

TARTU ÜLIKOOL
MATEMAATIKA-INFORMAATIKATEADUSKOND
Arvutiteaduse instituut
Infotehnoloogia eriala

Evert Nõlv

Loengut jälgiva üliõpilase tähelepanu
muutumise analüüs ajuandmete abil

Bakalaureusetöö (6 EAP)

Juhendajad: Kristjan Korjus
Eno Tõnisson
Margus Niitsoo

Tartu 2014

Loengut jälgiva üliõpilase tähelepanu muutumise analüüs ajuandmete abil

Lühikokkuvõte:

Töö eesmärk on uurida üliõpilaste tähelepanu muutumist loengus ja kas loengus küsimuste esitamine suurendab üliõpilaste tähelepanu. 16 tudengile näidati loenguvideot ning samal ajal mõõdeti ja salvestati mobiilse Emotiv EPOC EEG seadmega üliõpilaste ajulaineid. Tähelepanu muutumise (kõrgete ja madalate sageduste suhe) andmed varieerusid palju ja statistiliselt olulist tähelepanu tõusu küsimuste esitamise järel antud töö ei leia.

Võtmesõnad:

Aju, EEG, elektroentsefalograafia, Emotiv EPOC, tähelepanu

Analysis of EEG data of student attention development during lecture

Abstract:

Aim of this work is to examine students' attention during lecture to identify if attention increases if questions are being asked during lecture. 16 students watched video lecture and at the same time their brain activity was measured with Emotiv EPOC EEG device. Change of attention in time (ratio of high/low frequency) varied a lot and no statistically significant attention increase due to question asking was found.

Keywords:

Brain, EEG, electroencephalography, Emotiv EPOC, attention

Sisukord

Sissejuhatus	5
1 Taust	6
1.1 Eesmärk	6
1.2 Tähelepanu	6
1.3 Inimaju bioloogia	7
1.4 Elektroentsefalograafia	8
1.4.1 Elektrootide paigutus	8
1.4.2 Seade Emotiv Epoc	9
1.5 Sagedused	11
1.6 Fourier' teisendus	13
2 Katse korraldus	15
2.1 Eesmärk	15
2.2 Eelprotseduur	15
2.2.1 Inimuurigute eetika komitee	15
2.2.2 Loeng	16
2.3 Protseduur	17

3	Andmete analüüs	19
3.1	Eesmärk	19
3.2	Eeltöötlus	19
3.3	Analüüs	21
4	Tulemused	25
	Allikad	27
	Lisa A: Loodud skriptid	30
	Lisa B: Uuritava informeeritud nõusoleku leht	31
	Litsents	33

Sissejuhatus

Uurimistöö eesmärgiks on uurida, kuidas üliõpilase tähelepanu loengus muutub ja kas küsimuste esitamine muudab üliõpilaste tähelepanu. Selleks näidati üliõpilastele objektorienteeritud programmeerimise aine loenguvideot ning samal ajal mõõdeti ja salvestati mobiilse EEG (elektroentsefalograaf) seadmega üliõpilaste ajulaineid. Tähelepanu uurimisest saadavaid võimalikke tulemusi saaks kasutada õppemetoodikate välja arendamises.

Töö esimeses peatükis antakse taustinformatsiooni sellest, mis on tähelepanu, kuidas inimaju töötab ning millega ja kuidas on võimalik seal toimuvat infovahetust mõõta ja kuidas seda analüüsida. Töö teises peatükis kirjeldatakse katse läbiviimisega seonduvat. Räägitakse, kuidas jõuti katseni, mida tudengitele näidati ja kuidas kogu katse läbi viidi. Töö kolmandas peatükis kirjeldatakse ajuandmete analüüsi. Räägitakse, kuidas andmeid eeltöödeldi ja kuidas statistiline analüüs teostati. Töö neljandas peatükis kirjeldatakse analüüsi käigus saadud tulemusi ja pakutakse ideid edasisteks uurimusteks. Töö lõpus võetakse eelnimetatud teemad kokku.

Peatükk 1

Taust

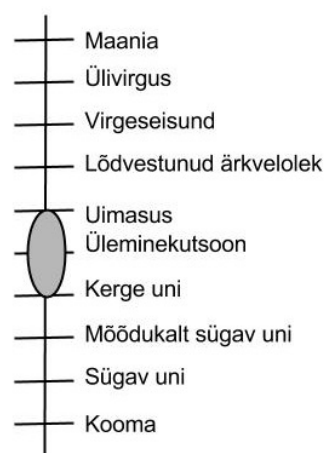
1.1 Eesmärk

Antud peatüki eesmärk on pakkuda lugejale taustinformatsiooni ja selgitada, mis on tähelepanu, kuidas tekib inimajus elektriline aktiivsus, kuidas ja millega seda mõõta ning kuidas seda interpreteerida. Antud peatükk on vajalik selleks, et mõista töö järgnevaid osasid, kus käsitletakse üliõpilaste tähelepanu uurivat katset, andmete analüüsi ja tulemusi.

1.2 Tähelepanu

Tähelepanu saab laias laastus käsitleda kahte moodi — tähelepanu kui protsess ja tähelepanu kui seisund. Tähelepanu kui protsessi all peetakse silmas selektsiooni infotöötluses. Millele pöörame tähelepanu? Mida ja kui kiiresti märkame? Tähelepanu kui seisundi all peetakse silmas seevastu seda, kui ärkvel, virge ja aktiveeritud psüühikaga on subjekt antud hetkel. [Tal09]

Selles uurimuses käsitletakse tähelepanu seisundi aspektist. On võimalik eristada tervet

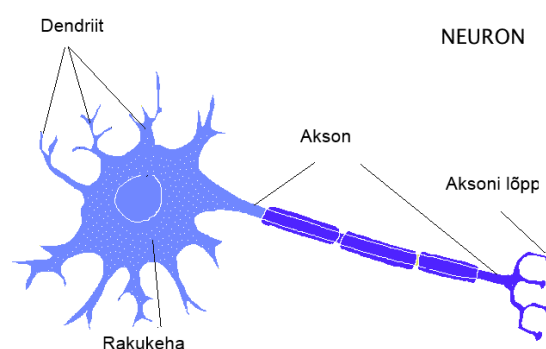


Joonis 1.1: Tähelepanuvõime seisundid [Tal09].

tähelepanuseisundite skaalat, kus ühes äärmuses on kooma, teises äärmuses ülivirguse seisundid ning vahepeal uni, uimasus, tavaline virgeolek (joonis 1.1) [Tal09].

1.3 Inimaju bioloogia

Ajus on spetsiaalsed rakud, neuronid (joonis 1.2), mis töötlevad ja edastavad informatsiooni keemiliste ja elektriliste signaalidega. Tüüpiline neuron koosneb rakukehast, dendriidist ja aksonist. Dendriit on neuroni jätke, mis juhib impulsse rakukeha suunas. Akson on neuroni pikk jätke, mis juhib rakukehast tulnud impulsse sünapsi kaudu teistesse neuronitesse. Sünapסים nime-



Joonis 1.2: Neuroni ehitus.

tatakse kohta, kus ühe neuroni akson kohtub teise neuroni dendriidiga. [Wik14d]. Neuronitel on puhkepotentsiaal (*resting potential*), mis iseloomustab elektrilise potentsiaali erinevust raku sisemuse ja raku väliskeskkonna vahel. Rakusisene potentsiaal kõigub impulsside tõttu, mis saabuvad teistest neuronitest läbi sünapside. Rakumembraanil, ehk raku välisel kihil, mis eraldab raku sisemust välisest keskkonnast, asuvad ionkanalid, kuhu kontsentreeruvad naatriumi, kaaliumi, kloriidi ja kaltsiumi ionid raku keemiliste protsesside tulemusel. Ioonide kontsetratsioon tekitab rakkude vahel elektrilise pinge erinevust. Teatud piiri ületamisel avanivad ionkanalid ja ionid liiguvad ühelt rakult teisele. Sellist ionide liikumist nimetatakse närviimpulsiks, teise sõnaga aktsioonipotentsiaaliks (*action potential*). [DLS10]

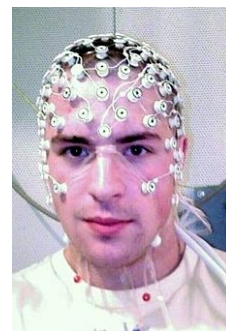
Aju elektrilist aktiivsust on võimalik mõõta peanaha pinnalt spetsiaalse seadme- ga — elektroentsefalograafia (EEG'ga). Üksikud aktsioonipotentsiaalid on liiga väikesed, lühiajalised ja erisuunalised, et neid peanaha pinnalt mõõta. Küll aga on võimalik mõõta aktsioonipotentsiaalile eelneva raku sise- ja välisruumi vahelise elektripinge muutust, mida nimetatakse postsünaptiliseks potentsiaaliks. Neid on võimalik mõõta ainult juhul, kui üheaegsed postsünaptilised potentsiaalid tekivad

sama ruumilise orientatsiooniga tuhandetes või isegi miljonites rakkudes [And10].

1.4 Elektroentsefalograafia

Elektroentsefalograafia on meetod, millega registreeritakse aju bioelektrilist aktiivsust. Seadet, millega peanahalt aktiivsust mõõdetakse, nimetatakse elektroentsefalograafiks. Elektroentsefalogramm on entsefalograafi abil saadud peaju bioelektrilise aktiivsuse graafik. Lühendit EEG kasutatakse nii elektroentsefalograafia, elektroentsefalograafi kui ka elektroentsefalogrammi tähistamiseks.

Sakslasest füsioloog ja psühhiaater Hans Berger lõi 1929. aastal esimese EEG seadme, mille abil sai hakata registreerima ja mõõtma aju elektrilist aktiivsust. Mõõtmiseks paigaldatakse metallist elektrodid (joonis 1.3) peanaha pinnale. EEG'd kasutatakse meditsiinis peamiselt epilepsia tuvastamiseks, sest see põhjustab ilmselgeid anomaalsusi EEG andmetes. Seda kasutatakse ka unehäirete, kooma ja ajusurma tuvastamiseks. Lisaks on EEG leidnud kasutust aju teaduslikul uurimisel. [Wik14c]



Joonis 1.3: Näidis elektroentsefalograafi elektrodidest [Wik14c].

1.4.1 Elektrodide paigutus

Elektrodide ülesanne on mõõta aju elektrilist aktiivsust. Need paigutatakse peanaha pinnal erinevatesse punktidesse, mis on vastavuses ajukoore piirkondadega (joonis 1.4 leheküljel 10). Ajukoore piirkondi nimetatakse sagarateks ja neil on täheldatud erinevaid funktsioone, mis on ära toodud tabelis 1.1.

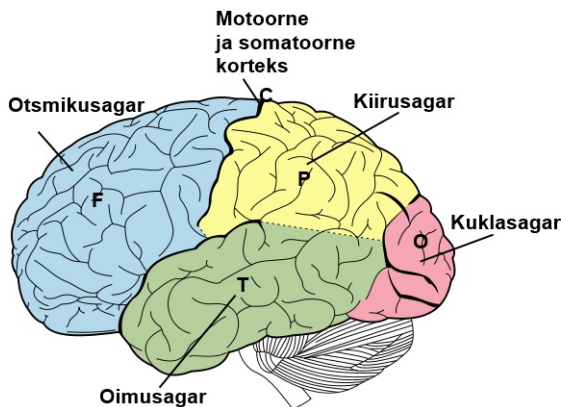
Täht	Sagar	Funktsioon
F	Otsmikusagar ehk frontaalkorteks (<i>frontal lobe</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • praeguste tegevuste tagajärgede ennustamine • valimine hea ja halva tegevuse vahel (või parema ja parima) • sarnasuste ja erinevuste tuvastamine asjade või sündmuste vahel
T	Oimusagar ehk temporaalsagar (<i>temporal lobe</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • kuulmistaju • kõnetuvastus • pikaajaline mälu
C	Motoorne ja somatosensoorne korteks (<i>motor and somatosensory cortex</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • tahtliku motoorse tegevuse planeerimine, kontroll ja täideviimine • kompimismeel
P	Kiirusagar ehk perietaalsagar (<i>parietal lobe</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • ruumiline tajus ja navigatsioon • sensoorse informatsiooni töötlemine, mis pärineb erinevatest kehaosadest
O	Kuklasagar ehk oksipitaalkorteks (<i>occipital lobe</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • nägemistaju

Tabel 1.1: Ajupiirkonnad ja nende funktsioonid [DLS12]

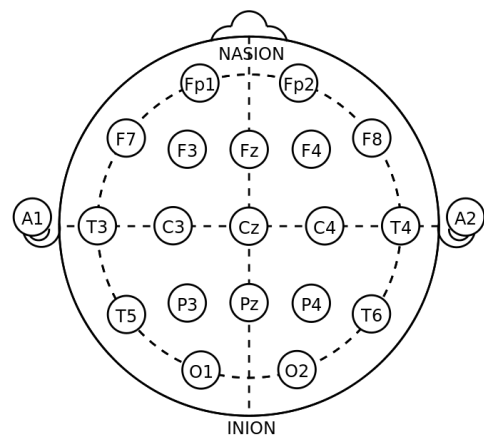
Tavaliselt paigutatakse elektroodid rahvusvaheliselt tunnustatud 10-20 süsteemi järgi (joonis 1.5). "10" ja "20" viitavad faktile, et vahemaa üksteise kõrval asuvate elektroodide vahel on kas 10% või 20% kogu kolju laiusest. Iga elektroodi nimi koosneb tähest ja arvust. Täht tähistab ajupiirkonda ja arv näitab, mitmes elektrood see antud ajupiirkonnas on. Arvud on paigutatud nii, et paarisarvud asuvad paremal ajupoolkeral ja paaritud arvud aju vasakul poolkeral. [Wik14a].

1.4.2 Seade Emotiv EPOC

Leidub erinevaid EEG seadmeid, millega ajulaineid mõõta. Siin töös kasutati seadet Emotiv EPOC (joonis 1.6). Seadmel on 16 elektroodi, millest 2 on võrdlus-elektroodid, mille suhtes mõõdetakse pingete erinevust teistest elektroodidest.



Joonis 1.4: Ajukoore piirkonnad [Wik14b]



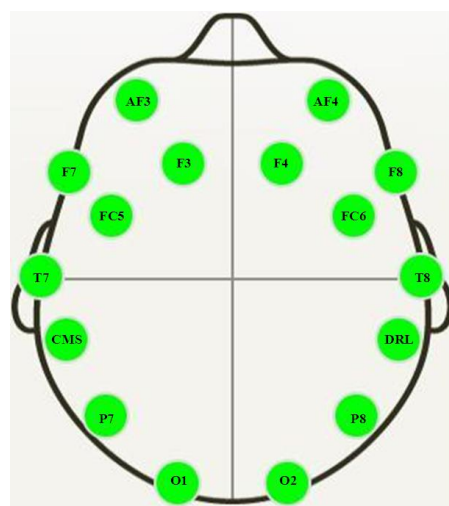
Joonis 1.5: Elektroodide 10-20 paigutus. [Wik14a]

Seadmel on ka güroskoop pealiigutuste tuvastamiseks. Antud seade vahetab arvutiga infot raadiolainete (2.4 GHz) abil, mille vastuvõtmiseks on seadmega kaasas USB vastuvõtja.

Emotiv Epoci elektroodid töötavad sagedusega 128 Hz, mis tähendab, et saame peanahal oleva pinge kohta informatsiooni 128 korda sekundis. Andmete salvestamiseks kasutati Emotiv EPOCiga kaasasolnud Testbench tarkvara. Testbench tarkvara näitab reaalajas andmete voogu, elektroodide paigutuse kvaliteeti ja lubab andmeid salvestada.



Joonis 1.6: Emotiv EPOC seade [Emo14]

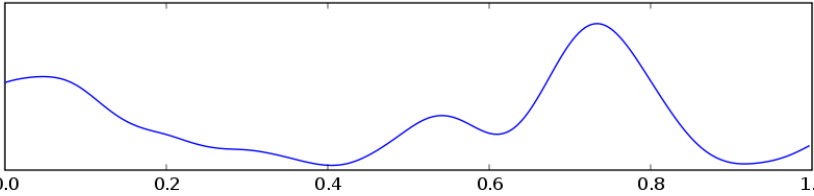
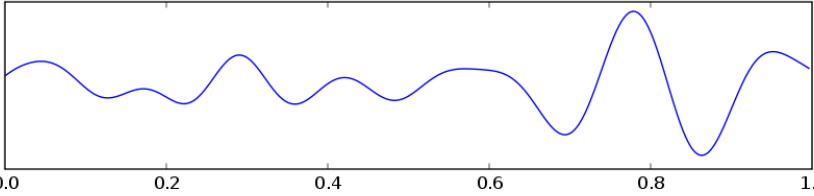
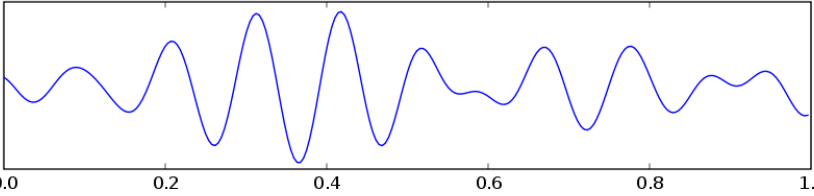


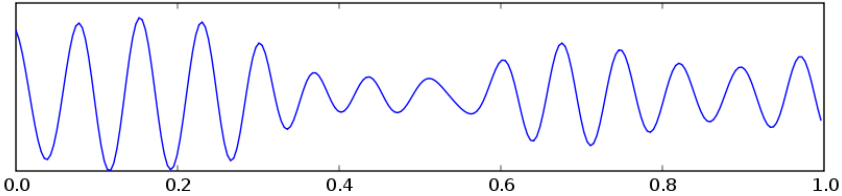
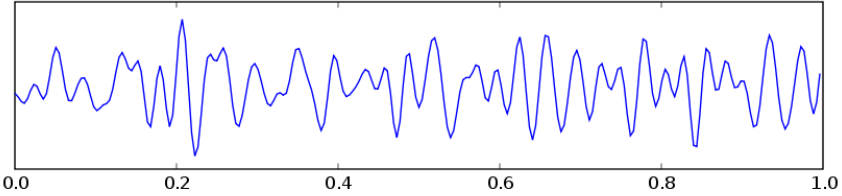
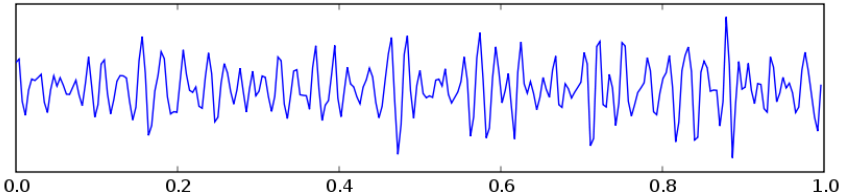
Joonis 1.7: Emotiv EPOC elektroodide paigutus 10-20 süsteemi järgi [Emo14].

Emotiv EPOC on suurele tarbijaskonnale suunatud seade, millel on meelelahutuslik eesmärk. Nimelt on Emotiv Epoc suunatud eelkõige arvutimängude mängimiseks. Seade maksab 299 kuni 750 USA dollarit sõltuvalt andmetele ligipääsemise õigusest. Seadmed on täpselt samad, aga 299 dollari eest on võimalik ainult tootja-poolset rakendust kasutada, kuid 750 dollari eest on võimalik ligipääseda ka toorandmetele ja kasutada seadet koos kolmanda osapoole tarkvaraga. Emotiv EPOC seade annab tunduvalt madalama kvaliteediga andmeid kui professionaalsed meditsiiniseadmed: selle signaali ja müra suhe on oluliselt ebasoodsam [DCP⁺13].

1.5 Sagedused

Aju elektrilise aktiivsuse üheks fundamentaalseks omaduseks on lainemustrid [And10]. See tähendab, et närviimpulsid on perioodilised ja see annab võimaluse neid liigendada sageduskomponentideks. Sagedus on võrdsete ajavahemike tagant korduvate sündmuste arv ajaühikus. Näiteks sagedus 15 Hz tähendab, et signaal muutub perioodiliselt tugevamaks ja nõrgemaks 15 korda sekundis, lainepikkusega 0,1 sekundit. Erinevate sageduste juures on täheldatud erinevaid psühholoogilisi protsesse, mis on ära toodud tabelis 1.2. Sagedused jaotatakse sagedusvahemikeks, mida tähistatakse ajalooliselt kreeka tähtedega. Tabelis on toodud ka illustreeriv pilt iga sagedusvahemiku kohta, kus on kujutatud 1 sekund signaali, mis vastab konkreetsele sagedusele. Peanaha pinnalt mõõdetud elektrilise aktiivsuse muutuse liigendamist sageduseks käsitletakse peatükis 1.6.

Nimi	Hz	Psühholoogiline protsess
<i>Delta</i>	< 4	<ul style="list-style-type: none"> • täiskasvanu sügav uni • beebide ajuaktiivsus 
<i>Teeta</i>	4-8	<ul style="list-style-type: none"> • noorte laste ajuaktiivsus • unisus täiskasvanutel ja teismelistel • inimene surub aktiivselt maha vastust või tegevust 
<i>Alfa</i>	8-13	<ul style="list-style-type: none"> • lõõgastumine • silmad suletud 

Nimi	Hz	Psühholoogiline protsess
<i>Mu</i>	8-13	<ul style="list-style-type: none"> • esineb motokorteksis, kui inimene parasjagu ennast ei liiguta. Kui inimene mõtleb keha liigutamise peale või end liigutab, siis <i>mu</i> sagedus väheneb. 
<i>Beeta</i>	13-30	<ul style="list-style-type: none"> • aktiivne mõtlemine • keskendumine 
<i>Gamma</i>	30-100+	<ul style="list-style-type: none"> • keskendatud tähelepanu [Tal09] 

Tabel 1.2: Põhilised sagedusvahemikud ja nendele vastavad psühholoogilised protsessid [Wik14c].

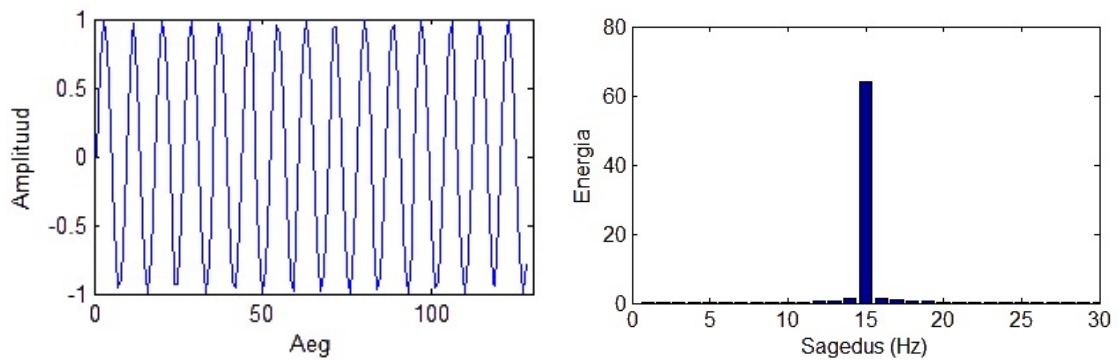
1.6 Fourier' teisendus

Ajulained on oma omadustelt perioodilised, mis annab võimaluse neid jagada sageduskomponentideks. Sageduskomponentide leidmiseks kasutatakse Fourier' teisendust, mis teisendab etteantud laine erinevate sagedustega komponentideks. Selleks, et tuvastada sageduskomponentide muutusi ajas, ei tehta Fourier' teisendust korrara kõikide andmete peal, vaid läbitakse väikse ajavahemikuga (nt 1 sekundi kaupa) andmed ja tehakse kõikidel kordadel Fourier' teisendus. Tulemusena saadakse sageduskomponendid ja nende muutumine ajaakna kaupa. Fourier' valem:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N} kn}$$

kus N on väärtuste arv, mis on mõõdetud ajavahemiku jooksul; x_n ($n \in \{0 \dots N - 1\}$) on väärtus, mis on mõõdetud ajapunktis n ; k on hetkel käsitletav sagedus (0 Hz kuni $N - 1$ Hz); X_k on sageduse k energia.

Joonisel 1.8 on toodud näidiseks üks signaal ja selle sageduskomponendid pärast Fourier teisendust.



Joonis 1.8: Alsignaal (vasakul) ja sageduskomponendid (paremal) pärast Fourier teisendust.

Peatükk 2

Katse korraldus

2.1 Eesmärk

Selleks, et uurida, kuidas muutub üliõpilase tähelepanu loengu jooksul, viidi läbi katse, kus näidati tudengitele loenguvideot ning samal ajal salvestati nende ajulaineid Emotiv EPOC (peatükk 1.4.2) seadmega. Antud peatükis kirjeldatakse, kuidas jõuti katse läbiviimiseni, mida näidati tudengitele, ja kuidas kogu katse läbi viidi. See aitab mõista, kust ja kuidas pärinevad järgnevas andmete analüüsi peatükis käsitletud andmed.

2.2 Eelprotseduur

2.2.1 Inimuuringute eetika komitee

Inimuuringute läbiviimiseks peab Tartu Ülikoolis taotlema inimuuringute eetika komitee loa [Ute14]. Antud eksperimendi puhul oli võimalus erinevate eetiliste probleemide tekkimiseks minimaalne. Uuritavaid ei kahjustatud füüsiliselt (ajulaineid loeti EEG seadmega, mis ei ole invasiivne) ega vaimselt (uuritavad vaatasid eksperimendi käigus tavalist loenguvideot ning neilt ei küsitud lisaküsimusi). Koguti ainult EEG andmeid ilma isiku nime juurde lisamata ehk andmed koguti anonüümselt. Kõik katseisikud võtsid eksperimendist osa vabatahtlikult ning

täitsid ka nõusoleku vormi (lisa B). Taotlus eetika komiteele esitati 13.03.2013 ja otsus eksperimendi teostamise lubamiseks saadi 01.05.2013.

2.2.2 Loeng

Uuritavad kutsuti Tartu Ülikooli arvutiteaduse instituudi objektorienteeritud programmeerimise aine osalejate hulgast vabatahtlikkuse alusel. Selleks saadeti loengu kuulajatele kiri. Kokku avaldas soovi 20 tudengit, kellest 16 osales katses. Kasutatavaks loenguks valiti objektorienteeritud programmeerimise loeng, sest seal aines salvestatakse kõik loengud automaatse salvestussüsteemi ECHO 360 abil [Ech14], mis võimaldab mugavalt vaadata videot koos sünkroniseeritud slaidiesitlusega.

Uuritavatel paluti mitte minna antud nädala loengusse, et nad ei näeks loengut kaks korda.

Salvestatud loengu teemaks oli "Lõimed" (ingl. k *threads*) ja loengu viis läbi Eno Tõnisson. Loengus kasutati klikkereid, et tudengitelt tagasidet saada. Klikker on numbriklaviatuuriga seade, mis võimaldab slaidiesitluses esitatud küsimustele vastata. Loengus küsiti 11 erinevat klikkeriküsimust, millele pidid ka eksperimendis osalejad vastama, et säilitada sarnasus päris loenguga. Katses pidid tudengid pastakaga valikvastustest ühele ringi ümber tõmbama. Klikkeriküsimused jagunesid sisult kaheks. Esiteks, loengu alguses ja lõpus olevad küsimused, kus küsiti, kas tudengid on graafikus, palju neil ainele nädalas aega kulub, kas loengus räägitud oli arusaadav jms. Teiseks, küsimused loengu vältel, kus näidati ülesandeid ja küsiti, mis võiks olla slaidiesitluses näidatud programmi väljundiks. Edasises analüüsis kasutatakse viimati nimetatud küsimusi, et uurida, kas üliõpilase tähelepanu nende tulemusel tõuseb. Loengu alguses ja lõpus olevaid küsimusi ei uurita, sest esimesel juhul tudengid alles seadsid end toolis mugavalt sisse ja liigutasid end palju. Viimaste küsimuste järel lõppes koheselt video ja katse. Seega ei saanud analüüsida, kuidas katseisikute ajuaktiivsus muutus.

Loengu kestel tegi õppejõud 5-minutilise pausi nagu alati selles loengus. Loengu videos lõigati see paus välja, sest antud pausi tegemisel oleks ilmselt tudengid ennast rohkem liigutanud ja EEG seade oleks võinud peas liikuda, mis oleks vähendanud andmete kvaliteeti. Tavapäraselt ei tehta Tartu Ülikool arvutiteaduse instituudi ainetes pause ja et eksperiment lubaks teha suuremaid üldistusi tudengite tähelepanu muutumise kohta loengus, siis lõigati ka sellepärast paus vahelt

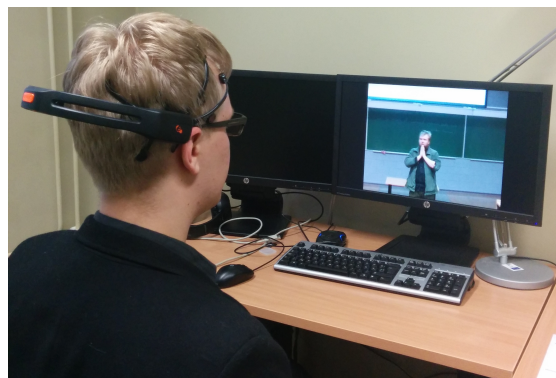
välja. Ühtlasi võiks arvata, et tänu sellele väsivad tudengid kiiremini ja see on välja loetav ka ajuandmete pealt.

2.3 Protseduur

Mõõtmised viidi läbi kahe nädala jooksul (13.05.2013 — 27.05.2013) Tartu Ülikooli matemaatika-informaatikateaduskonna hoones (J. Liivi 2). Ruumina kasutati J. Liivi 2 ruumi 016, mida tavaliselt kasutatakse videote salvestamiseks. Ruum asub keldris, mistõttu väline müra nagu inimehääled, uste kinni-lahti käimine jms ei seganud loenguvideo vaatamist.

Mõõtmised toimusid ajaliselt vahemikus 12:15—14:00 ja 14:15—16:00. Samad kellaajad valiti selleks, et mõõtmised toimuksid sarnastes tingimustes. Kaks erinevat ajavahemiku valiti sellepärast, et loenguvideo näitamiseks oli aega 2 nädalat ja kui oleks ainult üks kord päevas mõõtmisi tehtud, siis oleks saanud vähem katseisikuid osaleda. Katseid alustati 12:15, sest ka päris loengus oli sama algusaeg.

Igale uuritavale esitati allkirjastamiseks informeeritud nõusoleku leht (lisa B), milles selgitati läbiviidavat katset. Katseisikutele pandi pähe Emotiv EPOC seade (joonis 2.1), mille elektroode oli vaja eelnevalt soolveega niisutada, et elektrijuhtivus peanahalt elektrodideni oleks võimalikult tugev. Seadme paigaldamiseks kulus sõltuvalt katseisiku juuste pikkusest 3—10 minutit. Nimelt peab seadme elektrodid paigutama võimalikult peanaha lähedale, et tagada kvaliteetne ühendus, ja pikajuukselistega kulub rohkem aega. Igale uuritavale näidati ühel korral 85 minutit kestvat loenguvideot ja samal ajal salvestati katseisiku ajulaineid.



Joonis 2.1: Lavastus katsest.

Katseisikuga samas ruumis jälgiti vastavast arvutist ühenduse kvaliteeti ja tehti selle kohta märkmeid. Nimelt näitab Emotiv EPOC'iga kaasasolnud tarkvara iga elektroodi ühenduse kvaliteeti ja lubab ka salvestatavaid EEG andmeid reaajas

jälgida. Ka lisati märkmetesse info, kui katseisik enda pead puudutas ja kas see andmeid silmnähtavalt mõjutas. 16 mõõtmisest 4 ebaõnnestusid. Kahel juhul sai Emotiv EPOC aku ootamatult tühjaks. Kolmandal ja neljandal juhul oli probleeme ühendusega. Edasiseks töötluks saadi 12 katseisiku andmed.

Peatükk 3

Andmete analüüs

3.1 Eesmärk

Antud peatüki eesmärk on tutvustada katsest saadud andmeid ja anda lugejale ülevaade ajuandmete analüüsi etappidest.

3.2 Eeltöötlus

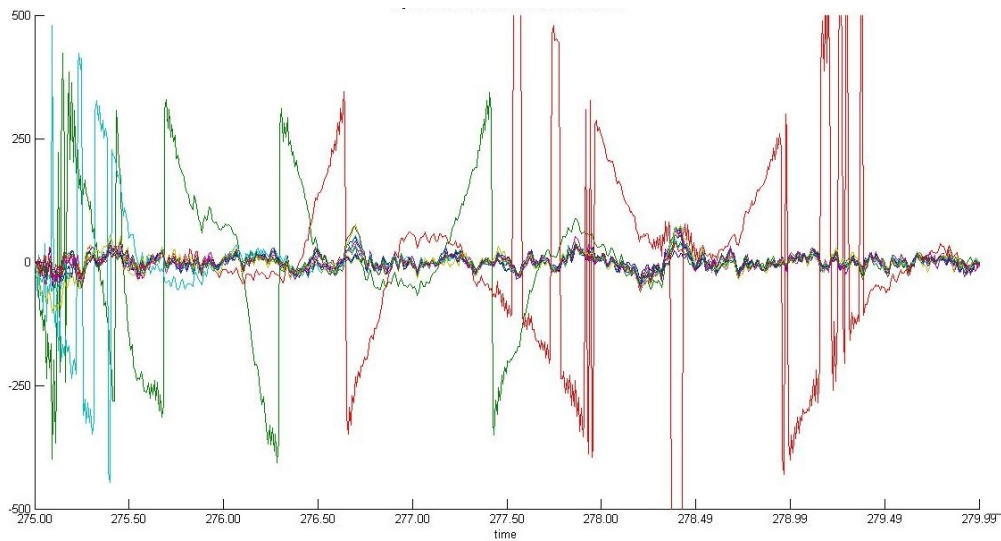
Andmete analüüsimiseks kasutati andmeanalüüsi programmi Matlab ja selle pistikprogrammi Fieldtrip'i [OFMS11], mis on mõeldud EEG andmete analüüsiks. Andmete Matlabi saamiseks kasutati Emotiv EPOC seadmega kaasasolnud programmi nimega Testbench ja autori loodud Java programmi CSVconverter. Programmi Testbench kasutati andmete salvestamiseks, mis väljastas CSV (comma-separated values) failid. Järgmisena kasutati CSVconverterit, mis eemaldas ebavajalikud päised CSV failidest, misjärel oli võimalik andmed Matlabi importida. Matlabis on andmed maatriksite kujul ja selleks, et andmeid analüüsida, programmeeriti skriptid (lisa A), mis vajaliku analüüsi läbi viiks. Andmete suure hulga kohta annab tunnistust see, et iga katseisiku ühe elektroodi iga sekundi kohta on 128 ujukoma arvu, mis näitavad aju elektrilist aktiivsust. Kokku on töötlemiseks arve $128 \text{ (arvu sekundis)} * 60 \text{ (sekundit)} * 83 \text{ (minutit)} * 14 \text{ (elektroodi katseisiku kohta)} * 12 \text{ (katseisikut)} = 107\,089\,920$.

Toorandmetele rakendati ribapääsfiltrit (ing. k *bandpass filter*), mis säilitab määratud sagedusvahemikuga signaali ja eemaldab signaalist kõrgemad ja madalamad sagedused. Ribapääsfiltri vahemikuks valiti 1—45 Hz. Ülejäänud sagedused jäeti välja, sest bioloogilistel ja tehnilistel põhjustel ei sisalda need vajalikku informatsiooni, et uurida tähelepanu muutust ajas. Saadud andmetest on näidiseks toodud joonis 3.1, millel on kujutatud 5 sekundit andmeid.

Ribapääsfilter jätab alles meile huvipakkuvad sagedused, kuid ei taga, et need sagedusribad müra pole. Müra all peetakse silmas andmeid, mis ei kajasta närvirakkude tegevust, vaid on tingitud füüsilisest seadme nihkumisest, pealiigutustest, silmapilgutustest jms. Müra andmed (joonis 3.2) rikuvad edasist andmeanalüüsi ja selleks, et müra andmeanalüüsi vähem mõjutaks, jätame välja elektrootide andmed sekunditelt, kus konkreetse elektrooti väärtused ületavad vahemikku $[-150\ 150]$. See vahemik valiti pärast andmete graafiku vaatamist. Nimelt on suur müra (nt joonisel 3.2 punast ja rohelist värvi elektrootide andmed) selgelt äratuntav ja tundub ületavat $[-150\ 150]$ piire. See ei tähenda, et ülejäänud andmed müravabad oleks, sest nii on eemaldatud vaid teatav ilmselge müra. Näiteks on lihaste tekitatud müra gammasagedusel ja seda on raske eristada närvirakkudest tulenevast signaalist [Mut13].



Joonis 3.1: 5 sekundit andmeid ühe katseisiku kohta pärast ribapääsfiltrit. Värvid näitavad erinevaid elektrootode.

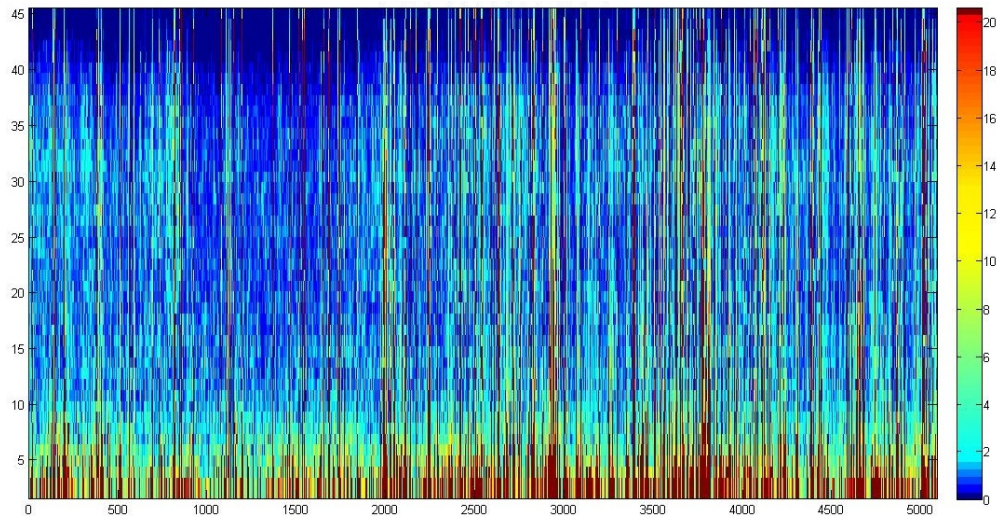


Joonis 3.2: 5 sekundit müraseid andmeid ühe katseisiku kohta pärast ribapääsfiltrit. Jooniselt on näha, et kaks elektroodi (punane joon ja roheline joon) on teiste elektrootidide andmetest selgelt erinevad.

3.3 Analüüs

Selleks, et analüüsida, kuidas üliõpilase tähelepanu seisund loenguvideot vaadates muutub, tehti esmalt iga katseisiku kohta 1-sekundilise ilma kattuvuseta ajaaknaga Fourier teisendus (peatükk 1.6). Selle tulemusena saadi iga katseisiku kohta sekundi ja elektroodi sageduskomponentide võimsused (joonis 3.3).

Madalad sageduskomponendid EEG andmetes on seotud magamise ja unisusega ([BGDO74]; [OSE06]) ning vastupidiselt, kõrged sageduskomponendid on seotud aktiivse mõttetöega ([RRWK11]; [KL05]). Erinevate sagedustega seotud psühholoogilised protsessid on toodud tabelis 1.2 leheküljel 13. Nende sageduskomponentide võrdlemine annab meile aimu tähelepanuseisundist. Selleks jagati iga katseisiku kõikide elektrootidide kõrgete sageduste võimsused madalate sageduste võimsusega igas sekundis ja saadi üliõpilase tähelepanuseisundi muutumine ajas. Madalateks sagedusteks võeti 5-14 Hz ja kõrgeteks 25-45 Hz. Delta- ja beeta-sagedused jäeti välja. Delta-sagedus jäeti välja sellepärast, et osa katseid on näidanud, et delta-sagedus on seotud teatud juhtudel kestva tähelepanuga [KABG⁺06]. Selleks peab küll olema rütmiline stimulatsioon, aga analüüsi selguse huvides jäeti delta-sagedus huviorbiidist välja. Kõrgete ja madalate sageduste konkreetsemaks eristamiseks jäeti beeta-sagedus välja, sest tema esinemine varieerub tavalisest ärkvelolekust keskendumiseni.



Joonis 3.3: Ühe katseisiku sageduskomponentide võimsused. Sinine värv tähistab sageduste vähest võimsust. Punane värv tähistab sageduste suurt võimsust. x-teljel on toodud aeg, y-teljel on toodud sagedused 0-45Hz.

Katseisikute tähelepanu muutused keskmistati iga minuti peale. Keskmistamine sooritati sellepärast, et andmetest paremat ülevaadet saada ja eemaldada eelanalüüsi käigus väljavõetud müra elektroodide tõttu tekkinud augud. Keskmistamise all peetakse silmas, et igas minutis leiti keskmine väärtus üle sekundite ja edasises analüüsis kasutati ainult seda. Järgmisena normaliseeriti kõikide katseisikute kohta saadud andmed. Normaliseerimine tähendab erinevate katseisikute andmete samale skaalale viimist, mille tulemusena on iga katseisiku andmete keskmine 0 ja standardhälve 1. Seeläbi on üliõpilaste tähelepanuseisundi muutused omavahel võrreldavad. See on antud analüüsis oluline, sest huvipakkuv on tähelepanu muutumine ajas, mitte tema erinev tase katseisikuti.

Normaliseerimine üle andmete:

$$z = \frac{x - \bar{X}}{S}$$

kus:

- z = normaliseeritud väärtus
- x = üks andmepunkt andmetes
- \bar{X} = andmete keskvärtus
- S = andmete standardhälve

Seejärel keskmistati üle katseisikute, et saada üks joon, mis väljendaks üliõpilaste tähelepanu muutust läbiviidud katses. Saadud graafik 4.1 asub leheküljel 25. Antud graafiku tõlgendus on toodud peatükis 4.

Järgnevalt uuritakse, kas üliõpilaste tähelepanu muutub pärast küsimuste küsimist. Selleks võrreldakse 1 minutit enne ja 1 minutit pärast küsimuste esitamist. Nullhüpotees (H_0) on, et klikkerid ei mõjuta tähelepanu muutust. Sisukas ehk alternatiivne hüpotees (H_1) on, et üliõpilaste tähelepanu suureneb pärast klikkeriküsimust.

H_0 : Üliõpilaste tähelepanu enne küsimust on sama, mis pärast küsimust

H_1 : Üliõpilaste tähelepanu enne küsimust on suurem kui pärast küsimust

Graafikult 4.1 leheküljel 25 on näha, et klikkeriküsimused asuvad loengu alguses, keskel ja lõpus. Loengu alguses ja lõpus olevaid küsimusi uurimise alla ei võetud peatükis 2.2.2 nimetatud põhjustel. Vaatluse alla võeti 1 minut enne küsimuse küsimist, täpsemalt 36., 42. ja 56. minut ja 1 minut pärast klikkerivastuste näitamist, täpsemalt 40., 45., 67. minut. Viimasel juhul valiti 67. minut sellepärast, et minutitel 57-65 küsiti mitu küsimust järjest, mis ei võimaldanud neid eraldi analüüsida.

Vajalikud andmed:

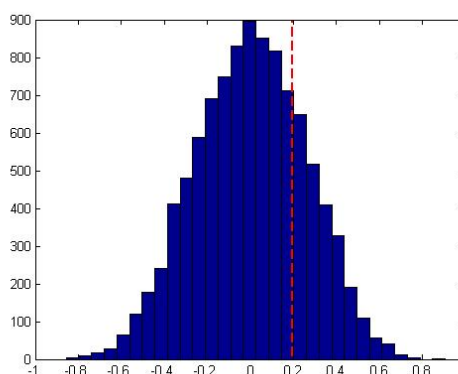
$12 \text{ (katseisikut)} * 3 \text{ (küsimust)} * 1 \text{ eelnev minut} = 36 \text{ andmepunkti enne küsimusi}$
 $12 \text{ (katseisikut)} * 3 \text{ (küsimust)} * 1 \text{ järgnev minut} = 36 \text{ andmepunkti pärast küsimusi}$

Järgmisena leiti mõlema andmehulga keskmised väärtused. Katseisikute keskmine aktiivsus enne küsimust (tähistame c -ga) ja katseisikute keskmine aktiivsus pärast küsimust (tähistame d -ga). Katseisikute tähelepanu muutuse tuvastamiseks leiti keskmiste vahe $d - c$ ja saadi tulemuseks 0,1943. Saadud tulemus näitab, et pärast küsimust on katseisikute tähelepanu keskmiselt pisut suurem kui enne küsimuse küsimust.

Selleks, et uurida, kas tulemuseks saadud väärtus on ka statistiliselt oluline, kasutati permutatsioonitesti. Permutatsioonitest tähendab uuritavate gruppide andmete lisamist ühte gruppi, grupis olevate andmete segamist, seejärel uuesti erinevateks gruppideks jagamist, huvipakkuva analüüsi teostamist, seejärel korratakse protse-

duuri mitu korda ja lõpus uuritakse, kui palju kordi uute proovide võtmisel saadi sama ekstreemne või ekstreemsem tulemus kui see, mille olulisust üritatakse leida. Permutatsioonitesti teostamiseks pandi mõlemad andmehulgad ühte gruppi kokku ja seejärel jagati uuesti kaheks 36 liikmeliseks grupiks, ehk siis enam ei ole grupid jagatud andmete päritolu järgi, vaid suvaliselt. Leiti saadud gruppide keskmised ja nende vahe. Seda korrati 10 000 korda. Tulemused on kuvatud joonisel 3.4.

Histogrammilt on näha, et klikkeriküsimustele eelneva ja järgneva minuti keskmise vahe väärtus ei ole ekstreemne. 24% saadud väärtustest on suuremad kui vaatluse all olev 0,1943, seega statistiline olulisus ehk tõenäosus, et esialgselt saadud väärtus 0,1943 on juhuslik, on 24% ($p = 0,24$). Selleks, et tulemus oleks oluline, peaks $p \leq 0.05$. Seega statistiliselt ei leidnud sisukas hüpotees kinnitust ja me ei saa nullhüpoteesi ümber lükata.

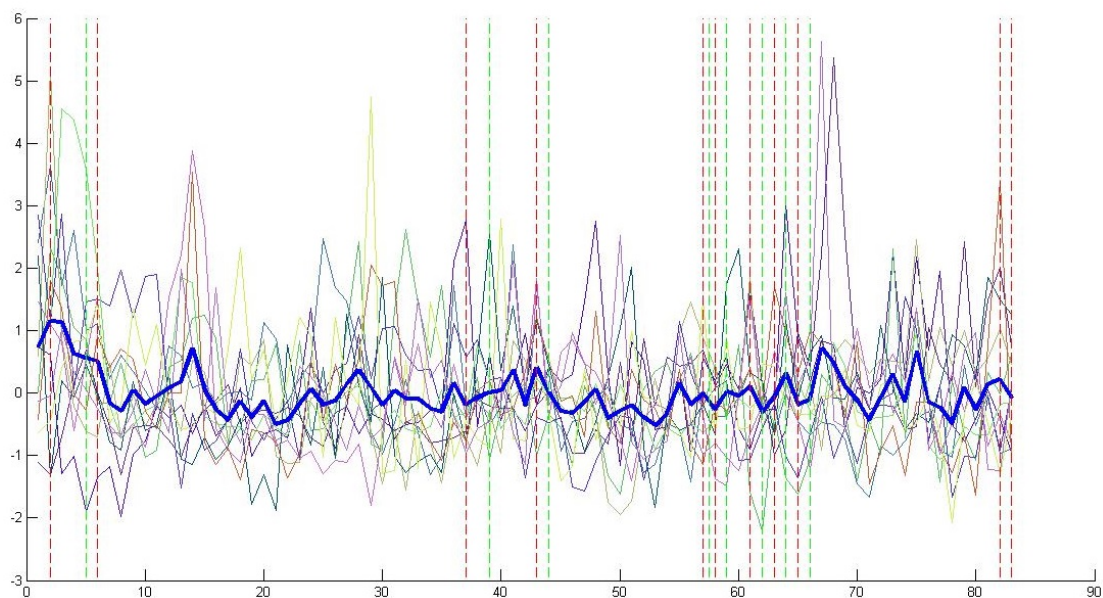


Joonis 3.4: Sinised viirud tähistavad erinevate väärtuste jaotust juhuslike permutatsioonide korral. Punane joon tähistab leitud klikkeriküsimustele eelneva ja järgneva minuti keskmiste vahet.

Peatükk 4

Tulemused

Analüüsi tulemusena saadi joonis 4.1, kus on toodud kõikide katseisikute keskmisvõime muutumine ajas ja üle kõikide katseisikute keskmistatud tähelepanu muutumine (joonise 4.1 peal välja toodud tumeda joonega). Samuti on lisatud graafikule punaste vertikaaljoontega kohad, kus loengus küsiti küsimusi, ja roheliste vertikaaljoontega kohad, kus esitatud küsimustele näidati õigeid vastuseid. Graafiku järgi tundub, et tähelepanu muutumises ei ole üliõpilaste vahel sarnas-



Joonis 4.1: Katseisikute kõrgete ja madalate sageduste suhte muutumine loengu vältel. Tumeda joonega on välja toodud katseisikute keskmine ja heledamate joontega on välja toodud iga katseisiku tähelepanu muutumine ajas. Punased jooned tähistavad minutit, kus küsiti klikkeriküsimus ja rohelised jooned vastuse näitamise minutit.

si. Andmed on väga suure variatiivsusega, vaatamata sellele, et ühe isiku kõikide elektrootide andmed ollakse ühe minuti peale keskmistatud. Peatükis 3.3 tehtud permutatsioonitest näitas, et ka üliõpilase tähelepanu suurenemine pärast klikkeriküsimust ei ole statistiliselt oluline.

Katses kasutatud Emotiv Epoc EEG-seade on tavakasutajatele suunatud ning võrreldes teadus- ja meditsiiniuuringutes kasutatavate EEG-seadmetega on te-maga salvestatud andmete kvaliteet madal [DCP⁺13]. Katse ei pruugiks anda positiivset tulemust ka professionaalse EEG-seadme puhul, sest on võimalik, et üliõpilaste ajulainete kõrgete ja madalate sageduste vahe muutubki loengu vältel väga erinevalt.

Tavaliselt on EEG-uuringute katsed lühikese kestusega ja korratakse ühe katseisiku peal mitu (vahel ka 100 ja 1000) korda. Katsete suure arvu korral ei mõjuta müra niivõrd tulemust, sest see eeldatavasti esineb alati erineval ajal ja seetõttu on keskmise võtmise tagajärjel müra mõju minimaalne. Kui andmetes esineb mingi trend, siis on see tänu sellele tuvastatav. Ka tehakse tavaliselt katseid suurema hulga katseisikute peal. Antud üliõpilase tähelepanu uurimise katset ei saa üliõpilasele mitmeid kordi näidata, sest siis me ei mõõdaks enam üliõpilase tavalist olekut loengus. Tavaliselt vaadatakse loengut üks kord.

Tehtud katse kestis 85 minutit ja nii pikk ajaline kestus piiras katseisikute arvu suurendamist. Kokku saadi kasutada 12 katseisiku andmeid ja nii väheste katseisikute korral võib müra tulemust oluliselt mõjutada.

Võib-olla piisaks tähelepanu muutuse tuvastamiseks täpsemast EEG-masinast ja rohkematest katseisikutest. Abiks oleks ka täpsemalt defineeritud katse, näiteks palju igavam loeng ja üks klikkeriküsimus keskel. Võimalik, et selline ajulainete kõrgeteks ja madalateks sagedusteks jagamine on liiga lihtsustav meetod kognitiivsete protsesside mõistmiseks. Selleks, et proovida paremini mõista, kuidas üliõpilaste tähelepanu loengu jooksul muutub, võiks edasiseks uurimiseks proovida kombineerida mitmeid meetodeid: nii ajulainete analüüsi, loengus räägitu meeldejäämise kontrollimist, katseisiku subjektiivse tähelepanu oleku hindamist kui ka välist vaatlust.

Kokkuvõte

Ajus on spetsiaalsed rakud, neuronid, mis edastavad informatsiooni elektriliste signaalidega, mida on võimalik elektroentsefalograafia (EEG'iga) mõõta. EEG on seade, mis mõõdab peanaha pinnalt aju elektrilist aktiivsust. Aju elektriline aktiivsus on oma olemuselt perioodiline, mistõttu kirjeldatakse ajuaktiivsust sageduste kaudu. Erinevate sageduste juures on täheldatud erinevaid psühholoogilisi protsesse: kõrged sageduskomponendid on seotud aktiivse mõttetööga ja madalad sageduskomponendid unisuse ja magamisega.

Selleks et uurida üliõpilase tähelepanu muutumist loengus ja seda, kas küsimuste esitamise järel tähelepanu suureneb, viidi läbi katse. 16 tudengile näidati objekto-rienteeritud programmeerimise loenguvideot ning samal ajal mõõdeti ja salvestati nende ajuaktiivsust Emotiv EPOC EEG seadmega. Emotiv EPOC EEG seade on halvema signaali ja müra suhtega kui professionaalsed meditsiiniseadmed, aga see-eest odav ja kergesti paigaldatav.

Andmete analüüsi tulemusena saadi graafik, mis peaks näitama üliõpilase tähelepanu muutumist loengus, kuid ilmselt müra tõttu varieerusid tulemused palju. Ka üliõpilaste tähelepanu statistiliselt olulist suurenemist küsimuste esitamise peale ei tuvastatud.

Võib-olla piisaks tähelepanu muutuste tuvastamiseks täpsemast EEG masinast ja suuremast katseisikute hulgast. Autor soovitab tulevastel uurijatel proovida ajuandmete analüüsi kombineerida aga ka teiste meetoditega nagu näiteks loengus meeldejäämise kontrollimisega, subjektiivse tähelepanu oleku hindamisega, välise vaatlusega.

Kirjandus

- [And10] Uusberg Andero. Kuidas ajutegevust "pealt kuulata"? *Eesti Psühholoogide laualeht*, (47):28, 2010.
- [BGDO74] Jackson Beatty, Arana Greenberg, W Phillip Deibler, and James F O'Hanlon. Operant control of occipital theta rhythm affects performance in a radar monitoring task. *Science*, 183(4127):871–873, 1974.
- [DCP⁺13] Matthieu Duvinage, Thierry Castermans, Mathieu Petieau, Thomas Hoellinger, Guy Cheron, and Thierry Dutoit. Performance of the emotiv epoc headset for p300-based applications. *Biomedical engineering online*, 12(1):56, 2013.
- [DLS10] Daniel M. Wegner Daniel L.Šchacter, Daniel T. Gilbert. *Psychology second edition*. Worth Publishers, 2010.
- [DLS12] Daniel M. Wegner Daniel L.Šchacter, Daniel T. Gilbert. *Introducing Psychology second edition*. Worth Publishers, 2012.
- [Ech14] Echo 360 videosalvestussüsteem (<http://echo360.com/>) @ONLINE, April 2014.
- [Emo14] Emotiv homepage (<http://www.emotiv.com/>) @ONLINE, April 2014.
- [KABG⁺06] Elif Kirmizi-Alsan, Zubeyir Bayraktaroglu, Hakan Gurvit, Yasemin H Keskin, Murat Emre, and Tamer Demiralp. Comparative analysis of event-related potentials during go/nogo and cpt: decomposition of electrophysiological markers of response inhibition and sustained attention. *Brain research*, 1104(1):114–128, 2006.

- [KL05] Jochen Kaiser and Werner Lutzenberger. Human gamma-band activity: a window to cognitive processing. *Neuroreport*, 16(3):207–211, 2005.
- [Mut13] Suresh D Muthukumaraswamy. High-frequency brain activity and muscle artifacts in meg/eeg: a review and recommendations. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 2013.
- [OFMS11] Robert Oostenveld, Pascal Fries, Eric Maris, and Jan-Mathijs Schoffelen. Fieldtrip: open source software for advanced analysis of meg, eeg, and invasive electrophysiological data. *Computational intelligence and neuroscience*, 2011:1, 2011.
- [OSE06] BSõken, MCŠalinsky, and SM Elsas. Vigilance, alertness, or sustained attention: physiological basis and measurement. *Clinical Neurophysiology*, 117(9):1885–1901, 2006.
- [RRWK11] Maria K Rieder, Benjamin Rahm, John D Williams, and Jochen Kaiser. Human gamma-band activity and behavior. *International Journal of Psychophysiology*, 79(1):39–48, 2011.
- [Tal09] Aru Jaan / Bachmann Talis. *Tähelepanu ja teadvus*. Tänapäev, 2009.
- [Ute14] Tartu Ülikooli inimuuringute eetika komitee (<http://www.ut.ee/et/teadus/eetikakomitee>), 2014.
- [Wik14a] Wikipedia. 10-20 system (eeg), 2014. [Online; accessed 16-April-2014].
- [Wik14b] Wikipedia. Cerebral cortex, 2014. [Online; accessed 15-April-2014].
- [Wik14c] Wikipedia. Electroencephalograph, 2014. [Online; accessed 15-April-2014].
- [Wik14d] Wikipedia. Neuron, 2014. [Online; accessed 20-April-2014].

Lisa A: Loodud skriptid

Andmeanalüüsiks loodud MatLab'i skriptid koos kasutusjuhendiga asuvad aadressil: <https://bitbucket.org/evertn/sustainedattentionanalyseeg/src>

Lisa B: Uuritava informeeritud nõusoleku leht

Palume Teil tähelepanelikult läbi lugeda järgnev teave Tartu Ülikooli arvutiteaduse instituudi üliõpilastöö uurimisprojektist „Õpilase tähelepanu rakendamise ajalise dünaamika uurimine mobiilse EEG seadme abil“, et saaksite anda oma informeeritud nõusoleku selles osalemiseks. EEG ehk elektroentsefalograaf on seade, mis salvestab inimese tekitatud elektrit peaaegu kolbalt.

Uurimustöö eesmärgiks on uurida, kuidas muutub üliõpilaste keskendumisvõime loengu jooksul.

Teile näidatakse ühel korral 90 minutit kestvat objektorienteeritud programmeerimise loengut ning samal ajal salvestatakse mobiilse EEG seadme abil uuritava ajulaineid. Analüüsimeks tähelepanelikkust, lahutatakse iga ajahetke signaal sageduskomponentideks ning võrreldakse kõrgeid sagedusi madalate sagedustega. Nimelt on teada, et puhkaval ajul on madalaid sagedusi rohkem ja kõrgeid sagedusi vähem. Samuti toimub see vastupidi, kõrgete sageduste rohkus viitab tähelepanelikkusele.

Lõppeesmärgiks on saada üks graafik ja selle interpretatsioonid üle kõikide uuritavate, mis näitavad kuidas muutub keskmiselt õpilaste keskendumisvõime loengu jooksul.

Antud teadmisi saavad kasutada nii pedagoogid kui õppijad.

Käesolevaga palume Teie luba kasutada kogutud andmeid anonüümselt õppe ja teadustöö huvides.

Andmetest kogutakse ainult EEG andmed, ilma isiku nime juurde lisamata ehk andmed on anonüümsed.

Andmeid hoitakse tähtajatult TÜ arvutiteaduse instituudi töögrupi BIIT serveris ning ligipääs andmetele on ainult töögrupi liikmetel.

Uurimisprojekti ajakava:

13.05.2013- 27.05.2013 – mõõdetakse uuritavate ajalaineid

27.05-2013- 01.05.2014 – andmete analüüs ning järeldused

Uurimisprojekti 'Õpilase tähelepanu rakendamise ajalise dünaamika uurimine mobiilse EEG seadme abil' osalemine on vabatahtlik ning Teil on õigus igal hetkel selles osalemine katkestada.

Lisainfo saamiseks pöörduge uuringu läbiviija Evert Nõlva poole meiliaadressil evertnolv@gmail.com.

Kui olete valmis kirjeldatud uuringus osalema, **kinnitage järgnevalt oma nõusolekut.**

Mina, _____, olen nõus osalema eelpool kirjeldatud uurimuses ning luban kasutada kogutud andmeid anonüümselt õppe ja teadustöö huvides.

_____(*allkiri*)

Evert Nõlv (*nõusoleku võtja*) _____(*allkiri*)

Kuupäev: _____

Litsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Evert Nõlv (05.09.1990),

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose "Loengut jälgiva üliõpilase tähelepanu muutumise analüüs ajuandmete abil", mille juhendajad on Kristjan Korjus, Eno Tõnisson, Margus Niitsoo.
 - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpacei kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartu, 14.05.2014