

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Оцена научне заснованости теме докторске дисертације кандидаткиње Марије Новичић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства

Одлуком Научно-наставног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 1275/22 од 02.07.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидаткиње Марије Новичић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **”Препознавање когнитивних компоненти у електроенцефалографским одзивима на соматосензорне електричне стимулусе методама машинског учења”** (енгл. *Detection of cognitive components in electroencephalographic responses to somatosensory electrical stimuli using machine learning methods*).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидаткиње, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидаткињи

1.1. Биографски подаци

Марија Новичић је рођена 14.03.1994. године у Београду. Основну школу и природно-математички смер Земунске гимназије завршила је у Београду. Електротехнички факултет у Београду уписала је 2013. године, где је дипломирала 2017. године на одсеку Сигнали и системи са просечном оценом 9.31/10.00. Дипломски рад на тему *„Класификација покрета руке на основу кинематских параметара применом неуралних мрежа“* одбранила је под менторством проф. др Милице Јанковић. Године 2017. освојила је награду за најбољи дипломски рад на Електротехничком факултету у Београду коју додељује организација ЕТФ БАФА. Мастер академске студије је завршила 2019. године на одсеку Сигнали и системи са просечном оценом 10.00/10.00. Мастер рад на тему *„Gait analysis of transfemoral amputees with and without feedback“* одбранила је под менторством проф. др Милице Јанковић, у сарадњи са Институтом „Михаило Пупин“ у Београду, у оквиру пројекта *European Research Council* (ERC StG 759998) гранта *„FeelAgain“*. У октобру 2019. године уписује докторске академске студије на Електротехничком факултету где је положила све предмете предвиђене студијским програмом са просечном оценом 10.0/10.0.

Децембра 2017. године се запошљава као сарадник у настави при Катедри за Сигнале и Системе на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, у фебруару 2020. године постаје асистент на истом факултету.

Марија Новичић је аутор 3 рада у часописима са SCI листе, 3 рада у часописима ван SCI листе, 7 радова са међународних конференција, 1 рада са домаће конференције и 2 уџбеника. Има и једно пријављено техничко решење.

Учествовала је на два пројекта билатералне научне сарадње, једном међународном пројекту Erasmus + K2 пројекту, једном Horizon 2020 пројекту, два пројекта Фонда за науку Републике Србије и на пројекту Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидаткиња Марија Новичић је од 2017. године била ангажована као сарадник у настави на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, а од 2020. године је ангажована као асистент на истом факултету. На Одсеку за сигнале и системе је била ангажована на следећим предметима:

- Електрична мерења (19E052ЕМ, 19E032ЕМ)
- Практикум из мерно-аквизиционих система (13E052ПМС)
- Практикум из софтверских алата (13E052ПСА)
- Сигнали и системи (19E052СИС, 13E052СИС, 13E052СИСР)
- Аквизиција електрофизиолошких сигнала (13E053АЕС)
- Основи система управљања (19E053ОСУ, 13E053ОСУЕ)
- Системи аутоматског управљања 1 и 2 (13E053САУ1, 13E053САУ2)
- Системи одлучивања у медицини (13E053СОМ, 13M051СОМ)
- Системи и сигнали у организму (13E053ССО)
- Управљање у реалном времену (13E054УРВ, 13C053УРВ)
- Неуралне мреже (13E054НМ, 13C053НМ, 13M054НМ)
- Управљање индустријским процесима (13E054УИП)
- Неурално инжењерство (13M051НИ).

Докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду кандидаткиња је уписала школске 2019/2020. године на модулу Управљање системима и обрада сигнала. Током докторских студија је положила наставним планом и програмом предвиђене испите и испунила све обавезе, и то:

р.бр.	Назив испита	Оцена	ЕСПБ
1	Неуровизуелизационе методе (13Д051НВМ)	10	9
2	Вештачка интелигенција и експертски системи (19Д111ВИЕ)	10	9
3	Моторна контрола и рехабилитација (19Д051МКР)	10	9
4	Методе и инструментација за електрофизиологију (19Д051МИЕ)	10	9
5	Неуралне протезе (13Д051НП)	10	9
6	Класификација и естимација сигнала (13Д051КЕС)	10	9
7	Неуралне мреже (13Д051НМ)	10	9
8	Специјални роботски системи (13Д051СРС)	10	9
9	Теорија роботских система (19Д051ТРС)	10	9
10	Увод у научни рад (19Д091УНР)	10	9
	Назив обавезе		
1	Студијски истраживачки рад I		15
2	Студијски истраживачки рад II		15
3	Научно стручни рад		3

Током докторских студија, научноистраживачке активности Марије Новичић су биле усмерена на аквизицију и обраду биомедицинских сигнала у области неуралног инжењерства, а посебно у истраживањима у домену *Brain Computer Interface* (BCI) система заснованих на електричној стимулацији и соматосензорним евоцираним потенцијалима. Ове активности су биле реализоване у оквиру пројекта Фонда за науку Републике Србије – Програм извршних пројеката младих истраживача (ПРОМИС) – „Hybrid brain computer interface for control of sensory-motor coupling in post-stroke rehabilitation (HYBIS)” којим је руководио др Андреј Савић, 2020-2022.

Кандидаткиња је до сада објавила 3 рада у часописима са SCI листе (2 категорије M22 и један категорије M23), 3 рада у часописима ван SCI листе (категорија M52), 7 радова на међународним конференцијама (категорија M33), 1 рад на домаћој конференцији (категорија M63) и 2 уџбеника. Има и једно пријављено техничко решење (категорија M82).

Списак публикација кандидаткиње Марије Новичић:

Књиге

1. М. Јанковић, М. Барјактаровић, **М. Новичић**, П. Атанасијевић, *Практикум из мерно-аквизиционих система (електронско издање)*, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, 2019, ISBN 978-86-7225-073-2.
2. Б. Јаковљевић, С. Јоцић, Т. Новак, Ж. Коколански, Б. Велковски, Д. Тефелски, А. Тефелска, М. Јанковић, М. Барјактаровић, К. Јовановић, Н. Кнежевић, П. Атанасијевић, **М. Новичић**, *Control, virtual instrumentation and signal processing use cases practicum*, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, 2019, ISBN 978-86-6022-211-6.

Категорија M20 – Радови објављени у научним часописима од међународног значаја

1. **М. Novičić**, A. Savić, *Somatosensory Event-Related Potential as an Electrophysiological Correlate of Endogenous Spatial Tactile Attention: Prospects for Electrotactile Brain-Computer Interface for Sensory Training*, Brain sciences, Vol. 13, No. 5, 2023, pp. 766-782, IF₂₀₂₁ 3.333, ISSN 2076-3425, DOI: 10.3390/brainsci13050766 (M22)
2. A. Savić, **М. Novičić**, O. Đorđević, Lj. Konstantinović, V. Miler-Jerković, *Novel electrotactile brain-computer interface with somatosensory event-related potential based control*, Frontiers in human neuroscience, Vol. 17, 2023, pp. 1-11, IF₂₀₂₃ 2.4, ISSN 1662-5161, DOI: 10.3389/fnhum.2023.1096814 (M22)
3. N. Ivančević, **М. Novičić**, V. Miler-Jerković, M. Janković, D. Stevanović, B. Nikolić, M. Popović, J. Jančić, *Does handedness matters? Writing and tracing kinematic analysis in healthy adults*, Psihologija, 52(4), 2019, pp. 413-435, IF₂₀₁₉ 0.33, ISSN 0048-5705, DOI: 10.2298/PSI181229014I (M23)

Категорија M50 – Радови објављени у научним часописима од националног значаја

1. J. Medarević, **М. Novičić**, M. Marković, *Feasibility test of activity index summary metric in human hand activity recognition*, Serbian journal of electrical engineering, Vol. 19, 2022, pp. 225 - 238, ISSN 1451-4869, DOI: 10.2298/SJEE2202225M (M52)
2. M. Badža, **М. Novičić**, M. Đurić Jovičić, M. Janković, M. Popović, *System for measuring finger force profiles for dexterity assessment*, Telfor Journal, Vol. 11, No. 2, 2019, pp. 108-113, ISSN 1821-3251, DOI: 10.5937/telfor1902108B (M52)

3. M. Janković, A. Savić, **M. Novičić**, M. Popović, *Deep Learning approaches for human activity recognition using wearable technology*, Medical Youth, Vol. 69, No. 3, 2018, pp. 14-24, ISSN: 2466-5525, DOI: 10.5937/mp69 18039 (M52)

Категорија М30 – Радови објављени у зборницима конференција од међународног значаја

1. D. Drinić, **M. Novičić**, G. Kvašćev, *Detection of LR-DDoS attack based on hybrid neural networks CNN-LSTM and CNN-autoencoder*, Proceedings of the 11th IcETRAN conference, Niš, Srbija, 2024, pp. 1-4, ISBN 979-8-3503-8699-8 (M33)
2. **M. Novičić**, V. Miler-Jerković, O. Đorđević, LJ. Konstantinović, A. Savić, *Proof of concept platform of an electrotactile Brain Computer Interface*, Proceedings of the 8th IcETRAN conference, Etno Selo Stanišići, Bosna i Hercegovina, 2021, pp. 1-4, ISBN 978-86-7466-894-8 (M33)
3. J. Medarević, **M. Novičić**, M. Marković, *Feasibility Test of Activity Index Summary Metric in Human Hand Activity Recognition*, Proceedings of the 8th IcETRAN conference, Etno Selo Stanišići, Bosna i Hercegovina, 2021, ISBN 978-86-7466-894-8, pp. 1-4, (M33)
4. **M. Novičić**, M. Janković, *Gait analysis of transfemoral amputees with and without active feedback*, Proceedings of 28th Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, pp 1-4, 2020, ISBN 978-0-7381-4243-2 (M33)
5. M. Badža, **M. Novičić**, M. Đurić Jovičić, M. Janković, M. Popović, *System for measuring finger force profiles for dexterity assessment*, Proceedings of 26th Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, pp. 1-4, 2018, ISBN 978-86-7466-755-2 (M33)
6. N. Knežević, **M. Novičić**, N. Katić, M. Janković, K. Jovanović, *Real-time control of human-like robot joint based on online measurement of joint position and muscle activity*, Proceedings of 5th IcETRAN conference, Palić, Serbia, June 11-14, 2018, pp. 1044-1047, ISBN 978-86-7466-752-1 (M33)
7. **M. Novičić**, M. Janković, G. Kvašćev, M. Popović, *Classification of forearm movement based on kinematic parameters using neural networks*, Proceedings of 25th Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, 2017, pp. 1-4, ISBN 978-86-7466-707-1 (M33)

Категорија М60 – Радови објављени у зборницима конференција од националног значаја

1. K. Vujić, **M. Novičić**, G. Kvašćev, *Detection of LR-DDoS attack based on hybrid neural networks CNN-LSTM and CNN-autoencoder*, 68th ETRAN conference, Niš, Srbija, 2024, pp. 1-4, ISBN 978-86-6200-002-6 (M63)

Категорија М80 – Техничка решења

1. A. Savić, **M. Novičić**, V. Miler-Jerković, 2024. *Prototip elektrotaktilnog interfejsa mozak-računar za rehabilitaciju senzornih funkcija nakon moždanog udara* – status: prijavljeno tehničko rešenje (M82)

Током досадашњег научноистраживачког рада, учествовала је у следећим истраживачким и комерцијалним пројектима:

1. Horizon 2020 Innovation Action - „DIH-HERO Digital Innovation Hubs in Health Care Robotics”, координатор пројекта проф. Sergio Stramigioli, Универзитет у Твентеу, локални координатор проф. др Коста Јовановић, 2019-2022.

2. Erasmus + K2 – „ITASDI – Innovative Teaching Approaches in development of Software Designed Instrumentation and its application in real-time systems”, руководилац пројекта доц. др Борис Јаковљевић, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду, локални координатор за Универзитет у Београду проф. др Милица Јанковић, 2018-2019.
3. Пројекат билатералне научне сарадње са Републиком Немачке „Development of smart body-area-network system for activity tracking” координатори пројекта др Милица Ђурић-Јовичић, Иновациони центар Електротехничког Факултета у Београду и др Марко Марковић, Универзитетски медицински центар у Гетингену, 2019-2021.
4. Пројекат билатералне научне сарадње са Републиком Француском – “Серијски манипулатори као човекови асистивни системи у индустрији (HUMAN-COMAN)”, координатори пројекта проф. др Коста Јовановић и др Vincent Bonnet, Paris-East Créteil University, Француска, 2020-2021.
5. Фонд за науку Републике Србије – Зелени програм сарадње науке и привреде – „NOx reduction based thermal power plant optimization (NOXTROT)”, координатор: др Жељко Ђуровић, 2023-2025.
6. Фонд за науку Републике Србије – Програм извршних пројеката младих истраживача (ПРОМИС) – „Hybrid brain computer interface for control of sensory-motor coupling in post-stroke rehabilitation (HYBIS)”, координатор: др Андреј Савић, 2020-2022.
7. Министарство просвете, науке и технолошког развоја – „Ефекти асистивних система у неурорехабилитацији: опоравак сензорно-моторних функција“, бр. пројекта ОС175016, руководилац проф. др Мирјана Поповић, од 2011. године (наставак институционалног финансирања у току)
8. „Систем за аутоматску детекцију исправности куглица – серијска производња“, за потребе компаније HENKEL Србија д.о.о, руководилац пројекта проф. др Жељко Ђуровић, 2019-2021.

Усмена одбрана теме докторске дисертације Марије Новичић је одржана 10.07.2024. у просторијама Електротехничког факултета пред Комисијом у саставу др Милица Јанковић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, др Оливера Ђорђевић, доцент, Универзитет у Београду – Медицински факултет, др Бошко Николић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, др Андреј Савић, виши научни сарадник, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, др Жељко Ђуровић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

Комисија је закључила да кандидаткиња Марија Новичић испуњава услове за рад на предложеној теми докторске дисертације и оценила испит оценом задовољила.

1.3. Оцена подобности кандидаткиње за рад на предложеној теми

Кандидаткиња је успешно завршила све обавезе предвиђене наставним програмом докторских студија: положила је све испите са одличним оценама, извештаји о студијским истраживачким радовима су усвојени, а на усменој одбрани теме докторске дисертације је дала детаљна образложења кључних аспеката истраживања као и одговоре на сва постављена питања. Досадашње научноистраживачке активности кандидаткиње су верификоване низом публикација у међународним часописима са SCI листе, часописима од националног значаја, публикацијама у зборницима међународних конференција, као и кроз практичну имплементацију на истраживачким и комерцијалним пројектима.

На основу претходног приказа резултата досадашњег рада и оствареног искуства, може се констатовати да кандидаткиња Марија Новичић поседује истраживачко искуство које је квалификује за израду предложене теме докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања предложене докторске дисертације су промене у електричној активности кортекса индуковане соматосензорним електричним стимулусима. У овом истраживању метод за мерење електричне могуће активности је електроенцефалографија (ЕЕГ), а мерени одзиви на електричне стимулусе достављане преко површине коже испитаника зову се соматосензорни евоцирани потенцијали (енг. *Somatosensory Evoked Potentials*, SEP). Ови сигнали мењају своје карактеристике зависно од типа стимулуса, али и од когнитивних процеса као што су усмеравање пажње на стимулус (нпр. бројање стимулуса). Дакле, из облика сигнала соматосензорних одзива на електричне стимулусе достављене на кожу испитаника могу се изводити закључци о усмереној пажњи испитаника па се ови сигнали могу искористити за управљање уређаја искључиво когнитивним командама, без физичког покрета што је метод познат под називом мозак-рачунар интерфејс (енг. *Brain Computer Interface*, BCI). Истраживање ће посебан акценат дати на анализу и обраду поменутих електрофизиолошких одзива у циљу њихове класификације применом различитих метода машинског учења са крајњим циљем коришћења ових одзива као управљачких сигнала BCI уређаја.

BCI систем омогућава директну контролу екстерних уређаја препознајући промене у могућој активности. ЕЕГ је једна од најраспрострањенијих техника за снимање могуће активности која се користи приликом дизајна BCI система [1]. У литератури се спомињу различити приступи генерисања контролног сигнала за BCI систем, као што су потенцијали изазвани догађајима (енг. *Event Related Potentials*, ERP), осцилаторна могућа активност, стационарни евоцирани потенцијали (енг. *Steady-State Evoke Potentials*, SSEP), и спори кортикални потенцијали [2]. BCI системи засновани на ERP или SSEP контролним сигнаlima спадају у групу „реактивних BCI система”, јер се код њих промене у могућој активности добијају као одговор на неки спољашњи стимулус [3]. У конкретним применама, корисник извршава задатак селективне пажње који ствара разлике у могућој активности као одговор на циљани стимулус и дистрактор [4].

У зависности од типа спољашњег стимулуса, реактивни BCI системи могу бити визуелни [5, 6], аудиторни [7, 8] или тактилни [9]. Тактилни BCI системи су тренутно најмање проучавани реактивни BCI системи, из разлога што је за њих потребно имати уређај са стимулацију, што је хардверски захтевнији приступ у односу на коришћење монитора, извора светлости или звука [9]. Тактилни BCI системи користе соматосензорне стимулусе, вибрационе или електричне, у циљу изазивања различитих електрофизиолошких одговора, односно соматосензорних евоцираних потенцијала [10].

Посебан тип соматосензорних евоцираних потенцијала су они одзиви на спољашњи стимулус који су изазвани паралелно са когнитивним задатком усмерене пажње на стимулус, и они се називају соматосензорни догађајем изазвани потенцијали (енг. *Somatosensory Event-Related Potentials*, sERP), где се под појмом „догађај“ подразумева здружени ефекат стимулуса и когнитивног процеса повезаног са стимулусом. sERP сигнали мерени помоћу ЕЕГ уређаја током задатка селективне пажње су се показали као веома користан алат за истраживање просторно-временске динамике неуралних процеса везаних за тактилну стимулацију [11]. Овај облик контролног сигнала није заступљен у литератури у великој мери. Рад [9] је приказао коришћење вибро-тактилне стимулације са седам стимулационих локација постављених око трупа испитаника. Циљани стимулус се појављивао само једном у седам стимулуса. У раду [12] је предложен BCI систем за контролу инвалидских колича

заснован на sERP сигналама. Примењене су четири стимулационе локације, а циљани стимулус је имао вероватноћу појављивања од 25%. Такође, малу вероватноћу појаве циљаног стимулуса су користили и у раду [13], где је циљани стимулус био један у шест стимулуса. На овај начин је могуће изазвати мождани одговор на ниску вероватноћу појаве циљаног стимулуса.

Успешност детекције пажње BCI система заснованих на P300 одговорима на соматосензорну тактилну стимулацију је у опсегу од 70-95%. Како би систем био коришћен и у реалном времену, неопходно је посматрати и брзину доношења одлуке. Ова информација се добија посматрајући брзину преноса информација (енг. *Information Transfer Rate*, ITR), и зависи од броја могућих циљаних стимулуса, вероватноће појаве циљаног стимулуса и времена потребног за доношење одлуке [14]. У раду [15] је постигнута тачност од 80% користећи корачни *Linear Discriminant Analysis* (LDA) класификатор, где је вероватноћа појаве циљаног стимулуса била 25%. Постигнут ITR је 2.9 bpm. Рад [16] постиже тачност од 75% помоћу Фишеровог LDA класификатора, где је такође вероватноћа појаве циљаног стимулуса била ниска (један од пет стимулуса). У овом раду је ITR износио до 6.9 bpm. Успешност детекције тактилне пажње у раду [13] је износила до 95% за електричну стимулацију, док је ITR био до 6.88 bpm.

Како нису идентификоване претходне студије које се баве истраживањем морфологије sERP сигнала изазваних електричном стимулацијом сензорних путева подлактице, у спречи са когнитивним задатком, један од циљева ове докторске дисертације је представљање доказа о основним карактеристикама електрофизиолошких сигнала који се могу користити за побољшање контроле BCI система. Циљ истраживања је и показивање разлике у sERP сигналама изазваним тактилом пажњом са једнаком вероватноћом појаве стимулуса, где та разлика потиче од когнитивног задатка, за разлику од експеримента где је разлика последица ниже фреквенције појаве циљаног стимулуса.

Значај истраживања ове докторске дисертације је у пружању могућности креирање мозак-рачунар интерфејс система заснованог за соматосензорним потенцијалима изазваним електричном стимулацијом током когнитивног задатка. Овакав уређај се може користити као асистивни систем у домену неурорехабилитације.

- [1] Abiri, R., Borhani, S., Sellers, E. W., Jiang, Y., & Zhao, X. (2019). A comprehensive review of EEG-based brain-computer interface paradigms. *Journal of neural engineering*, 16(1), 011001. DOI: 10.1088/1741-2552/aaf12e
- [2] Ramadan, R. A., & Vasilakos, A. V. (2017). Brain computer interface: control signals review. *Neurocomputing*, 223, 26-44. DOI: 10.1016/j.neucom.2016.10.024
- [3] Steinert, S., Bublitz, C., Jox, R., & Friedrich, O. (2019). Doing things with thoughts: Brain-computer interfaces and disembodied agency. *Philosophy & Technology*, 32, 457-482. DOI: 10.1007/s13347-018-0308-4
- [4] Sellers, E. W., Arbel, Y., & Donchin, E. (2012). BCIs that use P300 event-related potentials. *Brain-computer interfaces: principles and practice*, 24, 215-226.
- [5] Lee, S. H., Lee, M., & Lee, S. W. (2020). Neural decoding of imagined speech and visual imagery as intuitive paradigms for BCI communication. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 28(12), 2647-2659. DOI: 10.1109/TNSRE.2020.3040289
- [6] Li, M., He, D., Li, C., & Qi, S. (2021). Brain-computer interface speller based on steady-state visual evoked potential: A review focusing on the stimulus paradigm and performance. *Brain sciences*, 11(4), 450. DOI: 10.3390/brainsci11040450

- [7] Nijboer, F., Furdea, A., Gunst, I., Mellinger, J., McFarland, D. J., Birbaumer, N., & Kübler, A. (2008). An auditory brain-computer interface (BCI). *Journal of neuroscience methods*, 167(1), 43-50. DOI: 10.1016/j.jneumeth.2007.02.009
- [8] Séguin, P., Maby, E., Fouillen, M., Otman, A., Luauté, J., Giroux, P., Morlet D., & Mattout, J. (2024). The challenge of controlling an auditory BCI in the case of severe motor disability. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 21(1), 9. DOI: 10.1186/s12984-023-01289-3
- [9] Brouwer, A. M., & Van Erp, J. B. (2010). A tactile P300 brain-computer interface. *Frontiers in neuroscience*, 4, 1440. DOI: 10.3389/fnins.2010.00019
- [10] Toleikis, J. R. (2005). Intraoperative monitoring using somatosensory evoked potentials: a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. *Journal of clinical monitoring and computing*, 19, 241-258. DOI: 10.1007/s10877-005-4397-0
- [11] Josiassen, R. C., Shagass, C., Roemer, R. A., Slepner, S., & Czartorysky, B. (1990). Early cognitive components of somatosensory event-related potentials. *International Journal of Psychophysiology*, 9(2), 139-149. DOI: 10.1016/0167-8760(90)90068-O
- [12] Kaufmann, T., Herweg, A., & Kübler, A. (2014). Toward brain-computer interface based wheelchair control utilizing tactually-evoked event-related potentials. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 11, 1-17. DOI: 10.1186/1743-0003-11-7
- [13] Chu, C., Luo, J., Tian, X., Han, X., & Guo, S. (2021). A P300 brain-computer interface paradigm based on electric and vibration simple command tactile stimulation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15, 641357. DOI: 10.3389/fnhum.2021.641357
- [14] Dal Seno, B., Matteucci, M., & Mainardi, L. T. (2009). The utility metric: a novel method to assess the overall performance of discrete brain-computer interfaces. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 18, 20-28. DOI: 10.1109/TNSRE.2009.2032642
- [15] Li, J., Pu, J., Cui, H., Xie, X., Xu, S., Li, T., & Hu, Y. (2019). An online P300 brain-computer interface based on tactile selective attention of somatosensory electrical stimulation. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 39, 732-738. DOI: 10.1007/s40846-018-0459-x
- [16] Mao, Y., Jin, J., Li, S., Miao, Y., & Cichocki, A. (2021). Effects of Skin Friction on Tactile P300 Brain-Computer Interface Performance. *Computational intelligence and neuroscience*, 2021(1), 6694310. DOI: 10.1155/2021/6694310

3. Полазне хипотезе

Предложено истраживање полази од следећих хипотеза:

1. Задатак селективне тактичне пажње у форми бројања стимулуса достављених на кожи подлактице испитаника изазваће значајне промене у морфологији таласног облика соматосензорних евоцираних потенцијала у односу на експерименталну ситуацију где пажња није усмерена ка стимулусима.
2. Статистички значајне разлике у одзивима на електричне стимулусе које су последица усмеравања пажње на стимулисану локацију (радијална стимулација vs медијална стимулација) постоје у временским интервалима који одговарају карактеристичним пиковима соматосензорних евоцираних потенцијала, што валидира неурофизиолошко порекло ових сигнала.
3. Класификацију соматосензорних евоцираних потенцијала за сврху управљања ВСИ системом могуће је вршити на основу једноканалних и вишеканалних ЕЕГ мерења, а вишеканални приступ може повећати перформансе система у погледу тачности

класификације и/или брзине преноса информација. У случају експерименталне парадигме са две стимулационе локације на истој подлактици испитаника које стимулишу гране медијалног и радијалног нерва и са вероватноћом достављања симулуса на једну од локација од 50%, могуће је из ЕЕГ одзива са вероватноћом већом од 70% детектовати пажњу испитаника на једну од стимулационих локација.

4. Научне методе истраживања

Први део дисертације ће бити посвећен развоју студије која ће служити за изазивање електрофизиолошког одговора на соматосензорне електричне стимулусе у ВСИ систему. Експериментална поставка ће укључивати систем за електричну стимулацију, уређај за снимање ЕЕГ сигнала и рачунар са развијеном апликацијом. Апликација садржи графички интерфејс и омогућава контролу електричног стимулатора, аквизицију ЕЕГ сигнала, и визуелизацију ЕЕГ сигнала у реалном времену. Циљ експеримента је изазивање соматосензорних евоцираних потенцијала током електричне стимулације сензорних путева подлактице на две локације. На овај начин ће бити формирана четири експериментална услова која зависе од локације стимулуса и локације пажње испитаника. У првој фази истраживања биће спроведена студија над здравим испитаницима у лабораторијским условима. Финална фаза истраживања подразумева спровођење експеримента у клиничким условима на пацијентима током опоравка од можданог удара на Клиници за рехабилитацију "Др Мирослав Зотовић" како би се проценила изводљивост коришћења ових сигнала за управљање асистивним системима код популације пацијената са можданим ударом који имају сензорне дефиците.

Други део дисертације ће бити посвећен обради ЕЕГ сигнала добијених у првом делу истраживања, и издвајању обележја која ће се даље користити за класификацију тактилне пажње. Први приступ издвајања обележја ће се заснивати на издвајању карактеристика сигнала, као што су амплитуда и латенца пикова у различитим временским интервалима карактеристичних за евоциране потенцијале, у циљу статистичке анализе различитих експерименталних услова. Други приступ ће се посветити издвајању временских инстанци које пружају најбоље раздвајање класа, тј. локација на које се фокусирао испитаник током електричне стимулације. Овај приступ је базиран на једноканалној парадигми, односно обележја се издвајају за сваки канал посебно. Трећи приступ издвајања обележја ће подразумевати вишеканалну парадигму, издвајање најзначајнијих обележја груписаних са више ЕЕГ канала.

Трећи део дисертације ће бити посвећен имплементацији различитих метода машинског учења у циљу класификације електрофизиолошких одговора на соматосензорну електричну стимулацију у циљу детекције пажње. Тестираће се перформансе већег броја различитих класификатора, као што су линеарна дискриминантна анализа (енг. *Linear Discriminant Analysis*, LDA), метода носећих вектора (енг. *Support Vector Machine*, SVM), неуралне мреже (енг. *Artificial Neural Networks*, ANN), и други. У оквиру овог дела истраживања ће бити испитан и утицај броја трајлова који се усредњавају на успешност класификације у циљу смањивања времена потребног за доношење одлуке.

Финално, једна од метода за издвајање обележја и класификацију ће бити имплементирана у поменути апликацију ради детекције пажње у реалном времену.

5. Очекивани научни допринос

У оквиру ове докторске дисертације се очекују следећи научни доприноси:

1. експериментална поставка за изазивање електрофизиолошких одговора на соматосензорну електричну стимулацију сензорних путева подлактице,
2. софтверска апликација за прикупљање, визуелизацију, анализу и класификацију ЕЕГ сигнала у реалном времену,
3. нова парадигма управљања ВСИ системом која се заснива на соматосензорним евоцираним потенцијалима,
4. систематски тестиран и оптимизован метод за издвајање обележја и класификацију ЕЕГ сигнала у циљу детекције когнитивног задатка.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање у оквиру докторске дисертације ће бити подељено у неколико фаза.

1. Преглед литературе – сам почетак рада на предложеној докторској дисертацији ће бити посвећен прегледу научно-стручне литературе ради формирања дизајна студије, анализи постојећих метода за издвајање обележја електрофизиолошких одговора на соматосензорне стимулусе, и анализи постојећих техника машинског учења у циљу класификације.
2. Дизајн студије – ова фаза истраживања се састоји од три дела:
 - i. дефинисање експерименталне поставке ВСИ система која ће укључивати уређај за снимање ЕЕГ сигнала и систем за електричну стимулацију, као и формирање протокола експеримента,
 - ii. развијање апликације која ће служити за аквизицију ЕЕГ сигнала, управљање електричним симулатором, визуелизацију ЕЕГ сигнала у реалном времену, и обраду и класификацију ЕЕГ сигнала у реалном времену,
 - iii. прикупљање података предложеног експеримента на здравим испитаницима у лабораторијским условима и код особа које су доживеле мождани удар у условима рехабилитационе установе.
3. Имплементација алгоритама за издвајање обележја и статистичка анализа – у овој фази истраживања ће бити тестирана три правца:
 - i. анализа карактеристика сигнала, као што су амплитуда и латенца пикова у временским интервалима карактеристичним за евоциране потенцијале,
 - ii. једноканални приступ – обележја ће бити екстрахована за сваки канал посебно,
 - iii. вишеканални приступ – обележја ће бити екстрахована након агрегације свих канала у јединствени вектор.
4. Имплементација алгоритама за класификацију – у циљу детекције фокуса ће бити имплементирано неколико различитих метода машинског учења. Биће тестиране перформансе у погледу успешности класификације, али и у брзини доношења одлуке.
5. Дисеминација и верификација добијених резултата кроз научне публикације у међународним часописима и на међународним конференцијама.

7. Закључак и предлог

На основу достављене документације и увида у досадашњи рад кандидаткиње Марије Новичић, Комисија оцењује да кандидаткиња поседује потребна знања и вештине који су неопходни за самостални научноистраживачки рад као и за реализацију предложене теме **„Препознавање когнитивних компоненти у електроенцефалографским одзивима на соматосензорне електричне стимулусе методама машинског учења“**, тј. да испуњава све формалне и суштинске услове да приступи изради докторске дисертације.

Имајући у виду оригиналност и актуелност предложене теме, Комисија је сагласна да предложено истраживање задовољава све услове подобности за докторску дисертацију. Комисија констатује да је предложена тема докторске дисертације у оквиру уже научне области Биомедицинска техника за коју је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан, те за ментора израде докторске дисертације предлаже др Горана Квашчева, редовног професора Универзитета у Београду-Електротехничког факултета. Уз извештај се прилаже и списак радова др Горана Квашчева, редовног професора, који га квалификује за ментора.

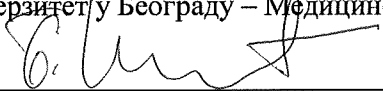
На основу претходно изложеног, Комисија сматра да су кандидаткиња и предложена тема подобни, и предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидаткињи Марији Новичић, мастер инжењеру електротехнике и рачунарства одобри израду докторске дисертације под насловом **„Препознавање когнитивних компоненти у електроенцефалографским одзивима на соматосензорне електричне стимулусе методама машинског учења“**.

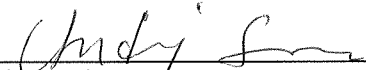
У Београду, 12.07.2024.

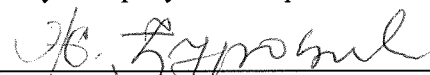
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


др Милица Јанковић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Оливера Ђорђевић, доцент
Универзитет у Београду – Медицински факултет


др Бошко Николић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Андреј Савић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Жељко Ђуровић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет