

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

| I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ | | |
|--|------------------|--|
| 1. Датум и орган који је именовано комисију: Решење бр. 012-199/13-2023 од 26.09.2024. године, на основу предлога Катедре за електрична мерења, а у складу са Статутом Факултета техничких наука, декан факултета именовано је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације. | | |
| 2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> : | | |
| 1. др Драган Пејић | редовни професор | Електрична мерења, метрологија и биомедицина |
| презиме и име | звање | ужа научна област и датум избора |
| Факултет техничких наука, Нови Сад | | Председник |
| установа у којој је запослен-а | | функција у комисији |
| 2. др Вања Ковић | редовни професор | Општа психологија |
| презиме и име | звање | ужа научна област и датум избора |
| Филозофски факултет, Београд | | Члан |
| установа у којој је запослен-а | | функција у комисији |
| 3. др Немања Газивода | доцент | Електрична мерења, метрологија и биомедицина |
| презиме и име | звање | ужа научна област и датум избора |
| Факултет техничких наука, Нови Сад | | Члан |
| установа у којој је запослен-а | | функција у комисији |
| 4. др Ђорђе Новаковић | доцент | Електрична мерења, метрологија и биомедицина |
| презиме и име | звање | ужа научна област и датум избора |
| Факултет техничких наука, Нови Сад | | Члан |
| установа у којој је запослен-а | | функција у комисији |
| 5. др Платон Сивиљ | редовни професор | Електрична мерења, метрологија и биомедицина |
| презиме и име | звање | ужа научна област и датум избора |
| Факултет техничких наука, Нови Сад | | Ментор |
| установа у којој је запослен-а | | функција у комисији |

| II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ |
|---|
| <p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Никола, Јовица, Петровић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 18.10.1994, Нови Сад, Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Мастер инжењер биомедицинског инжењерства</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2018, Енергетика, електроника и телекомуникације</p> |
| III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ: |
| Методe мерења електричних активности мозга у контексту истраживања квантитативне електроенцефалографије, неурофидбека и неуропластичности |
| ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ: |
| <p>Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.</p> <p>Докторска дисертација под називом „Методe мерења електричних активности мозга у контексту истраживања квантитативне електроенцефалографије, неурофидбека и неуропластичности“ кандидата Николе Петровића изложена је у 10 поглавља на 210 страна, а коришћена литература, која има 131 навод дат на 6 страна, приказана је у шестом поглављу. Докторска дисертација садржи 2 табеле, 133 слике и 4 прилога.</p> <p>Главном делу рада претходи документација која садржи:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Насловну страницу дисертације; - Обавезну општу документацију на српском језику – Кључна документацијска информација, са изводом и кључним речима; - Обавезну општу документацију на енглеском језику – <i>Key word documentation</i>, са изводом и кључним речима; - Сажетак рада са кључним речима на српском језику; - Сажетак рада са кључним речима на енглеском језику; - Захвалницу; - Попис коришћених скраћеница; - Списак слика; - Списак табела; - Садржај рада. <p>Након главног дела рада, дисертација се завршава списком литературе, планом третмана података и прилозима.</p> <p>Структура главног дела рада је следећа:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Увод 1.1 Проблем истраживања 1.2 Електроенцефалографија 1.3 Когнитивне неуронауке 1.4 Неуропластичност 1.5 Когнитивни феномени 1.6 Мозак-рачунар системи (BCI) 1.7 Мапирање мозга 1.8 Продужена реалност |

1.9 Системи машинског учења

2 Актуелно стање у области

2.1 Преглед владајућих ставова и схватања

2.2 Образложење о потребама научног истраживања

2.3 Циљ истраживања и хипотеза

3 Методологија

3.1 Опрема

3.2 Опис експеримента

3.3 Архитектура система

4 Резултати

4.1 Неурофидбек

4.2 Мултиспектрално мапирање мозга

4.3 Систем за класификацију и регресију когнитивних стања и когнитивних активности

4.4 Дигитална интерактивна психологија

5 Закључак

5.1 Даљи развој система

5.2 Примена развијеног система

6 Литература

7 План третмана података

8 Прилози

8.1 Додатни резултати

8.2 Кодови

8.3 Списак објављених научних радова

8.4 Биографија кандидата

ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Предмет истраживања докторске дисертације је анализа и оптимизација система за мерење и анализу електричних активности мозга са посебним фокусом на квантитативну електроенцефалографију (*qEEG*), неурофидбек и неуропластичност. У раду се утврђују најбоље теоријске методе и експерименталне технике које омогућавају побољшање когнитивних функција кроз стимулацију мозга. Добијени резултати су верификовани кроз низ експеримената и аналитичке процедуре, као и кроз развој и тестирање нових система.

У **уводном поглављу** описан је предмет и проблем истраживања докторске дисертације, са посебним фокусом на квантитативну електроенцефалографију (*qEEG*), неурофидбек и неуропластичност. Проблем истраживања је детаљно обрађен кроз дефинисање мотивације и циљева рада, као и кроз идентификацију значаја ЕЕГ-а у когнитивним наукама, неурологији и психологији. У оквиру когнитивних неуронаука, разматрани су механизми когнитивних процеса као што су памћење, учење и пажња, уз коришћење различитих технологија за мерење активности мозга. Посебан акценат је стављен на неуропластичност, истражујући њену способност адаптације и промене мозга, као и њену улогу у терапији и обуци. Поред тога, у овом поглављу се разматрају и различити когнитивни феномени као што су памћење, визуелизација и концентрација, који су кључни за разумевање когнитивних процеса. Такође, представљени су мозак-рачунар системи (*BCI*) који омогућавају директну комуникацију између мозга и спољашњих уређаја, као и технике мапирања мозга које доприносе бољем разумевању можданих активности. На крају, разматрају се и системи машинског учења, који играју значајну улогу у анализи и класификацији когнитивних стања, уз посебан осврт на валидационе параметре који се користе у анализи података у неуронаукама и оцени квалитета система машинског учења.

Друго поглавље дисертације (Актуелно стање у области) даје преглед тренутног стања у области истраживања, са посебним фокусом на кључне концепте и технологије релевантне за ову студију. У првом потпоглављу разматрају се основни принципи и постојећи системи неурофидбека, при чему се анализирају њихове предности и недостаци у контексту побољшања когнитивних функција. Следеће потпоглавље се бави развојем и истраживањем неуропластичности, наглашавајући значај овог феномена у процесу учења и опоравка након повреда. Такође, описани су системи вештачке интелигенције и њихова примена у обради ЕЕГ сигнала, што представља важан део савремених истраживања у области неурофизиологије. Потпоглавље завршава образлагањем потреба за даљим научним истраживањима у овој области, што поставља основу за дефинисање циљева и хипотеза које се разматрају у наредним поглављима.

Треће поглавље (Методологија) детаљно описује све аспекте методолошког приступа истраживању, укључујући коришћену опрему, дизајн експеримената, места истраживања и архитектуру система.

Списак описане и коришћене опреме обухвата:

- *Emotiv Insight* и *Emotiv EPOC* уређаје за мерење електричне активности мозга,
- *Arduino* развојно окружење,
- *Unity* програм за развој симулација,
- *Oculus Quest 2* систем за виртуелну реалност.

У одељку који се бави описом експеримента детаљно су обрађени кораци припреме испитаника, укључујући физичку и когнитивну припрему, за различите типове вежби:

- Једнодимензионалне неурофидбек вежбе,
- Мултимедијалне дидактичке вежбе,
- Актуаторске неурофидбек вежбе.

Такође, описани су планирани процеси тестирања и прегледа испитаника након сваке вежбе.

Детаљно су наведене лабораторије у којима је истраживање спроведено, укључујући:

- Лабораторију за биомедицинско инжењерство и инструментацију на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду,
- Лабораторију за мерно-информационе системе на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду,
- Лабораторију за метрологију на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду,
- Лабораторију за експерименталну психологију на Филозофском факултету Универзитета у Бањој Луци.

Архитектура система за мерење и анализу електричних активности мозга описује више модула: систем за аквизицију сигнала, који укључује уређаје за мерење ЕЕГ сигнала; систем за складиштење, анализу и обраду сигнала, са алгоритмима за уклањање шума и анализу временско-фреквенцијских компоненти; неурофидбек симулацију и актуатор, који омогућавају обуку испитаника и управљање физичким уређајима путем ЕЕГ сигнала; мултиспектрално мапирање мозга, које визуелизује мождане активности; и систем за класификацију и регресију когнитивних стања и активности, који користи моделе машинског учења за анализу података. Ово поглавље детаљно објашњава сваку компоненту и њену улогу у целокупном систему.

Четврто поглавље (Резултати) обухвата опис развијених неурофидбек вежби и добијених запажања као и опис развијене интегрисане платформе која даје могућност обуке и тестирања испитаника. Описани су резултати и могућности валидационих система за мултиспектрално мапирање мозга, као и за класификацију и регресију когнитивних стања и когнитивних активности. Четврто потпоглавље, Дигитална интерактивна психологија, описује развијени алат чија сврха је тестирање испитаника помоћу стандардизованих психолошких тестова уз употребу рачунарских алата и виртуелне реалности.

Пето поглавље (Закључак) представља сажетак резултата саме тезе, као и препоруке за правце даљег истраживања и унапређивања метода, система и експеримената који су дати у тези.

Попис **литературе**, по редоследу навођења, дат је у шестом поглављу. Литература је детаљно наведена и прегледно приказана.

План третмана података је дат у седмом поглављу и детаљно описује коришћене податке, њихово порекло, као и њихов третман.

На самом крају докторске дисертације издвојени су **прилози** са главним сегментима резултата и имплементираним кодовима, те је дата кратка **библиографија** и **биографија** кандидата, Николе Петровића.

На основу изложеног, Комисија позитивно оцењује све делове докторске дисертације.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилма докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

M23 - Petrović, N., Mandić, S., Borojević, S., Gazivoda, N., Sovilj, P., 2024. Cognitive Phenomena Measurement with Time Window-Based Multispectral Brain Mapping. *Technology and Health Care*, 32(2), pp.799-808.

M23 - Novakovic, D., Sovilj, P., Petrovic, N., Milovanovic, M., Makal, J. and Walendziuk, W., 2020. Measurement of Event-Related Brain Potentials (ERP) Amplitude and Latency Based on Digital Stochastic Measurement over Interval. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 26(2), pp.59-68.

M33 - Tsompou, P.I., Potsika, V.T., Petrovic, N., Pezoulas, V.C., Siogkas, P.K., Tsakanikas, V.D., Pleouras, D.S., Papafaklis, M., Nikopoulos, S., Sakellarios, A.I. and Fotiadis, D.I., 2022, September. Computational modeling of atherosclerotic plaque progression through an efficient 3D agent-based modeling approach. In 2022 IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI) (pp. 01-04). IEEE.

M33 - M.A. AboArab MA, V.T. Potsika, N.J. Petrović and D.I. Fotiadis. (2022). DECODE cloud platform: A new cloud platform to combat the burden of peripheral artery disease. PACET 2022 Panhellenic Conference on Electronics and Telecommunications, 2-3 December 2022, Tripoli, Greece.

M33 - N.J. Petrovic, V. T. Potsika, M. AboArab, M. Zacharopoulou, L. Tscheuschner, A. Chatziioannou, F. Sigala and D.I. Fotiadis. (2022). Tool for peripheral artery segmentation and reconstruction from angiography images. 13th HSTAM International Congress on Mechanics, 24-27 August 2022, Patras, Greece.

M33 - Petrović, N., Borojević, S., 2022. Multispectral brain mapping and its significance for validation of results of Neurofeedback experiments. In 11th International Student Scientific and Practical Conference “Cross-Cultural Communication in the Modern World”. December 2022, Penza, Russian Federation.

M33 - Petrović, N., Borojević, S., 2022. INFLUENCE OF RUSSIAN SONGS ON THE COGNITIVE AND EMOTIONAL STATES OF THE SUBJECT. In 11th International Student Scientific and Practical Conference “Cross-Cultural Communication in the Modern World”. December 2022, Penza, Russian Federation.

M63 - Petrović, N., Pejić, D., Urekar, M., Novaković, Đ, Gazivoda, N. (2019). Simulacioni model stohastičkog flash A/D konvertora. In Etran conference. June 2019.

| |
|---|
| <p>VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:</p> |
| <p>Наведени циљеви докторске дисертације су постигнути. Као резултат исте, развијен је иновативни неурофидбек систем који комбинује ЕЕГ, неурофидбек, виртуелну реалност и актуаторске системе како би подстакао и унапредио неуропластичност. У току спроведеног истраживања, применом различитих експерименталних фаза и методологија, доказане су претпоставке о значајном утицају предложеног система на стимулацију неуропластичности. Поступак је извршен у више фаза и подразумевао је:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Систематизацију знања у области примене ЕЕГ и неурофидбек система у биомедицинске сврхе, са акцентом на интеграцију савремених технологија као што су виртуелна реалност и актуаторски системи; • Развој новог неурофидбек система са интеграцијом постојећих ЕЕГ уређаја и софтверских алата за анализу података; • Обраду и анализу добијених резултата коришћењем напредних метода статистичке анализе и машинског учења; • Оптимизацију система на основу повратних информација и резултата експеримената; • Евалуацију система кроз компаративне студије и валидацију са постојећим методама; • Дискусију појединих сегмената истраживања, закључак и предлог за даља истраживања у области. <p>Имајући у виду добијене резултате истраживања, спроведену анализу модела и прототипа, предложени систем се може ефикасно примењивати у биомедицинским експериментима са различитим захтевима и условима. Систем је тестиран на групи испитаника, а резултати мерења ЕЕГ сигнала и опажања из експеримената пружили су увид у промене когнитивних феномена током експеримената. Евалуација је извршена коришћењем алата за мултиспектрално мапирање мозга, психолошку евалуацију, класификацију и регресију. Добијени резултати показали су да употреба развијеног система успешно развија нове когнитивне функције и даје основе за даљи развој система са широм применом.</p> |
| <p>VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:</p> |
| <p>Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.</p> |
| <p>Резултати добијени истраживањем су у тексту докторске дисертације приказани, анализирани и тумачени применом релевантних метода прикупљања, приказивања, обраде и анализе података. Избор наведених метода и начина њихове примене је у потпуности прилагођен карактеру проблема који су у дисертацији решавани. Сви графици су пропраћени адекватним текстуалним описом резултата и одговарајућим коментарима. Интерпретација резултата је концизна, а коментари и закључци дати у раду су логични и произлазе из добијених резултата.</p> <p><i>Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.</i></p> |
| <p>IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</p> |
| <p>Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање. Навести нумеричке податке о резултатима провере оригиналности рада и дати текстуално образложење.</p> |
| <p>Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?</p> |
| <p>Докторска дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем које је наведено у пријави теме.</p> |
| <p>Да ли дисертација садржи све битне елементе?</p> <p>Докторска дисертација својим насловом, садржајем, резултатима истраживања и начином тумачења истих садржи све битне елементе који се захтевају за радове овакве врсте.</p> |
| <p>По чему је дисертација оригиналан допринос науци?</p> |
| <p>Разматрајући целокупну материју докторске дисертације, кандидата Николе Петровића, Комисија је закључила да докторска дисертација представља оригиналан научни допринос аутора у</p> |

теоријском и практичном смислу. Основа ове оцене је у чињеници да резултати овог истраживања омогућавају примену новог и иновативног система за мерење и анализу електричних активности мозга, који представља оригинално решење за унапређење когнитивних функција кроз употребу неурофидбек система, са посебним акцентом на неуропластичност.

Према доступној литератури, методе и приступи описани у овој дисертацији до сада нису били детаљно разматрани у научној литератури, чиме овај рад значајно доприноси ширењу постојећих сазнања у области когнитивних неуронаука и биомедицинског инжењерства.

Такође, ово истраживање представља солидну основу за будућа истраживања и примене у области неурофидбека и неуропластичности, отварајући могућности за нове методологије и технологије у лечењу и побољшању когнитивних функција и менталног здравља.

Након анализе докторске дисертације кандидата Николе Петровића, Комисија је закључила да дисертација садржи све елементе оригиналног научног рада и да методе описане у овој дисертацији у целости представљају оригинални допринос науци.

Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

У дисертацији нису уочени недостаци који би утицали на коначан резултат истраживања.

Образложење резултата провере оригиналности рада (нумерички и наративно):

Провером рада на плагијаризам помоћу програмског пакета iThenticate утврђен је проценат преклапања од 18%, при чему се подударане односи на терминолошке и методолошке фразе. Такође, проценат преклапања са сваким наведеним извором није већи од 1%, те Комисија констатује да је кандидат адекватно цитирао коришћену литературу и да оригиналност добијених научних резултата и дискусије није упитна.

| |
|---|
| X ПРЕДЛОГ: |
| На основу наведеног, комисија предлаже: |
| а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана; |
| б) да се докторска дисертација врати кандидату на дораду (да се допуни односно измени); |
| в) да се докторска дисертација одбије. |

Место и датум:

1. др Драган Пејић, редовни професор,
_____, председник

2. др Вања Ковић, редовни професор
_____, члан

3. др Немања Газивода, доцент
_____, члан

4. др Ђорђе Новаковић, доцент
_____, члан

5. др Платон Совиљ, редовни професор,
_____, ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.