 1) pastraipą naudojant dinaminį greitėjimo/lėtėjimo algoritmą (etapas nr. 2).

Tiriamąjo nr. 1 rezultatai

6 lentelė. Tiriamasis nr. 1. Pastraipa nr. 1

Etapas	Vykdyimo trukmė	Komandų skaičius	Pasirinkimų skaičius	Atšaukimų skaičius	Nutrinta simbolių	Pasirinkta žodžių
1.	15:38	262	258	4	2	-
2.	15:08	417	355	61	41	-
3.	11:08	184	175	9	5	18
4.	10:14	270	236	34	13	19

7 lentelė. Tiriamasis nr. 1. Pastraipa nr. 2

Etapas	Vykdyimo trukmė	Komandų skaičius	Pasirinkimų skaičius	Atšaukimų skaičius	Nutrinta simbolių	Pasirinkta žodžių
1.	14:17	233	229	4	3	-
2.	15:02	377	316	144	34	-
3.	10:52	172	163	9	6	7
4.	08:31	236	208	28	16	5

8 lentelė. Tiriamasis nr. 1. Pastraipa nr. 3

Etapas	Vykdyimo trukmė	Komandų skaičius	Pasirinkimų skaičius	Atšaukimų skaičius	Nutrinta simbolių	Pasirinkta žodžių
1.	17:26	251	246	5	3	-
2.	14:35	339	300	39	27	-
3.	18:26	275	234	41	19	11

4.	12:04	312	271	41	18	13
----	-------	-----	-----	----	----	----



28 pav. Tiriomojo nr. 1 greičio kitimo grafikas (etapas nr. 2, pastraipa nr. 1)

Tiriomojo nr. 2 rezultatai

9 lentelė. Tiriamasis nr. 2. Pastraipa nr. 1

Etapas	Vykdomo trukmė	Komandų skaičius	Pasirinkimų skaičius	Atšaukimų skaičius	Nutrinta simbolių	Pasirinkta žodžių
1.	17:51	266	260	6	2	-
2.	14:36	383	329	54	22	-
3.	13:08	194	180	14	5	16
4.	11:35	290	245	45	18	27

10 lentelė. Tiriamasis nr. 2. Pastraipa nr. 2

Etapas	Vykdomo trukmė	Komandų skaičius	Pasirinkimų skaičius	Atšaukimų skaičius	Nutrinta simbolių	Pasirinkta žodžių
1.	14:50	239	233	6	5	-
2.	10:09	288	259	29	8	-
3.	13:01	220	202	18	9	15
4.	11:31	263	223	40	15	10

11 lentelė. Tiriamasis nr. 2. Pastraipa nr. 3

Etapas	Vykdyto trukmė	Komandų skaičius	Pasirinkimų skaičius	Atšaukimų skaičius	Nutrinta simbolių	Pasirinkta žodžių
1.	18:59	270	260	10	8	-
2.	13:00	336	298	38	22	-
3.	17:03	223	210	13	5	9
4.	14:40	320	269	51	31	19



29 pav. Tiriomojo nr. 2 greičio kitimo grafikas (etapas nr. 2, pastraipa nr. 1)

Tiriomojo nr. 3 rezultatai

12 lentelė. Tiriomasis nr. 3. Pastraipa nr. 1

Etapas	Vykdyto trukmė	Komandų skaičius	Pasirinkimų skaičius	Atšaukimų skaičius	Nutrinta simbolių	Pasirinkta žodžių
1.	19:07	263	258	5	2	-
2.	15:00	345	309	36	21	-
3.	12:05	175	168	7	5	14
4.	09:08	219	202	17	11	21

13 lentelė. Tiriomasis nr. 3. Pastraipa nr. 2

Etapas	Vykdyto trukmė	Komandų skaičius	Pasirinkimų skaičius	Atšaukimų skaičius	Nutrinta simbolių	Pasirinkta žodžių
--------	----------------	------------------	----------------------	--------------------	-------------------	-------------------

1.	21:19	247	238	9	7	-
2.	11:09	269	251	18	11	-
3.	11:40	174	167	7	4	12
4.	08:07	201	187	14	4	14

14 lentelė. Tiriamasis nr. 3. Pastraipa nr. 3

Etapas	Vykdomo trukmė	Komandų skaičius	Pasirinkimų skaičius	Atšaukimų skaičius	Nutrinta simbolių	Pasirinkta žodžių
1.	19:29	244	242	2	2	-
2.	12:03	315	286	29	19	-
3.	17:09	211	203	8	4	11
4.	12:16	260	240	20	10	10



30 pav. Tiriamojo nr. 3 greičio kitimo grafikas (etapas nr. 2, pastraipa nr. 1)

Tiriamojo nr. 4 rezultatai

15 lentelė. Tiriamasis nr. 4. Pastraipa nr. 1

Etapas	Vykdomo trukmė	Komandų skaičius	Pasirinkimų skaičius	Atšaukimų skaičius	Nutrinta simbolių	Pasirinkta žodžių
1.	22:42	291	276	15	9	-
2.	17:11	328	299	29	18	-

3.	15:10	195	174	21	12	17
4.	09:01	213	190	23	12	17

16 lentelė. Tiriamasis nr. 4. Pastraipa nr. 2

Etapas	Vykdyto trukmė	Komandų skaičius	Pasirinkimų skaičius	Atšaukimų skaičius	Nutrinta simbolių	Pasirinkta žodžių
1.	18:10	252	240	12	6	-
2.	12:18	250	239	11	6	-
3.	14:41	189	179	10	6	10
4.	08:34	184	177	7	5	9

17 lentelė. Tiriamasis nr. 4. Pastraipa nr. 3

Etapas	Vykdyto trukmė	Komandų skaičius	Pasirinkimų skaičius	Atšaukimų skaičius	Nutrinta simbolių	Pasirinkta žodžių
1.	26:11	302	277	25	14	-
2.	13:37	274	258	16	4	-
3.	21:03	237	218	19	5	7
4.	14:58	250	228	22	11	13



31 pav. Tiriamojo nr. 4 greičio kitimo grafikas (etapas nr. 2, pastraipa nr. 1)

Tiriamajo nr. 5 rezultatai

18 lentelė. Tiriamasis nr. 5. Pastraipa nr. 1

Etapas	Vykdyto trukmė	Komandų skaičius	Pasirinkimų skaičius	Atšaukimų skaičius	Nutrinta simbolių	Pasirinkta žodžių
1.	24:14	323	296	27	17	-
2.	22:42	431	364	67	47	-
3.	18:22	218	193	25	16	12
4.	-	-	-	-	-	-

19 lentelė. Tiriamasis nr. 5. Pastraipa nr. 2

Etapas	Vykdyto trukmė	Komandų skaičius	Pasirinkimų skaičius	Atšaukimų skaičius	Nutrinta simbolių	Pasirinkta žodžių
1.	16:09	246	237	9	6	-
2.	16:24	284	254	30	13	-
3.	12:52	189	177	12	8	6
4.	-	-	-	-	-	-

20 lentelė. Tiriamasis nr. 5. Pastraipa nr. 3

Etapas	Vykdyto trukmė	Komandų skaičius	Pasirinkimų skaičius	Atšaukimų skaičius	Nutrinta simbolių	Pasirinkta žodžių
1.	20:57	280	265	15	8	-
2.	27:52	502	402	100	70	-
3.	19:32	252	226	26	15	4
4.	-	-	-	-	-	-



32 pav. Tiriamojo nr. 5 greičio kitimo grafikas (etapas nr. 2, pastraipa nr. 1)

5.4.4. Apibendrinti eksperimentų rezultatai

Remiantis visais eksperimentų rezultatais, buvo apskaičiuoti iš jų išplaukiantys rezultatai.

Tikslumas

Rezultatai buvo vertinami pagal tikslumo kriterijų. Reikšmė apskaičiuota remiantis šia formule:

$$T_k = (P_{sk} / K_{sk}) * 100 \quad (2)$$

Formulės reikšmės:

T_k – tikslumo reikšmė %;

P_{sk} – pasirinkimo komandų skaičius;

K_{sk} – bendras komandų skaičius.

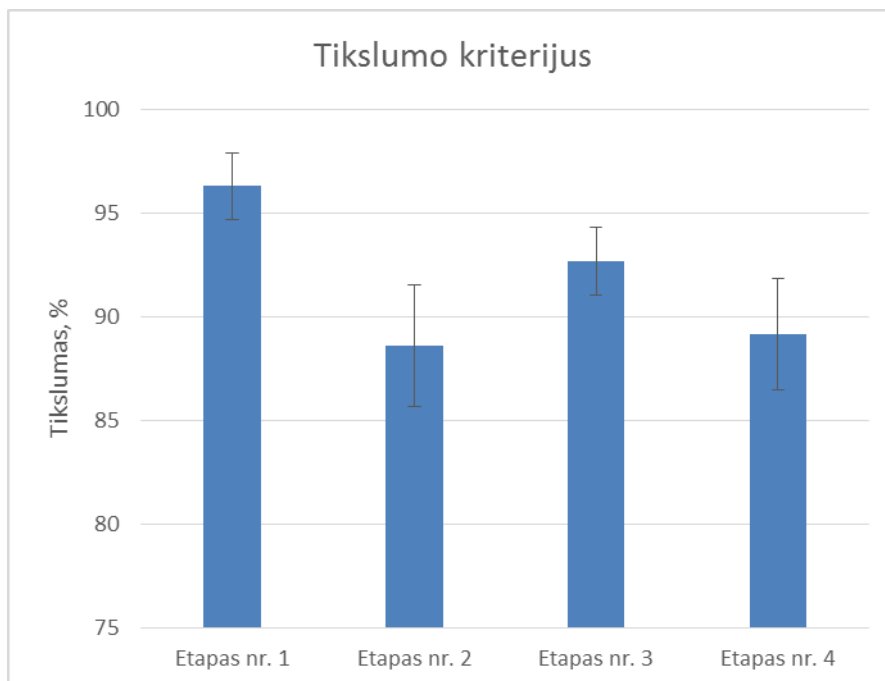
Kiekvienam tiriamajam apskaičiuotas vidutinis etapo tikslumas, kuris yra gautas pagal 3-jų pastraipų tikslumo reikšmes. Toliau lentelėje pateikiami rezultatai.

21 lentelė. Eksperimentų tikslumo kriterijus

Etapas	Tiriamasis nr. 1	Tiriamasis nr. 2	Tiriamasis nr. 3	Tiriamasis nr. 4	Tiriamasis nr. 5	Vidutinė reikšmė
1.	98,25	97,18	97,88	93,94	94,21	96,29
2.	85,82	87,73	91,22	93,64	84,66	88,61
3.	91,66	92,92	96,06	91,97	90,62	92,65
4.	87,47	84,44	92,53	92,20	-	89,16
Vidutinė	90,80	90,57	94,42	92,94	89,83	-

reikšmė						
---------	--	--	--	--	--	--

Pagal turimus rezultatus, buvo sudarytas grafikas, kuriame matomos vidutinės tikslumo reikšmės su standartiniu nuokrypiu.



33 pav. Tikslumo kriterijaus vidutinių reikšmių grafikas

Laikas

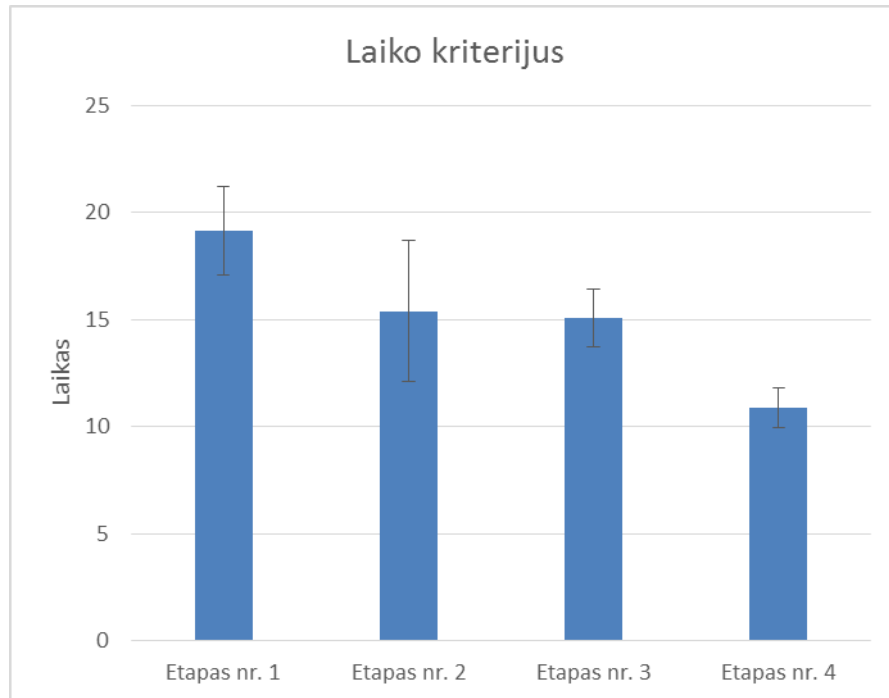
Eksperimento metu rašant kiekvieną pastraipą buvo registruojama rašymo trukmė. Reikšmės buvo fiksuojamos laiko išraiška. Vidutinės laiko trukmės skaičiavimams fiksuota laiko išraiška buvo konvertuojama į dešimtainę formą ir tada suskaičiuotos vidutinės laiko reikšmės. Kiekvienam tiriamajam apskaičiuotas vidutinis etapo laikas, kuris yra gautas pagal 3-jų pastraipų rašymo trukmės reikšmes dešimtainėje formoje. Toliau lentelėje pateikiamos gauti rezultatai visiems tiriamiesiems.

22 lentelė. Eksperimentų laiko kriterijus

Etapas	Tiriamasis nr. 1	Tiriamasis nr. 2	Tiriamasis nr. 3	Tiriamasis nr. 4	Tiriamasis nr. 5	Vidutinė reikšmė
1.	15,78	17,22	19,97	22,35	20,44	19,15
2.	14,92	12,58	12,73	14,37	22,32	15,38
3.	13,48	14,40	13,63	16,97	16,92	15,08
4.	10,27	12,59	9,84	10,85	-	10,89

Vidutinė reikšmė	13,61	14,20	14,04	16,13	19,90	-
-------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	----------

Pagal turimus rezultatus, buvo sudarytas grafikas, kuriame matomos vidutinės laiko reikšmės su standartiniu nuokrypiu kiekviename eksperimentų etape.



34 pav. Laiko kriterijaus vidutinių reikšmių grafikas

Rašymo greitis

Rezultatai buvo vertinami pagal rašymo greičio kriterijų. Reikšmė apskaičiuota remiantis šia formule:

$$G_k = (S_{sk} / L) \quad (3)$$

Formulės reikšmės:

G_k – rašymo greičio reikšmė – simbolių skaičius per minutę;

S_{sk} – parašytų simbolių skaičius (pastraipos ilgis);

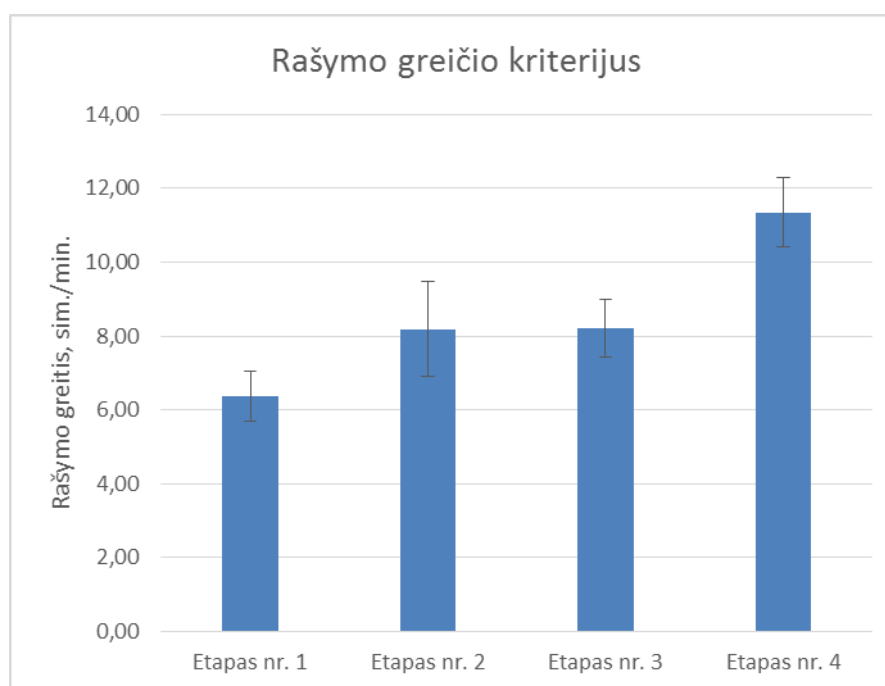
L – laikas, sugaištas rašymui (dešimtaine forma).

Kiekvienam tiriamajam apskaičiuotas vidutinis rašymo greitis, kuris yra gautas pagal 3-jų pastraipų rašymo greičio reikšmes. Toliau lentelėje pateikiamos gauti rezultatai

23 lentelė. Eksperimentų rašymo greičio kriterijus

Etapas	Tiriamasis nr. 1	Tiriamasis nr. 2	Tiriamasis nr. 3	Tiriamasis nr. 4	Tiriamasis nr. 5	Vidutinė reikšmė
1.	7,57	6,95	5,99	5,42	5,93	6,372
2.	7,98	9,60	9,44	8,39	5,54	8,19
3.	9,35	8,39	8,98	7,19	7,21	8,224
4.	11,76	9,57	12,42	11,65	-	11,35
Vidutinė reikšmė	9,17	8,63	9,21	8,16	5,93	-

Pagal turimus rezultatus, buvo sudarytas grafikas, kuriame matomos vidutinės rašymo greičio reikšmės su standartiniu nuokrypiu kiekviename eksperimentų etape.



35 pav. Rašymo greičio kriterijaus vidutinių reikšmių grafikas

6. IŠVADOS

Šiame darbe buvo:

1. Išanalizuota neuroninės kompiuterio sąsajos sritis – apžvelgti taikomi metodai, įėjimo signalai, neuroninės kompiuterio sąsajos tipai, egzistuojančios sistemos.

2. Suprojektuota ir realizuota neuroninės kompiuterio sąsajos sistema, kurios pagalba galima nuskaityti EMG duomenis, šiuos duomenis apdoroti ir klasifikuoti panaudojant signalo lygį. Klasifikavimo rezultatas – teksto rašymo programos valdymo komandos.
3. Pasiūlyti ir aprašyti rašymo greičio, kokybės ir efektyvumo didinimo metodai.
4. Atlikti sistemos eksperimentai naudojant pasiūlytus metodus, siekiant iširti jų įtaką rašymo greičiui, kokybei ir efektyvumui.

Atlikus eksperimentus galima teigti, kad:

1. Valdymas naudojant paviršinio EMG signalo lygį yra pakankamai efektyvus metodas teksto rašymui. Bendras visų eksperimento dalyvių rašymo tikslumas siekia 91,81 %. Žemiausias valdymo tikslumas siekia 84,44 %, o aukščiausias – 98,25 %.
2. Naudojant dinaminį greitėjimo/lėtėjimo algoritmą ir dinaminį dažninio klasifikavimo žodyną vidutinis teksto įvedimo greitis padidėjo 43,13 %.
3. Naudojant dinaminį greitėjimo/lėtėjimo algoritmą ir dinaminį dažninio klasifikavimo žodyną vidutinis per minutę parašomų simbolių skaičius padidintas 78,12 %. Naudojant šiuos sistemos patobulinimus per 1 min. galima parašyti ~ 11,4 simbolių.

Įvertinus aukščiau išvardintus punktus galima teigti: naudojant dinaminį greitėjimo/lėtėjimo algoritmą bei dinaminį dažninio klasifikavimo žodyną yra ženkliai pagerinamas sistemos naudojamumas, teksto rašymo greitis bei efektyvumas.

7. LITERATŪRA

- [1] Vasiljevas, M., Turčinas, R., Damaševičius, R. EMG Speller with Addaptive Stimulus Rate and Dictionary Support. International Workshop on Artificial Intelligence in Medical Applications (submitted)
- [2] Vasiljevas, M., Turčinas, R., Damaševičius, R. Development of EMG-Based Speller. XV International Conference on Human Computer Interaction (submitted)
- [3] Vasiljevas, M., Turčinas, R., Martišius I. Netiesinių operatorių taikymas EEG duomenų apdorojimui. *Informacinės technologijos: 17-oji tarpuniversitetinė magistrantų ir doktorantų konferencija: konferencijos pranešimų medžiaga*, 23-26, 2012
- [4] Martišius, I., Vasiljevas, M., Sidlauskas, K., Turcinas, R., Plauska, I., Damasevicius, R. Design of a Neural Interface Based System for Control of Robotic Devices. *Information and software technologies : 18th International Conference, ICIST 2012, Kaunas, Lithuania*, 297-311, 2012

- [5] Zhang, Y., Dai, L., Luo, Y., Hu, H. Design of a Surface EMG – Based Human – Machine Interface for an Intelligent Wheelchair. *Electronic Measurement & Instruments (ICEMI), 2011 10th International Conference*, 3, 132-136, 2011
- [6] Wei, L., Hu, H., Yuan, K. Use of Forehead Bio-Signals for Controlling an Intelligent Wheelchair. *Robotics and Biomimetics, 2008. ROBIO 2008. IEEE International Conference*, 108-113, 2009
- [7] OCZ NIA neuro impulsų skaitytuvas. [Žiūrėta 2014-04-04]. Prieiga internete: <<http://techreport.com/review/14957/ocz-neural-impulse-actuator>>
- [8] Vasiljevas, M., Šidlauskas, K. Roboto valdymo sistemos neuroninės kompiuterio sąsajos tyrimas. *Informacinės technologijos : 18-oji tarpuniversitetinės tarptautinės magistrantų ir doktorantų konferencijos "Informacinė visuomenė ir universitetinės studijos" (IVUS 2013) medžiaga*, 181-184, 2013
- [9] Micera, S., Carrozza, M.C., Beccai, L., Vecchi, F., Dario, P. *Hybrid Bionic Systems for the Replacement of Hand Function, Proceedings of the IEEE, vol.94, no.9, 1752-1762, 2006*
- [10] Hainisch, R., Platz, M. *Phonetic Control: A new Approach for Continuous, Non-invasive Device Control Using the Vocal Tract, Rehabilitation Robotics, 2007. ICORR 2007. IEEE 10th International Conference*, 688-692, 2007
- [11] Rached, T.S., de S Santos, D.F., Perkusich, A., Almeida, H., de Almeida Holanda, M.M. *BCI-aware pervasive multimedia for motor disabled people, Information Society (i-Society), 2010 International Conference*, 86-91, 2010
- [12] „NeuroSky MindSet“ EEG skaitymo įrenginys. [Žiūrėta 2013-05-16] Prieiga internete: <<http://www.neurosky.com/>>
- [13] „NetBeans Platform“ programinės įrangos kūrimo karkasas. [Žiūrėta 2014-04-06] Prieiga internete: <<https://netbeans.org/kb/trails/platform.html>>
- [14] Budrys, V. Klinikinė neurologija *Vaistų žinios, Vilnius, 2009*
- [15] Kėvelaitis, E., Illert, M., Hultborn, H. Žmogaus fiziologija *KMU Leidykla, 2006*
- [16] BCI2000 programinis paketas. [Žiūrėta 2011-11-13] Prieiga internete: <<http://bci2000.org/BCI2000/Home.html>>
- [17] OpenViBE programinis paketas. [Žiūrėta 2011-11-13] Prieiga internete: <<http://openvibe.inria.fr/>>
- [18] BCILAB programinis paketas. [Žiūrėta 2011-11-13] Prieiga internete: <<http://sccn.ucsd.edu/wiki/BCILAB>>
- [19] BCI++ programinis paketas. [Žiūrėta 2011-11-13] prieiga internete: <http://www.sensibilab.campuspoint.polimi.it/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=18&Itemid=144>

- [20] xBCI programinis paketas. [Žiūrėta 2011-11-13] prieiga internete: <<http://xhci.sourceforge.net/>>
- [21] Hoffmann, U., Vesin, J.M. Ebrahimi, T. Recent advances in brain-computer interfaces. *IEEE 9th Workshop on Multimedia Signal Processing, MMSP 2007*, 17, 2007.
- [22] Haykin, S. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice Hall, 1998
- [23] Karatzoglou, A., Meyer, D., Hornik, K. Support Vector Machines in R. *Journal of Statistical Software*, 15 (9), 2006
- [24] Chambayil, B., Singla, R., Jha, R. Virtual keyboard BCI using Eye blinks in EEG. *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2010 IEEE 6th International Conference*, 466 – 470, 2010

8. PRIEDAI

8.1. Parengti straipsniai

8.1.1. EMG Speller with Addaptive Stimulus Rate and Dictionary Support

M. Vasiljevas, R. Turčinai, R. Damaševičius
Software Engineering Department, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania

Email: {mindaugas.vasiljevas, robertas.damasevicius}@ktu.lt

Abstract—Ambient Assisted Living (AAL) aims to improve the quality of daily life for all humans in different periods of life. Neural-Computer Interface (NCI) can be used within AAL environments to provide alternative communication means for impaired persons bypassing the need for speech and other motor activities. By monitoring, analyzing and responding to muscular activity (EMG signals) of users, NCI systems are able to monitor, diagnose and respond to the cognitive, emotional and physical states of users in real time. In this paper we analyze and develop a speller application based on the EMG interface. We analyze requirements for developing interfaces for disabled users and interfaces of known speller applications, and describe the development of the EMG-based speller as a benchmark application. The developed speller has adaptive stimulus rate and allows word selection from dictionary. We evaluate performance and usability of the developed speller using a set of empirical (accuracy, information transfer speed, input speed), ergonomic (NASA-TLX scale) and conceptual (humanistic intelligence) attributes.

I. INTRODUCTION

Ambient Assisted Living (AAL) environments comprise assisted technology devices, communication protocols and interfaces used to improve the quality of daily life for humans in different periods of their life [1]. Considering predictions of the demographic changes in society, AAL particularly focuses on elderly people though people with minor disabilities such as motor impairments can benefit, too. The AAL systems are user-centered and specifically are based on the concept of *User Interfaces for All* [2]. The concept aims at efficiently and effectively addressing the accessibility problems in human interaction with software applications and services while meeting the individual requirements of the users in general, including disabled and elderly people. Following the vision of e-Inclusion, the aim to “leave no-one behind” when enjoying the benefits of information and communication technology [3].

In the AAL environments, *Neural-Computer Interfaces* (NCI) can be used to provide alternative communication means for persons with disabilities bypassing the need for speech and other motor activities. NCI is similar to *Brain-Computer Interface* (BCI) in methods used as well as in applications, however it uses the Electromyography (EMG) data rather than the Electroencephalography (EEG) data to establish an interface between human peripheral neural system and computers by recording electrical signals governing muscular movements of a subject. The concepts are particularly suited to the needs of the handicapped as the cores of the smart environments and virtual reality applications. The state of a user is captured using

sensors attached to the body. Then a physiological computing system creates a bio-cybernetic neurofeedback loop involving both human users and computers [4], which allows to produce a representation of the user's operational context. The loop may be designed to offer assistance if the user is frustrated or unable to perform the task due to excessive mental workload, adapt the level of challenge to sustain or increase task engagement if the user is bored or demotivated by the task, incorporating an emotional display element into the user interface, or alert for help if the user is not responsive [5].

When developing NCI systems for older adults (over 60) one has to consider that older people often have multiple, minor motor and cognitive function impairments or have low control over their motor functions [6]. Given the often reported lower skin hydration in the elderly, the skin conductance is lower which leads to lower amplitudes and signal-to-noise ratio of measured EMG signals [7]. They also may also have slower control over muscle activities of the hands, fingers, etc. and decision-making may also be slower. For this group, the motivation to use NCI is completely different from the first group. Therefore, the design of a NCI for older adults should reflect their non-typical EMG profiles or slower response times.

Speller is a typical example of NCI/BCI application, which establishes a communication channel for people unable to use traditional keyboard and still remains a benchmark for BCI and NCI methods [8]. The speller is aimed to help those disabled persons unable to activate muscles traditionally used in communication (hands, tongue) to spell words by utilizing their neural activity. Typically, spellers use signal amplitude information, however integrating it with signal processing methods such as noise and dimensionality reduction methods and user intent prediction techniques can improve the results [9].

In this paper, we analyze the requirements for developing interfaces for impaired users and visual interfaces of known speller applications, describe the development of a speller as a typical benchmark application, and evaluate its performance and usability of the developed speller using a set of empirical (accuracy, information transfer speed, input speed), ergonomic (NASA-TLX scale) and conceptual (humanistic intelligence) attributes.

The structure of the remaining parts of the paper is as follows. Section II analyzes the requirements for NCI systems and, specifically, NCI spellers. Section III discusses the interfaces of speller applications. Section IV describes the development of speller application. Section V presents the experimental results. Section VI evaluates the results. Finally, Section VII presents conclusions.

I. ANALYSIS OF REQUIREMENTS FOR SPELLER APPLICATION

The requirements for speller application can be categorized at different levels depending upon the physical abilities of its users [10]: 1) Users with no physical disability, who may use NCI for entertainment or other conditions where physical movement is restricted. 2) Users with minor impairments (such as older persons). 3) Users with severe physical disabilities, who may wish to use NCI as a secondary input. 4) Users who are almost locked-in (having limited muscle control), who may need to use NCI as a method for communication.

First, the speller must follow general requirements for smart systems to be integrated into the AAL environments. Next, the specific requirements for impaired users (and, specifically, for older persons) must be followed. Impaired users need assistance such as automatic learning of user's behavior to estimate his/her current needs.

Since humans often make mistakes or errors in interacting with machines, for any human-operated system, user interfaces should be designed such that prevent errors whenever possible; deactivate invalid commands; make errors easy to detect and show users what they have done; and allow undoes, reverse, correct errors easily [11].

For smart systems, the following principles (also called "operational modes") of Humanistic Intelligence Framework [12] must be satisfied:

1) **Constancy:** the interface should operate continuously to read signals from human to computer and to provide a constant user-interface.

2) **Augmentation:** the primary task is increasing the intelligence of the system rather than computing tasks.

3) **Mediation:** the interface mediates between human senses, emotions and perceptions and acts as information filter by blocking or attenuating undesired input to decrease negative effects of interaction (such as fatigue, information overload, etc.) as well as to increase positive effects (such as user satisfaction) by amplifying or enhancing desired inputs.

According to Lopes [13], the user interface for persons with disabilities must: support user variability allowing to provide the means to adapt to user-specific requirements; support of a wide range of input devices and output modes; provide minimal user interface design; promote interaction and retain user attention on the tasks; and provide strong feedback mechanisms that may provide rewarding schemes for correct behavior (results).

The requirements for interfaces for impaired users can be formulated as follows [1]: 1) **Limited access to details:** complex and vital details of the system have to be hidden to avoid user overwhelming and trapping. 2) **Self-learning:** detected common patterns in the behavior of the user should be used to automatically create rules or shortcuts that speed and ease up the use of the system. 3) **System interruption:** Impaired users have in most cases no idea how the system is working, therefore easy cancellation of system's activities must be ensured.

In the questionnaire-based study of potential BCI user requirements towards assisted technologies [14], the participants rated

participants rated “functionality” (aka effectiveness) as the most important requirement, followed by “possibility of independent use” and “easiness of use”.

II. REVIEW OF SPELLER INTERFACES

Many different variants of interfaces have been proposed and designed for speller, a de-facto benchmark application of BCI/NCI. Based on the complexity and visual representation of symbols to input, they can be categorized into the following classes:

Linear (or single character) speller: all symbols are shown and each symbol is flashed individually until symbol selection is done [15].

Matrix (or Row-Column) Speller: All letters are arranged in a matrix. First, speller flashes an entire column (Fig. 1, left) or row of characters (Fig. 1, right). Then, single letters are flashed in a sequence, and can be selected. Different matrix sizes can be used, e.g., a 6x6 matrix containing all 26 letters of the alphabet and 10 digits (0-9) [16], or even a full QWERTY keyboard [17].



Fig. 1. Example of matrix speller interface.

Checkerboard Speller [18]: the 8x9 matrix is virtually superimposed on a checkerboard (Fig. 2, left), which the participants never actually see. The items in white cells of the 8 x 9 matrix are segregated into a white 6 x 6 matrix and the items in the black cells are segregated into a black 6 x 6 matrix. Before each sequence of flashes, the items in Fig. 2 (left) randomly populate the white or black matrix, respectively, as shown in Fig. 2 (middle). The checkerboard layout controls for adjacency-distraction errors, because adjacent items cannot be included in the same flash group. The users see random groups of six items flashing (as opposed to rows and columns) because the virtual rows and columns depicted in Fig. 2 (middle) flash.

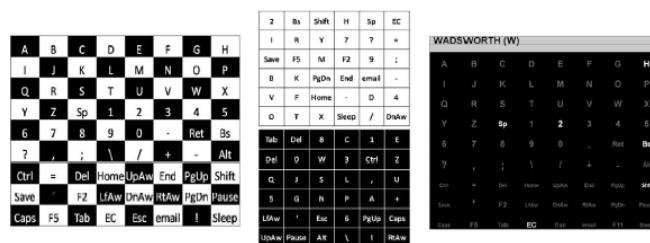


Fig. 2. Checkerboard intherface of the speller [18]

Frequency-based layout accounts for the relative frequency of character occurrence in a language as in Bremen SSVEP-based BCI-speller [19]. It has in the middle of the screen a virtual keyboard with 32 symbols (see Fig. 3) surrounded by five boxes flickering at different frequencies. These boxes correspond to commands for navigating the cursor (indicated by red color), and for selecting the intended character. The application starts with a cursor in the central position corresponding to the most frequent character in English (i.e., “E”). Letters with the higher frequency of occurrence are positioned closer to the center while the less frequent ones are further away. The user can navigate the cursor to the desired letter and

confirm his/her choice with the “Select” command. The further the character is located from the center, the more command selections (cursor movements) are required.

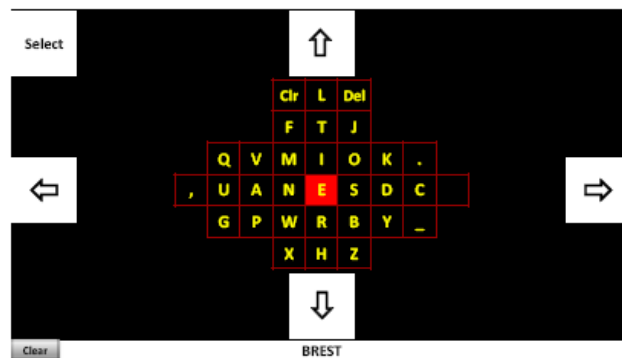


Fig. 3. Interface of the Bremen BCI speller [19].

Region-based Speller: groups of characters arranged into different regions, which contain different subsets of characters (Fig. 4). When the user confirms the selection of the group, the characters of the group are divided into new groups until the desired character is selected. Examples of such interface are 27 symbol triads [20] or 64 symbol quadrants [21].



Fig. 4. Consecutive stages to select symbol in the quadrant region-based speller [21]

The Rotate-Extend (REx) paradigm [10] consists of a wheel divided into segments (see Fig. 5). An arrow in the centre of the wheel controls the selection of target segments. One mental class is used to control the rotation of the arrow, and the other class extends the arrow to select the target segment. Example of Rex interface is Hex-o-Spell speller [22], which allows 30 different characters to be typed in. The characters are shown in six adjacent hexagons distributed around a circle. Each hexagon contains five characters and a „go back“ command. For the selection of the hexagons, there is an arrow in the center of the circle. After selection, the characters in all hexagons, except for the selected one disappear, while the remaining characters and the „go back“ command are mapped into six hexagons around the circle. Using the same arrow-based strategy, the user selects the desired character or decides to go back to the previous level of the interface to correct a mistake. Another implementation of REx interface is Oct-o-spell, where a larger set of symbols is used [23].

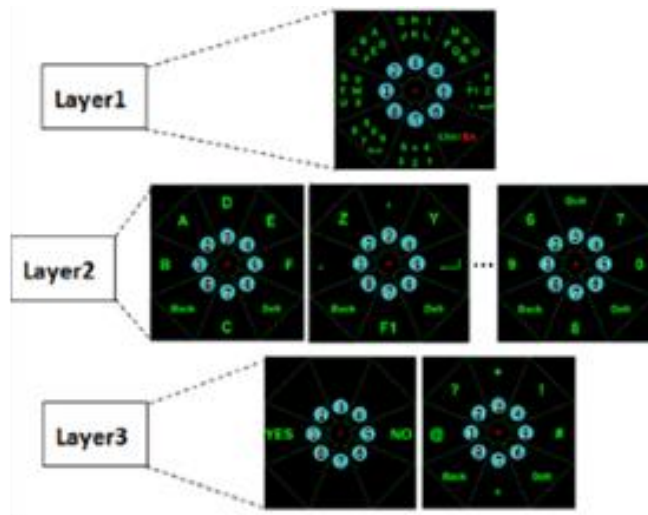


Fig. 5. Interface of Oct-o-spell speller [23]

The overview of visual interfaces of spellers can be summarized as follows. The interfaces can be classified according to interface paradigm (linear/single, matrix, checkerboard, frequency layout, region-based, Rotate-Expand), stimulus type (the way each individual character changes, e.g., flashing frequency, color change, distance to target, etc.), stimulus rate (the speed at which individual characters change), stimulus pattern (grouping of symbols in interface), character set (usually includes all letters of the alphabet as well as additional symbols such as numbers, separation marks, etc.), enhancing intelligence (additional techniques for improving accuracy of the system and rate of communication such as using language model, word autocomplete, spelling correction or word prediction).

III. DEVELOPMENT OF EMG SPELLER

A NCI system generally comprises the following components: (i) a device that records the muscular activity signals; (ii) a signal preprocessor that reduces noise and artifacts; (iii) a decoder that classifies the de-noised signal into control commands for (iv) an external device or application (e.g., a robotic actuator, a computer program etc.), which provides feedback to the user [24].

Our speller application has three layers as follows: 1) On the lowest layer, the physiological signal is sampled into a data stream of physiological data. Downsampling can be used to decrease amount of data and increase information processing speed at higher levels. 2) On the intermediate layer, data is aggregated and events corresponding to specific patterns of data are generated. Machine learning techniques such as artificial neural networks may be used to recognize such events and generate decisions. 3) On the highest layer, decisions are processed and used to generate control commands for external applications (systems).

The architecture of the developed speller application is shown in Fig. 6. The speller has 6 components: *MainReader* is responsible for control of data reader which is selected to use. *ReaderAPI* is public external interface of third-party EMG data reader modules. *MainController* is responsible for selected control module (executes commands). *NiaReader* is a third-party module implemented for the OCZ NIA data reader device. *SpellingSquare* is a third-party module implemented for text input in symbol matrix using the EMG-based commands.

The dashed rectangle separates system components from external components. Components inside the rectangle are considered as system components. Components outside the rectangle are considered as external components. System was developed with respect to maintenance so that external components were easy to add or remove. The external components are sensors (EMG readers), actuators (robot, etc.) controllers or external software. NetBeans framework was used for development. It provides the opportunity to add third-party components.

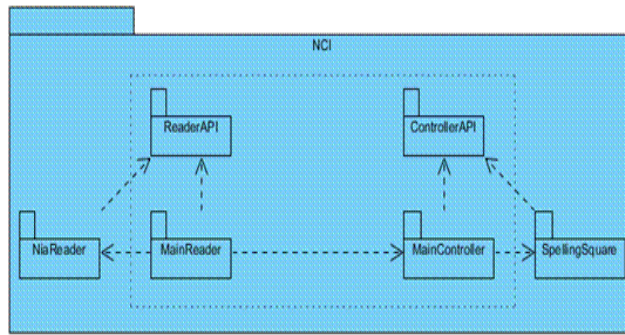


Fig. 6 Architecture of physiological computing system

The feedback to the user is an important aspect of the NCI as it provides the user with information about his/her mistakes as well as motivates the user to increase attention and engagement in the task. The main element of the developed speller application that supports feedback is visual interface (Fig. 7). It contains the representation of the symbol matrix (the size and character set of the matrix is adaptable). The red-colored column indicates the current position of the speller cursor. The cursor moves sequentially from column to column until the user activates the “Select” command. Next, the cursor moves through each symbol in the selected column. After another “Select” command the particular symbol is selected and appears in the text output area. The stimuli rate (the speed of the cursor can vary from 500 to 1500 ms) depends upon the number of input mistakes the user does (the speed increases or decreases automatically to keep the number of mistakes low). The mistake is considered as the “Cancel” command, which exits the selected column or deletes the selected symbol.

The control commands are initiated by the movements of facial muscles (left eye blink for “select” and right eye blink for “cancel”). The user can see the EMG signal feedback in the EMG signal view area of the interface (Fig. 8). The particular control command is performed when the amplitude of the EMG signal is equal or higher than the specified threshold value (marked with yellow horizontal lines). The upper threshold (high positive amplitude) indicates the “Select” command, while the lower threshold (high negative amplitude) indicates the “Cancel” command. The threshold values can be adjusted by the user via settings.

The signal view of EMG while spelling the word “hello” is presented in Figs. 8 & 9. In Fig. 8, the word “hello” is spelled without mistakes. In Fig. 9, the same example is presented but in this case it contains a few mistakes (wrong selections). For correction of those mistakes cancellation commands must be performed. The indicates the command “select”. One trial (selection of one character) contains two positive signal spikes, the first spike is for column selection, the second for letter selection in the corresponding column.



Fig. 7. Interface of developed speller application

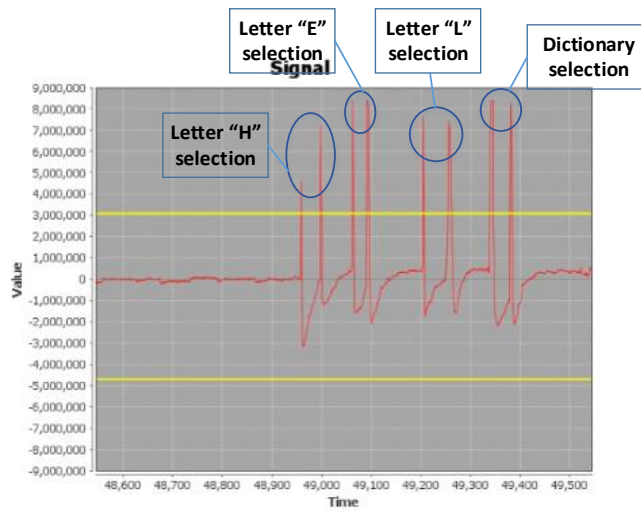


Fig. 8. Signal view of spelling word “hello”. In this example no spelling mistakes were made and only three characters (“hel”) were selected from the symbol matrix. Dictionary selection was made to complete the word.

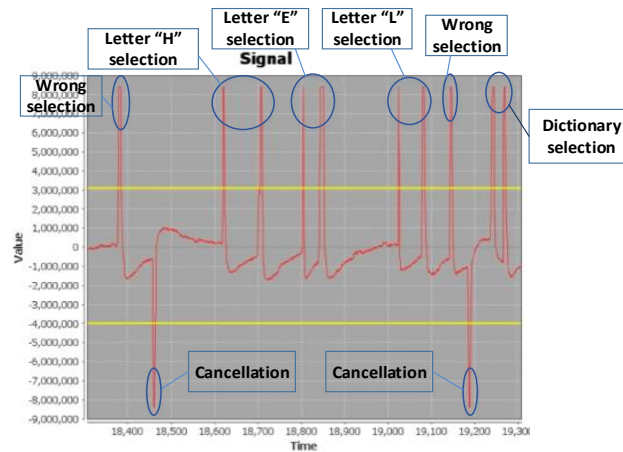


Fig. 9. Signal view of spelling word “hello”. This example contains two spelling mistakes therefore after each wrong selection cancellation command was performed. Three characters (“hel”) were selected from symbol matrix. Dictionary selection was made to complete the word.

The external dictionary can be used while entering symbols. The dictionary words are filtered using the already entered part of the word and shown to the user based on their frequency in the text corpora of the given language. The frequency value of the word is increased based on its usage frequency by the user. If the user enters a word absent in the dictionary, the dictionary is updated.

IV. EXPERIMENTAL SETTING

The experiments we performed with 5 subjects (3 males, 2 females), aged 24–54 (mean = 33) year. Subjects did not have any neurological abnormalities, reported normal or corrected to normal vision, and did not use medication. All subjects gave informed consent prior to the experiment.

EMG was recorded using OCZ Neuro Impulse Actuator equipment, which employs three electrodes across the forehead (see Fig. 10). It uses carbon interface fibers injected into a soft plastic as sensors to capture a combination of muscle, skin, and nerve biopotentials.



Fig. 10. The test subject with OCZ NIA device

The test subjects were seated in front of a table, 100 cm away from the liquid crystal display (LCD) showing stimuli. Visual stimuli were presented on a 13.3" size LCD screen with 1360×768 pixel resolution and a refresh rate of 60 Hz. Contrast and brightness are set to maximum. The size of each character was 1.5×1.5 cm ($0.86 \times 0.86^\circ$ visual angle) and the entire speller matrix was 9.5×13 cm ($5.44 \times 7.42^\circ$ visual angle). Stimuli consisted of intensifications of the rows and columns in sequential order. Intensification was achieved by increasing the size of all characters in the row or column with a factor 500 for 1500 ms. A trial is defined here as spelling of one character. All trials started with the speller being displayed on the screen, together with an instruction indicating which letter to select. Each stimulation sequence was followed by feedback on the screen, showing which letter or group of letters had been selected.

Three text paragraphs were given to the experiment participants. Their task was to input the proposed text paragraphs using speller. All text paragraphs were presented in Lithuanian. The first text paragraph contained 126 characters and its content covered a daily conversation. The second text paragraph contained 111 characters and its content covered a scientific speech. The third text paragraph contained 120 characters and covered a scientific speech with mathematical equations. Each experiment participant repeated the experiment 4 times with different speller settings. The first test was made with basic speller settings. The second test was made with adaptable stimulus time (the stimulus time varied from 500 ms to 1500 ms depending on the amount of mistakes). The third test was made with dictionary. The fourth test was made with both dictionary and adaptable stimulus time. The average accuracy, input speed and bit rate values were calculated. The results of experiments are presented in Section VI.

V. EVALUATION OF RESULTS

Quantitatively, the performance of speller application can be evaluated using accuracy, information transfer speed and input speed metrics. Accuracy is calculated as the percentage of correct decisions. Information transfer rate (or bit rate) indicates how much information can be communicated per time unit and is calculated using Wolpaw's formula [25]. Finally, input speed is measured as the average time required to input a set of benchmark texts.

The accuracy results of BCI/NCI-based speller applications achieved by other authors are within 80-95% range (80% using EEG-based P300 speller [26], 82.77% using ECoG [9], 84.22% using invasive BCI [27], 87.58% using SSVEP based BCI [17], 87.8% for EOG-based speller [28], 89.5% [29], 91.80% [30], 94.8% for RSVP based speller [31], 90.81% for SSVEP-based speller [32], 95.18% for Oct-o-spell [23]).

The information transfer rate (aka bit rate) of the BCI/NCI-based speller applications achieved by other authors are within 7-41 bits/min (7.43 bits/min [33], 17.13 bits/min [29], 19.18 bits/min [30], 11.58-37.57 bits/min [32], 40.72 using SSVEP based BCI [17], 41.02 using ECoG [9]).

The symbol input speed of the BCI/NCI-based speller applications achieved by other authors are within 1-12 CPM (1.38 CPM for EOG-based speller [28], 1.43 CPM for RSVP based speller [31], 4.33 CPM [30], 4.91 CPM [32], 9.39 CPM using SSVEP based BCI [17], 10.16 CPM [23], 12.75 CPM [34]).

The results of the evaluation developed speller are given in Table I and summarized in Figs. 11-13. Best results in terms of both average and peak information transfer rate and input rate values are achieved when adaptable stimulus rate is used together with the dictionary. However, higher input speed inevitably lead to larger number of errors, therefore, accuracy is lower than using the speller with basic settings.

TABLE I.
EVALUATION OF SPELLER APPLICATION

Quantitative metric	Average Value	Peak value
BASIC SETTINGS		
Accuracy	96.29	98.25
Information transfer rate	34.78	41.83
Input speed	6.37	7.57
ADAPTABLE STIMULUS RATE		
Accuracy	88.61	93.64
Information transfer rate	42.53	49.79
Input speed	8.19	9.60
WITH DICTIONARY		
Accuracy	92.65	96.06
Information transfer rate	43.55	49.26
Input speed	8.22	9.35
WITH ADAPTABLE STIMULUS RATE AND DICTIONARY		
Accuracy	89.16	92.53
Information transfer rate	58.69	65.53
Input speed	11.35	12.42

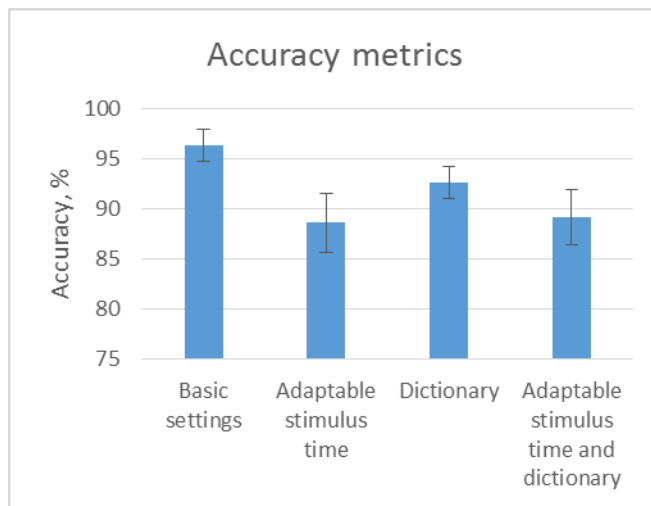


Fig. 11. Accuracy.

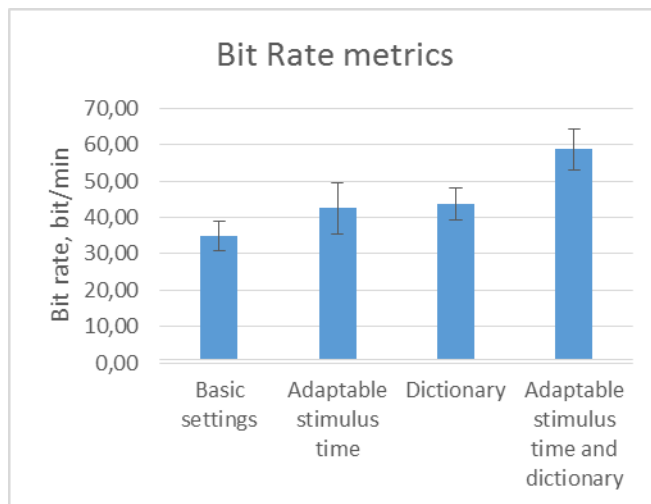


Fig. 12. Information transfer rate

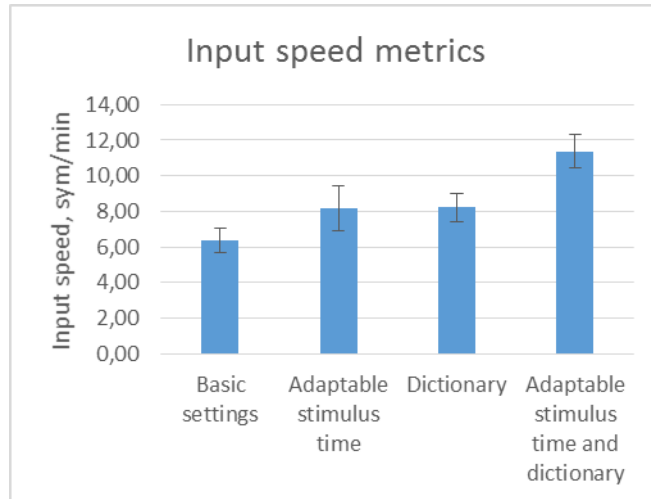


Fig. 13. Input speed

Qualitatively, the speller application can be evaluated based on user’s mental workload required to work with this application. Here we use the NASA Task Load Index (TLX) questionnaires [35], a multi-dimensional rating procedure with six subscales: Mental Demands, Physical Demands, Temporal Demands, Performance, Effort, and Frustration.

The users’ subjective workload was assessed with the NASA Task Load Index (TLX), which identifies (1) the overall workload in the different tasks and (2) the main sources of workload. Workload in the TLX is defined as a “hypothetical construct that represents the cost incurred by a human operator to achieve a particular level of performance.” The TLX is specifically adequate when interested in detecting the sources of workload. Workload is estimated with six subscales (mental, physical, and temporal demand and performance, effort, and frustration). Participants rated subjective workload for each dimension on twenty step bipolar scales with scores from 0 to 100. A weighting procedure was used to combine the six individual ratings into a global score. To do so, the six scales were combined to 14 pairs and subjects had to indicate which scale of the pair contributed more to their workload. A weighted average technique was then used to compute an overall measure of workload (between 0 and 100) and the relative contribution of each subscale to overall workload.

The NASA-TLX contains six factors (shown in Table III), each of which has 20 levels and is scored from 0 to 100. Small score represents low workload and vice versa. The speller application was evaluated by 5 healthy subjects and the results are presented in Table III. Main sources of workload were physical demands and effort. The average score for the workload factors are less than 56%. This observation indicates that the speller interface is acceptable for all subjects. The high scores for the factor “Temporal demand” given by most of the subjects indicates that we the speed of the system must be improved

further. The low scores for “Frustration” indicate that subjects are interested in using speller application and that the results meet their expectations.

Table

II.

Evaluation of speller application using NASA-TLX index

NASA-TLX scale	Average value
Mental Demands	52
Physical Demands	66.6
Temporal Demands	45
Performance	48
Effort	67
Frustration	55

Conceptually, the speller application can be evaluated based on the attributes (Unmonopolising, Unrestrictive, Observable, Controllable, Attentive, Communicative), which every humanistic-intelligence system must have, as formulated by Mann [12] (see Table IV).

Table

III.

Evaluation of speller application based on the Mann’s attributes of humanistic-intelligence system

Attribute	Evaluation	Comment
Unmonopolizing	Yes	The speller does not cut the user off from the outside world
Unrestrictive	Yes	The user can use other channels of communication at the same time while using the speller
Observable	Yes	The speller can get the user’s attention continuously if and the output medium is constantly perceptible
Controllable	Yes	The user can control the speller any time
Attentive	Yes	The speller is context aware, multimodal, and multisensory
Communicative	Yes	The speller allows to communicate directly to other users or spellers

VI. CONCLUSION

In this paper we have described the development of the speller application for an assisted living environment using the EMG interface. This system is controlled by voluntary muscular movements, particularly the orbicular ones (i.e., eye blinking). These movements are translated into instructions which allow the text input.

The developed speller application is adaptive (text input speed can be adapted dynamically in response to the user’s state) and intelligent (machine learning techniques are used to analyze input data to achieve high accuracy of selection as well as to increase text input speed by using word complete and word frequency features).

The speller has been evaluated empirically (using accuracy, information transfer speed and input speed), ergonomically (using the NASA-TLX scale of subjective workload) and conceptually (using the attributes of Mann’s Humanistic Intelligence Framework [12]).

The achieved empirical results are within range of results achieved by other authors, while the ergonomic evaluation suggests that users are interested in using speller application and that the results meet their expectations, yet the speed of the system as well as the usability of its interface could be improved further.

This system can aid people with reduced mobility, extending the time that older people and disabled people can live in their home environment, increasing their autonomy and their confidence.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to acknowledge the contribution of the COST Action IC1303 – Architectures, Algorithms and Platforms for Enhanced Living Environments (AAPELE).

REFERENCES

- [1] A. Marinc, C. Stockl ow, A. Braun, C. Limberger, C. Hofmann, and A. Kuijper. "Interactive personalization of ambient assisted living environments," in *Proc. of the 2011 Int. Conf. on Human interface and the management of information - Volume Part I (HI'11)*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 567-576, 2011.
- [2] C. Stephanidis, "Towards User Interfaces for All: Some Critical Issues," in *Panel Session on "User Interfaces for All - Everybody, Everywhere, and Anytime"*, *Proceedings of HCI International '95*. Tokyo, Japan, pp. 137-142, 1995.
- [3] C. Zickler, A. Riccio, F. Leotta, S. Hillian-Tress, S. Halder, E. Holz, P. Staiger-S alzer, E.J. Hoogerwerf, L. Desideri, D. Mattia, and A. K ubler, "A brain-computer interface as input channel for a standard assistive technology software," *Clin EEG Neurosci*, 42(4), pp. 236-244, Oct 2011.
- [4] N. B. Serbedzija, and S. H. Fairclough, "Biocybernetic loop: From awareness to evolution," *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, pp. 2063-2069, 2009.
- [5] S. H. Fairclough, "Fundamentals of physiological computing," *Interacting with Computers (IWC)*, 21(1-2), pp. 133-145, 2009.
- [6] R. Adams, R. Comley, and M. Ghoreyshi, "The Potential of the BCI for Accessible and Smart e-Learning," in *Proc. of the 5th Int. Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction. Part II: Intelligent and Ubiquitous Interaction Environments (UAHCI '09)*, pp. 467-476, 2009.
- [7] J. Kemp, O. Despr es, T. Pebayle, and A. Dufour, "Age-related decrease in sensitivity to electrical stimulation is unrelated to skin conductance: an evoked potentials study," *Clin Neurophysiol*, 125(3), pp. 602-607, 2014.
- [8] H. Cecotti, "Spelling with non-invasive Brain-Computer Interfaces – Current and future trends," *Journal of Physiology-Paris*, vol. 105, issues 1–3, pp. 106-114, January–June 2011.
- [9] W. Speier, I. Fried, and N. Pouratian, "Improved P300 speller performance using electrocorticography, spectral features, and natural language processing," *Clinical Neurophysiology*, vol. 124, issue 7, pp. 1321-1328, July 2013.
- [10] M. Quek, J. H ohne, R. Murray-Smith, and M. Tangermann, "Designing Future BCIs: Beyond the Bit Rate," *Towards Practical Brain-Computer Interfaces*, pp 173-196, 2013.
- [11] J. Johnson, *Designing with the Mind in Mind: a Simple Guide to Understanding User Interface Design Rules*, Burlington, Morgan Kaufmann, 2011.
- [12] S. Mann, "Wearable computing: Toward humanistic intelligence," *IEEE Intelligent Systems*, 16(3), pp. 10-15, May/June 2001.
- [13] J. B. Lopes, "Designing user interfaces for severely handicapped persons," in *Proc. of the 2001 EC/NSF workshop on Universal accessibility of ubiquitous computing: providing for the elderly (WUAUC'01)*, ACM, New York, USA, pp. 100-106, 2001.
- [14] C. Zickler, V. Kaiser, A. Al-Khodairy, S. Kleih, A. K ubler, M. Malavasi, D. Mattia, S. Mongardi, C. Neuper, M. Rohm, R. Rupp, P. Staiger-S alzer, and E. J. Hoogerwerf, "BCI-Applications: Requirements of Disabled End-Users and Professional Users," *First TOBI Workshop*, Graz, Austria, February 2010.
- [15] R. Ortner, R. Prueckl, V. Putz, J. Scharinger, M. Bruckner, A. Schnuerer, C. Guger, "Accuracy of a P300 Speller for Different Conditions: A Comparison," in *Proc. of the 5th Int. Brain-Computer Interface Conference 2011*. Graz, Austria, pp. 196, 2011.
- [16] L. A. Farwell and E. Donchin, "Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials," *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, vol. 70, no. 6, pp. 510-523, Dec. 1988.
- [17] H. J. Hwang, J. H. Lim, Y. J. Jung, H. Choi, S. W. Lee, and C. H. Im, "Development of an SSVEP-based BCI spelling system adopting a QWERTY-style LED keyboard," *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 208, issue 1, pp. 59-65, June 2012.
- [18] G. Townsend, B. K. LaPallo, C. B. Boulay, D. J. Krusienski, G. E. Frye, C. K. Hauser, N. E. Schwartz, T. M. Vaughan, J. R. Wolpaw, and E. W. Sellers, "A novel p300-based brain-computer interface stimulus presentation paradigm: moving beyond rows and columns," *Clin. Neurophysiol.*, vol. 121, no. 7, pp. 1109–1120, 2010.
- [19] I. Volosyak, H. Cecotti, D. Valbuena, and A. Gr aser, "Evaluation of the Bremen SSVEP Based BCI in Real World Conditions," in *Proc. of the 11th Int. Conference on Rehabilitation Robotics*, Kyoto, Japan, pp. 322–331, 23–26 June 2009.
- [20] T. D'Albis, R. Blatt, R. Tedesco, L. Sbattella, and M. Matteucci, "A predictive speller controlled by a brain-computer interface based on motor imagery," *ACM Transaction of Computer-Human Interaction*, 19(3), pp. 20-25, October 2012.
- [21] H. Segers, A. Combaz, N. V. Manyakov, N. Chumerin, K. Vanderperren, S. Van Huffel, M. M. Van Hulle, "Steady State Visual Evoked Potential (SSVEP)-Based Brain Spelling System with Synchronous and Asynchronous Typing Modes," in *15th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics (NBC 2011)*, Aalborg, Denmark, pp. 164–167, June 2011.
- [22] M. Treder, and B. Blankertz, "Research (C) overt attention and visual speller design in an ERP-based brain-computer interface," pp. 1–13, 2010.
- [23] B. Xia, H. Yang, Q. Zhang, H. Xie, W. Yang, J. Li, and D. An, "Control 2-dimensional movement using a three-class motor imagery based Brain-Computer Interface," *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE*. IEEE, pp. 1823-1826, 2012.
- [24] A. Mora-Cortes, N. V. Manyakov, N. Chumerin, and M.M. Van Hull, "Language Model Applications to Spelling with Brain-Computer Interfaces," *Sensors 2014*, pp. 5967-5993, 2014.
- [25] J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, W. J. Heetderks, D. J. McFarland, P. H. Peckham, G. Schalk, E. Donchin, L. A. Quatrano, C. J. Robinson, and T. M. Vaughan, "Brain-computer interface technology: A review of the first international meeting," *IEEE Trans. Rehab. Eng.*, vol. 8, pp. 164–173, June 2000.
- [26] B. Rivet, H. Cecotti, M. Perrin, E. Maby, J. Mattout, "Adaptive training session for a P300 speller brain-computer interface," *Journal of Physiology-Paris*, vol. 105, issues 1–3, pp. 123-129, January–June 2011.
- [27] D. Zhang, H. Song, R. Xu, W. Zhou, Z. Ling, and B. Hong, "Toward a minimally invasive brain-computer interface using a single subdural channel: A visual speller study," *NeuroImage*, vol. 71, pp. 30-41, 2013.
- [28] Y. Liu, Z. Zhou, and D. Hu, "Comparison of stimulus types in visual P300 speller of brain-computer interfaces," *IEEE ICCI*, pp. 273-279, 2010.
- [29] Y. Shahriari, and A. Erfanian, "Improving the performance of P300-based brain-computer interface through subspace-based filtering," *Neurocomputing*, vol. 121, pp. 434-441, December 2013.
- [30] G. Pires, U. Nunes, M. Castelo-Branco, "Comparison of a row-column speller vs. a novel lateral single-character speller: Assessment of BCI for severe motor disabled patients," *Clinical Neurophysiology*, vol. 123, issue 6, pp. 1168-1181, June 2012.
- [31] L. Acqualagna, B. Blankertz, "Gaze-Independent BCI-Spelling Using Rapid Visual Serial Presentation (RSVP)," *Clin Neurophysiol*, 124(5), pp. 901-908, 2013.
- [32] Adnan Vilic, Troels W. Kjaer, Carsten E. Thomsen, S. Puthusserypady, and Helge B.D. Sorensen, "DTU BCI Speller: An SSVEP-based Spelling System with Dictionary Support," *35th Annual Int. Conf. of the IEEE EMBS*, Osaka, Japan, July 2013.
- [33] I. K athner, C. A. Ruf, E. Pasqualotto, C. Braun, N. Birbaumer, S. Halder, "A portable auditory P300 brain-computer interface with directional cues," *Clinical Neurophysiology*, vol. 124, issue 2, pp. 327-338, February 2013.
- [34] P. T. Wang, C. E. King, A. H. Do, Z. Nenadic, "Pushing the Communication Speed Limit of a Noninvasive BCI Speller," *arXiv preprint arXiv:1212.0469*, 2012.

8.1.2. Development of EMG-Based Speller

ABSTRACT

Physiological computing is a paradigm of computing that uses physiological data of users as input during computing tasks. By monitoring, analyzing and responding to such inputs, physiological computing systems (PCS) are able to monitor, diagnose and respond to the cognitive, emotional and physical states of users in real time. A specific case of PCS is neural computer interface (NCI), which uses electrical signals governing muscular activity (EMG data) of a user to establish a direct pathway between the user and a computer. In this paper we analyze and develop a speller application based on the EMG interface. We present taxonomy of speller application parameters, propose a model of PCS, and describe the development of a speller. Finally, we evaluate the performance and usability of the developed speller using empirical (accuracy, information transfer speed, input speed) metrics.

Categories and Subject Descriptors

C.3 [**Special-Purpose and Application-Based Systems**]:

Real-time and embedded systems

General Terms

Measurement, Performance, Design, Human Factors.

Keywords

Physiological computing, NCI, EMG, speller.

1. INTRODUCTION

Today's computer systems are failing to satisfy the increasing expectations of everyday users. While the output of computer systems features a multimedia communication channels, the input to computers is still fairly limited to mechanical (keyboard, mouse), audio (speech) and tactile inputs [1]. Increasing the number of communication channels from the user to the computer allows extending the capabilities of disabled users, increasing context-awareness and intelligence of computer systems in smart environments, and increasing the engagement of interaction of generic users, e.g., in computer games [2].

Physiological computing is a paradigm of computing that uses physiological data of users as input during computing tasks [3]. By monitoring, analysing and responding to such inputs, physiological computing systems are able to monitor, diagnose and respond to the cognitive, emotional and physical states of users in real time. Examples of such physiological data are Electroencephalography (EEG), Electrooculography (EOG), Electromyography (EMG), Eelectrocorticography (ECoG), Electrodermal Activity (EDA), Blood Oxygen Saturation, Respiration, Skin Temperature. The state of a user is captured using sensors attached to the body. Then a physiological computing system creates a bio-cybernetic

feedback loop involving both human users and computers [4], which allows to produce a more accurate representation of the user's operational context. The loop may be designed to offering assistance if the user is frustrated or unable to perform the task due to excessive mental workload, adapting the level of challenge to sustain or increase task engagement if the user is bored or demotivated by the task, or incorporating an emotional display element into the user interface [5].

Specific cases of physiological computing are neural computer interface (NCI) and brain computer interface (BCI). BCI uses brain activity (EEG signals) of a user to establish a direct pathway between the brain and computer. The concept is particularly suited to the needs of the handicapped as well for smart environments, computer gaming and virtual reality (VR) applications [6]. Neural-computer interface (NCI) is similar to BCI in methods used as well as in applications, however it uses the EMG data to establish an interface between human peripheral neural system and computers by recording electrical signals governing muscular movements of a subject.

Speller is a typical example of PCS, which establishes a communication channel for people unable to use traditional keyboard and still remains a benchmark for BCI and NCI methods [7]. The speller is aimed to help those disabled persons unable to activate muscles traditionally used in communication (hands, tongue) to spell words by utilizing their neural activity. Typically, spellers use signal amplitude information, however, integrating it with signal preprocessing methods such as noise reduction methods (e.g., filtering or shrinking functions), dimensionality reduction methods (e.g., principal component analysis (PCA)) and spectral analysis results and user intent prediction techniques such as Natural Language Processing (NLP) algorithms can improve the results [8]. Due to the noise present in the physiological signals, the detection of control signals it requires using efficient signal processing and machine learning techniques (not considered in this paper).

In this paper, we propose a model of physiological computing system for EMG-based applications and describe development of an EMG speller as a typical benchmark application. The structure of the paper is as follows. Section 2 discusses the related work and presents taxonomy of speller application parameters. Section 3 proposes a physiological computing based model for speller application. Section 4 describes the development of speller application. Section 5 presents and evaluates experimental results. Finally, Section 6 presents conclusions.

2. RELATED WORK

The research in developing and improving speller systems focuses on improving accuracy of spelling, increasing speed of information transfer, developing usable and effective speller interfaces, and combining EEG/EMG based input with input automation techniques such as word complete and

automatic correction of misspellings. For example, Akram et al. [9] propose a modified T9 (Text on Nine keys) interface with a dictionary to give words suggestions to the user while typing. Eight keys are associated with several characters and a dictionary is used to suggest words according to the sequence of keys a user presses. Ahi et al. [10] use integrate a custom-built dictionary of 942 four-lettered words into the classification system of P300 speller for automatic correction of misspellings. However, the dictionary is used only for word correction and the user had to spell all the characters of a target word. Höhne et al. [11] use a German language T9 system with an auditory event related potential based speller. The user spelled on a 3×3 scheme with audio stimuli and suggestions are shown after the user spelled a complete word. Mathis and Spohr [12] use tree data structures constructed from a newspaper corpus to automatically complete the spelled words. In this way, identification of all letters becomes unnecessary, and spelling of a word takes a shorter time. However, such a word completion system assumes that the first letter is identified by the classifier correctly, and in case the first letter is misclassified, the system generates erroneous results. Ulas [13] propose an approach for incorporation of such information into a BCI-based speller through hidden Markov models (HMM) trained by a language model. Summarizing, implementations of speller application can be characterized by:

Type of data: EEG [14], EMG [15], ECoG [8], EOG [16], Tactile [17].

Type of analyzed signal: P300 event-related potentials (ERPs), which are series of peaks and troughs appearing in the EEG in response to occurrence of a discrete event, such as presentation of a stimulus or psychological reaction to a stimulus [8], Error-related Potentials (ErrPs) generated by the subject's perception of an error [18], N200 [19], Steady-state visual evoked potential (SSVEP), which are signals that are natural responses to visual stimulation at the same (or multiples of) frequency of the visual stimulus [20].

Modality: *Auditory:* the rows and columns of the letter matrix are represented by different sounds, such as spoken numbers [21] or environmental sounds [22]. *Visual:* subjects direct their eye gaze toward the letter they want to select. There are two cases: overt attention when eye gaze is directed toward the target letter, and covert attention when eye gaze is directed at a central fixation point [23]. *Tactile:* stimuli are applied to fingers that represented the letters of the alphabet. First, a group of letters is selected, then, one letter from this group is selected [17].

Interface: *Single character speller:* all letters are shown and each letter is flashed individually until letter selection is done [24]. *Matrix Speller:* All letters are arranged in a matrix. First, speller flashes an entire column or row of characters. Then, single letters are flashed in a sequence, and can be selected [25]. *Lateral single-character* is a single-character paradigm comprising all letters of the alphabet following an event strategy that significantly reduces the time for symbol selection [26]. *Hex-o-Spell:*

speller consists of six circles that all have the same distance to the point of fixation. The circles are flashed while users direct their attention to one of the circles. In the first step, the circle with the desired group of letters is selected. In the second step, letters are redistributed over the circles and the target letter is selected [27].

Stimulus type: the way each individual character changes (e.g., flashing, color change, etc). For example, Rapid serial visual presentation (RSVP) is a method of displaying information (generally text or images) in which the text is displayed word-by-word in a fixed focal position [28].

Stimulus rate: the speed at which individual characters change.

Stimulus pattern: grouping of symbols in interface (e.g., QUERTY or DVORAK layouts in a virtual keyboard).

Character set (alphabet): usually involves all letter of the alphabet as well as additional symbols (numbers, separation marks, etc.).

Intelligence techniques: additional techniques for improving accuracy of the system and rate of communication such as using language model [13], word autocomplete, spelling correction [29] or word prediction [30].

The result of the analysis can be considered as taxonomy of speller application parameters, which can be used for developing new speller applications. Next we discuss the model of a PCS and its application to developing the EMG-based systems.

3. MODEL OF A PHYSIOLOGICAL COMPUTING SYSTEM

The model of physiological computing system proposed in this paper is based on the “operational modes” of the Humanistic Intelligence Framework proposed by Mann [31]:

1) **Constancy:** PCS should operate continuously to read signals from human to computer and to provide a constant user interface.

2) **Augmentation:** the primary task is increasing the intelligence of the system rather than computing tasks.

3) **Mediation:** PCS mediates between human senses, emotions and perceptions and acts as information filter by blocking or attenuating undesired inputs to decrease negative effects of interaction (such as fatigue, information overload, etc.) as well as to increase positive effects (such as user satisfaction) by amplifying or enhancing desired inputs.

The proposed model is summarized in Figure 1 and has three levels of information processing.

1) On the lowest level, the physiological signal is sampled into a data stream of physiological data. Downsampling can be used to decrease amount of data and increase information processing speed at higher levels.

2) On the intermediate level, data is aggregated and events corresponding to specific patterns of data are generated. Machine learning techniques such as artificial neural networks may be used to recognize such events and generate decisions.

3) On the highest level, decisions are processed and used to generate control commands for external applications (systems).

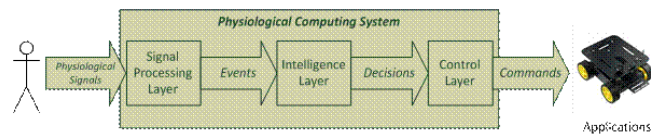


Figure 1. Model of physiological computing system

4. DEVELOPMENT OF SPELLER

4.1 Architecture

Architecture of the developed speller application is shown in Figure 2. The speller consists of 6 main components: *MainReader* – system module responsible for control of data reader which is selected to use. *ReaderAPI* – public external interface module. All third-party modules must implement this component for full system integration. *MainController* – system module responsible for selected control module (executes commands). *NiaReader* – third-party module implemented for the “OCZ NIA” data reader device. *SpellingSquare* – third-party module implemented for text input in the symbol matrix using EMG-based commands.

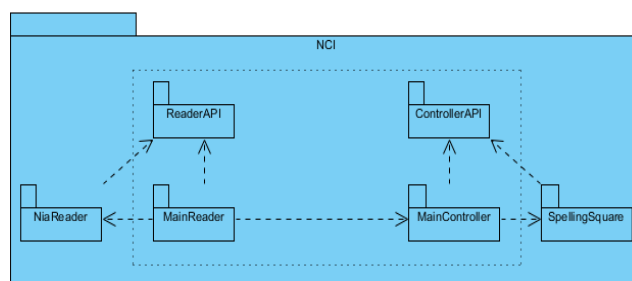


Figure 2. Architecture of developed speller application

The dashed rectangle separates system components (inside the dashed rectangle) from external components, which are either the sensor controllers (EMG readers) or actuator controllers (software or hardware applications such as robots). The speller system is based on *Java NetBeans* framework. The speller was developed with considering its future extension and maintenance so that external components are easy to add or remove.

4.2 Control

There are two types of control commands of the speller: “Select” command – selects a column or types a symbol of that column. “Cancel” command – exits the selected column or deletes the selected symbol. Those control commands can be initiated by the movements of facial muscles. In practice, eye blinks are used to generate each control command (left eye blink for “select” and right eye blink for “cancel”). The user can see the EMG signal feedback in EMG signal view area (see Figure 3). The particular control command is performed when the amplitude of the EMG signal is higher than the specified threshold value. The thresholds are marked as yellow horizontal lines in the EMG signal view area. The upper threshold indicates the “select” command, and the lower threshold indicates the “cancel” command. Threshold values can be adjusted using threshold setting sliders.

4.3 Visual interface

Visual interface of the developed speller application is presented in Figure 3. The most important part of the visual interface is symbol matrix. The matrix is adaptable so that various symbols (including special or national) could be added into the matrix. The red-colored column indicates the current position of the speller cursor. The cursor moves coherently from column to column until user activates the “select” command. Next, the cursor moves through each symbol in the particular column. After another “select” command, the particular symbol is selected. That symbol appears in the output area (see Figure 3). The speller cursor moves by the step which varies from 500 to 1500 milliseconds. The step value depends on the number of mistakes the user does. A smaller number of mistakes mean the faster speed of cursor movement. The mistake is considered as the “cancel” command.

The first row of the speller symbol matrix contains a dictionary selection. This selection allows to enter the dictionary. When few symbols or a stem of the word is written dictionary gives the opportunity to complete the particular word faster. The system logs dictionary selections therefore common used words are at the top of the dictionary, thus the dictionary adapts to the user.

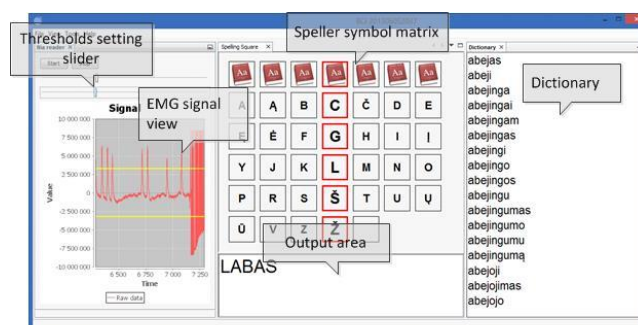


Figure 3. Interface of developed speller application

5. EXPERIMENTAL RESULTS

The experiments we performed with 5 subjects (3 males), aged 24–54 (mean = 33) year. Subjects did not have any neurological abnormalities, reported normal or corrected to normal vision, and did not use medication. All subjects gave informed consent prior to the experiment. The EMG data was recorded using OCZ Neuro Impulse Actuator equipment. Visual stimuli were presented on a 13.3" size TFT screen with 1360×768 pixel resolution and a refresh rate of 60 Hz. Subjects were seated in front of a table. The screen was in the middle of the table at a distance of approximately 100 cm from the subject. The size of each character was 1.5×1.5 cm ($0.86 \times 0.86^\circ$ visual angle) and the entire speller matrix was 9.5×13 cm ($5.44 \times 7.42^\circ$ visual angle). Stimuli consisted of intensifications of the rows and columns in sequential order. Intensification was achieved by increasing the size of all characters in the row or column with a factor 500 for 1500 ms. A trial is defined here as spelling of one character. All trials started with the speller being displayed on the screen, together with an instruction indicating which letter to select. Each stimulation sequence was followed by feedback on the screen, showing which letter or group of letters had been selected.

Three text paragraphs were given to the experiment participants. Their task was to input the proposed text paragraphs using speller. All text paragraphs were presented in Lithuanian language. The first text paragraph contained 126 characters and its content covered a daily conversation. The second text paragraph contained 111 characters and its content covered a scientific speech. The third text paragraph contained 120 characters and covered a scientific speech with mathematical equations. Each experiment participant repeated the experiment 4 times. The average accuracy, input speed and bit rate values were calculated.

Quantitatively, the performance of speller application can be evaluated using accuracy, information transfer speed and input speed metrics. Accuracy is calculated as the percentage of correct decisions. Bit rate indicates how much information can be communicated per time unit. Finally, input speed is measured as the average time required to input a set of benchmark texts. The experimental results are presented in Table 1.

The accuracy of the BCI/NCI-based spellers achieved by other authors are within 80-95% range (82.77% using ECoG [8], 87.58% using SSVEP-based BCI [20], 87.8% for EOG-based speller [16], 91.80% [26], 94.8% for RVSP based speller [28]). Bit rate achieved by other authors are within 7-41 bits/min (19.18 bits/min [26], 40.72 using SSVEP based BCI [20], 41.02 using ECoG data [8]). Input

speed achieved by other authors are within 1-12 sym/min (1.38 sym/min for EOG-based speller [16], 1.43 sym/min for RVSP-based speller [28], 4.33 sym/min [26], 9.39 sym/min for SSVEP-based BCI [20]).

Table 2. Evaluation of speller application

Metric	Average Value	Peak value	Range
Accuracy	91.71	98.25	82-95%
Bit rate	43.58	65.53	19-41 bits/min
Input speed	8.28	12.42	1-9 sym/min

6. CONCLUSION

In this paper we have described the development of a speller application for a physiological computing system using hybrid EEG-EMG interface. The speller application is based on the proposed three-layered model of a physiological computing system and taxonomy of speller application parameters. The developed speller application is adaptive (text input speed can be adapted dynamically in response to the user's state). The speller has been evaluated empirically (using accuracy, bit speed and input speed). The achieved empirical results are within range of results achieved by other authors.

REFERENCES

- [1] Schroeder, A. and Wirsing, M. 2012. Developing Physiological Computing Systems: Challenges and Solutions. *Software Engineering* 2012, 21-36.
- [2] Nacke, L.E., Kalyn, M., Lough, C. and Mandryk, R.L. 2011. Biofeedback game design: using direct and indirect physiological control to enhance game interaction. In *Proc. of the SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)*. 103-112.
- [3] Allanson, J., Fairclough, S.H. 2004. A research agenda for physiological computing. *Interacting with Computers*, 16(5), 857-878.
- [4] Serbedzija, N.B. and Fairclough, S.H. 2009. Biocybernetic loop: From awareness to evolution. *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 2063-2069.
- [5] Fairclough, S.F. 2009. Fundamentals of physiological computing. *Interacting with Computers*, 21(1-2), 133-145.
- [6] Chang, M., Nishikawa, N., Struzik, Z.R., Mori, K., Makino, S., Mandic, D.P. and Rutkowski, T.M. 2013. Comparison of P300 Responses in Auditory, Visual and Audiovisual Spatial Speller BCI Paradigms. CoRR abs/1301.6360.
- [7] Cecotti, H. 2011. Spelling with non-invasive Brain-Computer Interfaces – Current and future trends, *Journal of Physiology-Paris*, 105(1-3), 106-114.
- [8] Speier, W., Fried, I. and Pouratian, N. 2013. Improved P300 speller performance using electrocorticography, spectral features, and natural language processing. *Clinical Neurophysiology*, 124(7), 1321-1328.
- [9] Akram, F., Han, H.-S., Jeon, H.J., Park, K., Park, S.-H., Cho, J. and Kim, T.-S. 2013. An Efficient Words Typing P300-BCI System Using a Modified T9 Interface and Random Forest Classifier. In *Proc. of 35th Ann. Int. Conf. of the IEEE EMBS*, Osaka, Japan.
- [10] Ahi, S.T., Kambara, H. and Koike, Y. 2011. A Dictionary-Driven P300 Speller With a Modified Interface. *IEEE Transactions On Neural Systems And Rehabilitation Engineering*, 19(1), 6-14.
- [11] Höhne, J., Schreuder, M., Blankertz, B. and Tangermann, M. 2011. A novel 9-class auditory ERP paradigm driving a predictive text entry system, *Frontiers Neuroprosthetics*, 5, 99.
- [12] Mathis, T. and Spohr, D. 2007. Corpus-driven enhancement of a BCI spelling component. In *Proc. of Int. Conf. Recent Adv. Natural Language Process (RANLP)*.
- [13] Ulas, C. and Cetin, M. 2013. Incorporation of a language model into a brain computer interface based speller through HMMs. In *Proc. of Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 1138-1142.
- [14] Tomioka, R. and Müller, K.-R. 2010. A regularized discriminative framework for EEG analysis with application to brain-computer interface, *NeuroImage*, 49(1), 415-432.
- [15] Lalitharatne, T.D., Teramoto, K., Hayashi, Y. and Kiguchi, K. 2013. Towards Hybrid EEG-EMG-Based Control Approaches to be Used in Bio-robotics Applications: Current Status, Challenges and Future Directions. *Journal of Behavioral Robotics*, 4(2), 147-154.
- [16] Liu, Y., Zhou, Z., and Hu, D. 2011. Gaze independent brain-computer speller with covert visual search tasks. *Clin Neurophysiol.*, 122(6), 1127-36.
- [17] Waal, van der M., Severens, M., Geuze, J. and Desain, P. 2012. Introducing the tactile speller: an ERP-based brain-computer interface for communication. *J. Neural Eng.* 9 045002.
- [18] Combaz, A., Chumerin, N., Manyakov, N.V., Robben, A., Suykens, J.A.K. and Van Hulle, M.M. 2012. Towards the detection of error-related potentials and its integration in the context of a P300 speller brain-computer interface. *Neurocomputing* 80, 73-82.
- [19] Hong, B., Guo F., Liu T., Gao X. and Gao, S. 2009. N200-speller using motion-onset visual response. *Clin Neurophysiol.*, 120(9), 1658-66.

- [20] Hwang, H.-J., Lim, J.-H., Jung, Y.-J., Choi, H., Lee, S.W. and Im, C.H. 2012. Development of an SSVEP-based BCI spelling system adopting a QWERTY-style LED keyboard. *Journal of Neuroscience Methods*, 208(1), 59-65.
- [21] Furdea, A., Halder, S., Krusienski, D.J., Bross, D., Nijboer, F., Birbaumer, N., Kübler, A. 2009. An auditory oddball (P300) spelling system for brain-computer interfaces. *Psychophysiology* 46, 617-25.
- [22] Klobassa, D.S., Vaughan, T.M., Brunner, P., Schwartz, N.E., Wolpaw, J.R., Neuper, C. and Sellers, E.W. 2009. Toward a high-throughput auditory P300-based brain-computer interface. *Clinical Neurophysiology*, 120(7), 1252-1261.
- [23] Brunner, P. and Schalk, G. 2011. Toward a gaze-independent matrix speller brain-computer interface. *Clinical Neurophysiology*, 122(6), 1063-1064.
- [24] Ortner, R., Prueckl, R., Putz, V., Scharinger, J., Bruckner, M., Schnuerer, A. and Guger, C. 2011. Accuracy of a P300 Speller for Different Conditions: A Comparison. In *Proc. of the 5th Int. Brain-Computer Interface Conference*, Graz, Austria, p. 196.
- [25] Farwell, L.A. and Donchin, E. 1988. Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 70(6), 510-523.
- [26] Pires, G., Nunes, U. and Castelo-Branco, M. 2012. Comparison of a row-column speller vs. a novel lateral single-character speller: Assessment of BCI for severe motor disabled patients, *Clinical Neurophysiology*, 123(6), 1168-1181.
- [27] Treder, M. and Blankertz, B. 2010. (C)overt attention and visual speller design in an ERP-based brain-computer interface. *Behav. Brain Funct.*, 6, 1-13.
- [28] Acqualagna, L. and Blankertz, B. 2013. Gaze-independent BCI-spelling using rapid serial visual presentation (RSVP). *Clinical Neurophysiology*, 124(5), 901-908.
- [29] Casagrande, A., Jarmolowska, J., Turconi, M., Fabris, F. and Battaglini, P.P. 2013. PolyMorph: A P300 Polymorphic Speller. In *Proc. of 2013 Int. Conf. on Brain & Health Informatics (BHI'13)*.
- [30] D'Albis, T., Blatt, R., Tedesco, R., Sbattella, L. and Matteucci, M. 2012. A predictive speller controlled by a brain-computer interface based on motor imagery. *ACM Transaction of Computer-Human Interaction*, 19(3), 20:1-20:25.
- [31] Mann, S. 2001. Wearable computing: Toward humanistic intelligence. *IEEE Intelligent Systems*, 16(3), 10-15.