

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Оцена научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Милана Миливојевића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 1960/17 од 06.11.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Милана Миливојевића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Карактеризација и препознавање когнитивног утицаја применом дескриптора нелинеарне динамике виталних сигнала и метода машинског учења” (енг. *“Characterization and detection of cognitive load using nonlinear dynamics vital signal descriptors and machine learning methods”*). Чланови Комисије за оцену научне заснованости теме су се сагласили и предложили незнатну промену наслова предложене теме тако да гласи: **„Препознавање когнитивног оптерећења применом дескриптора нелинеарне динамике виталних сигнала и машинског учења”** (енг. *“Detection of cognitive load using nonlinear dynamics vital signal descriptors and machine learning”*). Докторска дисертација кандидата Милана Миливојевића биће писана на српском језику.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Милан Миливојевић је рођен у Београду 30.09.1984. године. Основну школу је завршио у Батајници 1999. године као носилац Вукове дипломе. Матурирао је 2003. године у Електротехничкој школи „Никола Тесла“ у Београду са одличним успехом. Основне академске студије завршио је 2007. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду (ЕТФ) на Одсеку за телекомуникације и информационе технологије, смер Радио комуникације, са просечном оценом 8,13 и оценом 10,00 на дипломском раду. Мастер академске студије на модулу Аудио и видео технологије је завршио на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 2009. године са просечном оценом 10,00 и оценом 10 завршног – мастер рада „Софтверски пакет за анализу импулсног одзива у физичким моделима просторија“ под менторством проф. др Драгане Шумарац Павловић. Докторске академске студије уписао на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 2021/2022. године, на модулу Телекомуникације. Положио је све испите са просечном оценом 10,00 и испунио све обавезе предвиђене студијским истраживачким радом.

Милан Миливојевић је био запослен као истраживач сарадник у Иновационом центру Електротехничког факултета у Београду, а након тога и на Електротехничком факултету Универзитета у Београду до 2019. године. Био је ангажован на неколико домаћих и међународних пројеката Министарства науке, технолошког развоја и иновација. Тренутно је ангажован као асистент за област Електротехничко и рачунарско инжењерство на Академији техничко-уметничких струковних студија, Одсек Висока школа струковних студија за информационе и комуникационе технологије од 2021. године.

Милан Миливојевић је био аутор и/или коаутор већег броја радова који су саопштени и публиковани на међународним и националним скуповима, као и неколико радова у домаћим и међународним часописима. Учествовао је у изради неколико техничких решења. До сада је публиковао 49 радова, од којих 34 рада у зборницима међународних скупова, 7 радова у зборницима са скупова националног значаја, 7 радова у часописима националног значаја и један рад у часопису међународног значаја.

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Милан Миливојевић је уписао докторске академске студије школске 2021/2022. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Електротехника и рачунарство, модул Телекомуникације. После поднете молбе за признавање испита са претходног уписа, студенту су признати сви положени испити. Током докторских студија положио је наставним планом и програмом предвиђене испите и испунио све обавезе и то:

Р.бр.	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
1.	Методe моделовања звучног поља	10 (десет)	9
2.	Класификација и естимација сигнала	10 (десет)	9
3.	Линеарне и нелинеарне методе анализе сигнала	10 (десет)	9
4.	Акустика просторија	10 (десет)	9
5.	Говорне технологије	10 (десет)	9
6.	Робусна обрада говорних сигнала	10 (десет)	9
7.	Комуникологија	10 (десет)	6
8.	Обрада мултимедијалних сигнала	10 (десет)	9
9.	Одабрана поглавља из акустике просторија	10 (десет)	9
10.	Моделовање саобраћаја у М2М комуникационим системима	10 (десет)	9
Назив испуњене обавезе			
1.	Студијски истраживачки рад I		24
2.	Студијски истраживачки рад I		24

Милан Миливојевић је стекао научноистраживачко искуство радом на пројектима Министарства просвете, науке и технолошког развоја. У оквиру научноистраживачког рада учествовао је у развоју нових технолошких процеса и техника анализирајући могућности развоја нових филтарских структура помоћу рачунарске симулације. Учествовао је у изради софтвера и развоју нових приступа за обраду биомедицинских сигнала употребом линеарних и нелинеарних метода. Био је ангажован на неколико домаћих и међународних пројеката Министарства науке, технолошког развоја и иновација, односно надлежног Министарства, међу којима су: пројекат „Digital device for uv/vis signal classification in diagnostics of benign diseases and tuberculosis“, E113086-DIDIB, 2019-2021, пројекат „Развој висококвалитетних уређаја посебне намене на бази нових технологија кристалних јединки“, ев. број пројекта ТР 32048, 2014-2019, и пројекат „Примена обновљивих извора енергије у осветљењу одморишта на аутопутевима“, ев. број пројекта 451-03-00605/2012-16/33, 2012-2014.

Кандидат је до сада објавио 49 публикација и то: 34 рада у зборницима међународних скупова, 7 радова у зборницима са скупова националног значаја, 7 радова у часописима националног значаја и један рад у часопису међународног значаја. До сада је више пута

цитиран у радовима публикованим на међународним конференцијама и међународним часописима са и без импакт фактора.

У току свог научноистраживачког рада кандидат је објавио следеће публикације:

Радови објављени у научним часописима од међународног значаја (M20):

1. M. Milivojević, A. Gavrovska, "Cognitive Cardiac Assessment Using Low-Cost Electrocardiogram Acquisition System," *Electronics*, Vol. 14, No. 12, pp. 1 - 26, 2468, June 2025, doi: doi.org/10.3390/electronics14122468, ISSN: 2079-9292, Impact Factor: 2.6 (2024), M22

Радови објављени у зборницима конференција од међународног значаја (M30):

1. M. Milivojević, M. Pavlović, M. Zajeganović, „Nonlinear Analysis for Automation Purposes in Computer Networks“, The Conference Proceedings of 8th Conference ITEMA 2024. October 24th 2024. Dubai, UAE. ISSN 2683-5991, ISBN 978-86-80194-89-9. M33
2. M. Pavlović, M. Zajeganović, M. Milivojević, „The importance of security protocols in wireless computer networks“, The Conference Proceedings of 8th Conference ITEMA 2024. October 24th 2024. Dubai, UAE. ISSN 2683-5991, ISBN 978-86-80194-89-9. M33
3. M. Zajeganović, M. Pavlović, M. Milivojević, „Managing Cloud security“, The Conference Proceedings of 8th Conference ITEMA 2024. October 24th 2024. Dubai, UAE. ISSN 2683-5991, ISBN 978-86-80194-89-9. M33
4. M. Milivojević, D. Dujković, A. Luković, A. Gavrovska, "Entropy Analysis of Electrocardiograms for Cognitive Performance Evaluation", 2024 32nd Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, 2024, pp. 1-4, DOI: 10.1109/TELFOR63250.2024.10819087.
5. M. Pavlović, M. Zajeganović, M. Milivojević, „Implementation of next-generation firewall in modern networks“, The Conference Proceedings of 7th Conference ITEMA 2023. October 26th 2023. Varaždin, Croatia. ISSN 2683-5991. M33
6. M. Milivojević, M. Pavlović, M. Zajeganović, „Linear statistical features for the purposes of computer network automation“, The Conference Proceedings of 7th Conference ITEMA 2023. October 26th 2023. Varaždin, Croatia. ISSN 2683-5991. M33
7. M. S. Milivojević, A. Gavrovska, D. Dujković, "Linear regression in RR-RT domain for cardiac cycle evaluation", In Proc. of IX International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2022, EK11.2, pp. 1 – 4, ISBN 978-86-7466-930-3, 2022. M33
8. M. S. Milivojević, A. Gavrovska, "Long Short-Term Memory Forecasting for COVID19 Data", 2020 28th Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/TELFOR51502.2020.9306601. M33
9. M. Milivojevic, D. Dujkovic, A. Gavrovska, "Constant quality mode 4k video comparison using AV1 reference tool", InProc. of the 7th Int. Conf. on Electrical, Electronic and Computing Engineering 2020 Sep 28 (pp. 1-4). M33
10. A. M. Gavrovska, M. S. Milivojevic, G. Zajic, "Analysis of SVT-AV1 format for 4k video delivery", 2020 28th Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, 2020, pp. 1-4, DOI: 10.1109/TELFOR51502.2020.9306619. M33
11. M. S. Milivojević, A. Gavrovska, I. Reljin, B. Reljin, "Using Optical IoT Sensing for Detrended Fluctuation Analysis of Skin Blood Pulsation during Visual Stimulation Task", 2019 27th Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, 2019, pp. 1-4, DOI: 10.1109/TELFOR48224.2019.8971288. M33
12. M. Đorđević, M. Milivojević, A. Gavrovska, "DeepFake Video Analysis using SIFT Features", 2019 27th Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, 2019, pp. 1-4, DOI: 10.1109/TELFOR48224.2019.8971206. M33
13. M. Milivojević, A. Gavrovska, I. Reljin, B. Reljin, "Healthcare IoT Monitoring using Photoplethysmography", 6th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcEtran 2019, Silver Lake, Serbia, Jun, 2019. M33
14. M. S. Milivojević, A. Gavrovska, I. Reljin, "Biometric Clustering of ECG using Wave Peaks", Proceedings of 2018 14th Symposium on Neural Networks and Applications (NEUREL), Belgrade, Serbia, November 20-21, 2018, pp. 1-4, ISBN: 978-1-5386-6973-0, DOI: 10.1109/NEUREL.2018.8587016. M33
15. A. M. Gavrovska, G. J. Zajić, M. S. Milivojević, I. S. Reljin, "Machine-learning based Blind Visual Quality Assessment with Content-aware Data Partitioning", Proceedings of 2018 14th Symposium on Neural Networks and Applications (NEUREL), Belgrade, Serbia, November 20-21, 2018, pp. 1-5, ISBN: 978-1-5386-6973-0, DOI: 10.1109/NEUREL.2018.8587018. M33
16. Milan S. Milivojević, Ana Gavrovska, Milorad Paskaš, Irini Reljin, "An Example of Vital Signal Fractal Analysis for E-health Applications", Proceedings of 5th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcEtran 2018, Palić, Serbia, June 11 – 14, 2018. pp. 822-826, ISBN: 978-86-7466-752-1. M33

17. A. Gavrovska, I. Reljin, A. Samčović, M. Milivojevic, G. Zajić, V. Starovoitov, „On Luminance Reduction in High Dynamic Range Synthetic Aperture Radar Images“, 25th Telecommunications forum TELFOR 2017, Serbia, Belgrade, November 21-22, 2017. ISBN: 978-1-5386-3072-3, IEEE Catalog Number: CFP1798P-CDR, DOI: 10.1109/TELFOR.2017.8249419. M33
18. A. Gavrovska, I. Reljin, A. Samčović, V. Starovoitov, M. Milivojević, „Comments on Human Visual Attention in High Dynamic Range Images“, Proceedings of the 4th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2017, EK(I)2-1-4, Kladovo, Serbia, June 5-8, 2017. http://etran.etf.rs/index_e.html. M33
19. M. Milivojević, A. Gavrovska, I. Reljin and B. Reljin, „Python Based Physiological Signal Processing for Vital Signs Monitoring“, Proceedings of the 4th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2017, pp. EK(I)2-1-4, Kladovo, Serbia, June 5-8, 2017. http://etran.etf.rs/index_e.html. M33
20. M. Slavković-Ilić, M. Paskaš, M. Milivojević, B. Reljin, „Graphical Interface for analyzing HER2 Fluorescent in situ Hybridization Images“, Proceedings of the 4th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2017, pp. EK(I)2.4.1-5, Kladovo, Serbia, June 5-8, 2017. http://etran.etf.rs/index_e.html. M33
21. M. S. Milivojević, A. M. Gavrovska, I. S. Reljin, „Poincare Diagram Based Analysis of Vital Signals“, 25th Telecommunications forum (TELFOR 2017), Serbia, Belgrade, November 21-22, 2017. ISBN: 978-1-5386-3072-3, IEEE Catalog Number: CFP1798P-CDR, <http://www.telfor.rs/>, DOI: 10.1109/TELFOR.2017.8249418. M33
22. A. Gavrovska, M. Milivojevic, G. Zajic, I. Reljin, „Video Traffic Variability in H.265/HEVC Video Encoded Sequences“, 13th Symposium on Neural Network Applications in Electrical Engineering NEUREL 2016, 22-24 November 2016, Belgrade, pp. 109-112, IEEE Catalog Number: CFP16481-PRT, ISBN: 978-1-5090-1529-0, DOI: 10.1109/NEUREL.2016.7800130. M33
23. M. Milivojevic, A. Gavrovska, I. Reljin, „The music effect differentiation in physiological signals“, 13th Symposium on Neural Network Applications in Electrical Engineering NEUREL 2016, 22-24 November 2016, Belgrade, pp. 105-108, IEEE Catalog Number: CFP16481-PRT, ISBN: 978-1-5090-1529-0, DOI: 10.1109/NEUREL.2016.7800129. M33
24. M. Milivojević, M. Hrašovec, S. Dedić, Nešić, M. Slavković-Ilić, B. Reljin, „Mathematica® Based Analysis of a Crystal Filter with Four Crystal Units“, in Proc. 3rd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2016, Zlatibor 2016, EK13.2.1-5, ISBN: 978-86-7466-618-0. M33
25. M. Slavković-Ilić, M. Milivojević, M. Hrašovec, B. Reljin, „Electronic Dental Patient Record“, in Proc. 3rd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2016, Zlatibor 2016, EK13.2.1-5, ISBN: 978-86-7466-618-0. M33
26. M. Slavković-Ilić, A. Gavrovska, M. Milivojević, I. Reljin, B. Reljin, „The Algorithm for Automatic Segmentation of Breast and Pectoral Muscle Regions from Mammograms (in Serbian)“, in Proc. 23rd Telecommunications forum TELFOR 2015, Belgrade 2015, pp. 803-806, ISBN: 978-1-5090-0054-8; DOI: 10.1109/TELFOR.2015.7377587. M33
27. A. Gavrovska, M. Milivojević, I. Reljin, „Singularity spectrum analysis of different camera models“, in Proc. 2nd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2015, Silver Lake 2015, EK12.5.1-4, ISBN: 978-86-80509-71-6. M33
28. M. Milivojević, A. Gavrovska, B. Reljin, „Graphical user interface for heartbeat analysis“, in Proc. 2nd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2015, Silver Lake 2015, EK12.4.1-5, ISBN: 978-86-80509-71-6. M33
29. M. Milivojević, B. Mišković, I. Reljin, „Possible scenarios of HDTV and UHDTV programmes broadcasting within DVB-T2“, in Proc. Telecommunications Forum TELFOR 2014, Belgrade 2014, pp. 897-900, ISBN: 978-1-4799-6190-0, DOI: 10.1109/TELFOR.2014.7034549. M33
30. M. Slavković-Ilić, A. Gavrovska, M. Milivojević, D. Jevtić, I. Reljin, „Potential applications of HDR in echocardiography“, in Proc. 12th Symposium on Neural Network Applications in Electrical Engineering (NEUREL) 2014, Belgrade 2014, pp. 29-32. ISBN: 978-1-4799-5887-0, DOI: 10.1109/NEUREL.2014.7011450. M33
31. M. Milivojević, A. Gavrovska, M. Slavković-Ilić, I. Reljin, „Cepstral based heart rate estimation“, in Proc. 12th Symposium on Neural Network Applications in Electrical Engineering (NEUREL) 2014, Belgrade 2014, pp. 21-24. ISBN: 978-1-4799-5887-0, DOI: 10.1109/NEUREL.2014.7011448. M33
32. M. Slavković, B. Reljin, A. Gavrovska, M. Milivojević, „Face recognition using Gabor filters, PCA and neural networks“, in Proc. 20th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), Bucharest 2013, pp: 35-38, ISSN: 2157-8672, ISBN: 978-1-4799-0941-4, DOI: 10.1109/IWSSIP.2013.6623443. M33
33. M. Mišković, M. Milivojević, Z. Stević, N. Rajaković, B. Reljin, „Labview monitoring of a system for solar powered street lights“, in Proceeding XIVth International scientific-practical conference, Modern information and electronic technologies, Vol 2, Odessa 2013, pp. 125-128, ISBN: 978-966-2666-04-5. M33
34. M. P. Paskaš, A. M. Gavrovska, M. S. Milivojević, B. D. Reljin, „Image analysis using modified multifractal measure based on sigmoid function“, in Proc. 11th Symposium on Neural Network Applications in Electrical

Радови објављени у научним часописима од националног значаја (M50):

1. M. Milivojević, A. Gavrovska, "Long Short-Term Memory Prediction for COVID19 Time Series", TELFOR JOURNAL, Vol. 13, No. 2, pp. 1 - 6, 2021. DOI: 10.5937/telfor2102081M M52
2. M. Milivojević, D. Dujković, A. Gavrovska, "Video Coding and Constant Quality Evaluation Using 4k aomenc-AV1 and rav1e-AV1 Formats", SJEE (2021), 18(2), pp.139-154, DOI: 10.2298/SJEE2102139M. M52
3. A. M. Gavrovska, M. S. Milivojević, G. D. Zajić, "Quality assessment experiment for 4k SVT-AV1 video format", Telfor Journal, vol. 13, no. 1, pp. 35-40., 2021, DOI: 10.5937/telfor2101035G. M52
4. M. Đorđević, M. Milivojević, A. Gavrovska, "DeepFake video production and SIFT-based analysis", Telfor Journal, vol. 12, no. 1, pp. 22-27, 2020, doi: 10.5937/telfor2001022Q. M52
5. A. Gavrovska, I. Reljin, A. Samčović, M. Milivojević, G. Zajić, V. Starovoitov, "High Dynamic Range Mapping for Synthetic Aperture Radar Images", in Telfor Journal 2018, Vol. 10, No. 1, 2018., pp. 56-61, ISSN: 1821-3251, DOI: 10.5937/telfor1801056G M53
6. M. Slavković-Ilić, A. Gavrovska, M. Milivojević, I. Reljin and B. Reljin, "Breast Region Segmentation and Pectoral Muscle Removal in Mammograms", in Telfor Journal 2016, Belgrade 2016, pp. 50-55, ISSN 1821-3251 (Print Issue), ISSN: 2334-9905 (Online), Vol 8, N1 M52
7. M. Milivojević, B. Mišković, I. Reljin, "DVB-T2: An outline of HDTV and UHDTV programmes broadcasting", in Telfor Journal 2015, Belgrade 2015, pp. 86-90, ISSN: 1821-3251 (Print Issue), ISSN: 2334-9905 (Online), Vol 7, No 2, DOI: 10.5937/telfor1502086M M53

Радови објављени у зборницима конференција од националног значаја (M60):

1. M. Paskaš, M. S. Ilić, A. Gavrovska, M. Milivojević, D. Jevtić, D. Dujković, I. Reljin, „An example of computer modeling of matched crystal filters“, Proceedings of Abstracts, 1st International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN, Vrnjačka Banja 2014, pp. EK12.1.1-4, ISBN: 978-86-80509-70-9. M63
2. S. Nešić, L. Grubišić, D. Dujković, I. Reljin, M. Milivojević, A. Gavrovska „Purity of SC cut crystal units for OCXO 10SC oscillators“ (in Serbian), Proceedings of Abstracts, 58. Conference on ETRAN, Vrnjačka Banja 2014, pp. EK1.1.1-3, ISBN: 978-86-80509-70-9. M63
3. M. Milivojević, A. Gavrovska, M. Paskaš, „Graphical user interface for phonocardiogram analysis“ (in Serbian), Proceedings of Abstracts, 57. Conference on ETRAN, Zlatibor 2013, pp. EK2.5.1-5, ISBN: 978-86-80509-68-6. M63
4. M. Slavković, M. Milivojević, A. Gavrovska, I. Reljin, B. Reljin, „One solution of realization of electronic patient record in ophthalmology “ (in Serbian), Proceedings of Abstracts, 57. Conference on ETRAN, Zlatibor 2013, pp. EK2.6.1-4, ISBN: 978-86-80509-68-6. M63
5. M. Mišković, M. Milivojević, Z. Stević, N. Rajaković, B. Reljin, „Monitoring of a system for solar powered light based on Labview“ (in Serbian), Proceedings of Abstracts, 2nd International Conference on Renewable Electrical Power Sources (MKOIEE 2013), Beograd 2013, pp. 46-48, ISBN: 978-86-81505-68-7. M63
6. D. Š. Pavlović, M. Mijić, M. Milivojević, "New software tool for acoustical measurement in physical models of rooms" (in Serbian), Proceedings of Abstracts, International Scientific-Professional Symposium-INFOTEH 2009, Vol. 8, Ref. E-V-3, Jahorina 2009, pp. 701-705, ISBN: 99938-624-2-8. M63
7. M. Milivojević, D. Š. Pavlović, "Software for analysis of impulse responses recorded in physical models of rooms" (in Serbian), Proceedings of Abstracts, 16. Conference TELFOR 2008, Beograd 2008, pp. 645-648, ISBN: 978-86-7466-337-0. M63

Остало:

1. M. Pavlović, M. Zajeganović, M. Milivojević, Priručnik iz LAN mreža. I izdanje. Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija, Beograd, 2024. (324 strana). ISBN 978-86-6090-143-1 (наставни материјал)
2. M. Zajeganović, M. Pavlović, M. Milivojević, Zbirka zadataka iz TCP/IP arhitekture, I izdanje. Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija, Beograd. 2024. (234 strana). ISBN 978-86-6090-144-8 (наставни материјал)
3. M. Pavlović, M. Zajeganović, M. Milivojević, Priručnik za rutiranje u mrežama. 1. izdanje. Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija, Beograd, 2024. (404 strana). ISBN-978-86-6090-148-6 (наставни материјал)
4. M. Milivojević, D. Dujković, M. Paskaš, A. Gavrovska, I. Reljin, B. Reljin, "Softver za statističku analizu COVID-19 podataka", 2020. M85

5. M. Milivojević, M. Paskaš, A. Gavrovska, B. Reljin, I. Reljin, "Softver za linearnu i nelinearnu analizu fotopletizmografskih (PPG) signala", 2019. M85
6. S. D. Nešić, L. Grubišić, I. Reljin, B. Reljin, M. Milivojević, D. Jevtić, "Novi proizvod: Kvarcni kristalni filter 172.025 MHz na bazi kristalnih jedinki petog overtona", 2018. M81
7. M. Milivojević, Ana Gavrovska, Branimir Reljin, Milorad Paskaš, Irini Reljin, „Softver za linearnu i nelinearnu analizu elektrokardiograma“, 2018. M85
8. S. D. Nešić, L. Grubišić, I. Reljin, B. Reljin, M. Milivojević, D. Jevtić „Kristalni filter sa proširenim opsegom na frekvenciji 132.600 MHz“, 2017. M81
9. S. D. Nešić, L. Grubišić, I. Reljin, B. Reljin, M. Milivojević, M. S. Ilić, "Eliptični kristalni filter 45 MHz", 2016. M81
10. L. Grubišić, S. D. Nešić, I. Reljin, D. Jevtić, D. Dujković, M. Milivojević, M. S. Ilić, "Metode sečenja SC pločica", TR32048, 2016. M83
11. M. Milivojević, A. Gavrovska, B. Reljin, M. Paskaš, I. Reljin, "Softver za analizu varijabilnosti srčanog ritma", ПП44009, 2015. M85
12. L. Grubišić, S. Dedić Nešić, I. Reljin, D. Dujković, M. Milivojević, M. Slavković-Ilić, „Tehnologija izrade mikrominijaturnih kristalnih jedinki AT-reza osnovne učestanosti frekvencije veće od 30 MHz za ugradnju u kristalne filtre“, TR32048, 2015. M81
13. L. Grubišić, S. Dedić Nešić, I. Reljin, B. Reljin, D. Dujković, M. Milivojević, "Visokostabilna kristalna jedinka SS reza frekvencije 10MHz (na trećem overtonu) sa zahtevom za niski fazni šum", TR32048, 2014. M81
14. S. Dedić Nešić, L. Grubišić, I. Reljin, B. Reljin, D. Dujković, M. Milivojević, "Kristalni filter nepropusnik opsega učestanosti 48MHz ", TR32048, 2014. M81

Усмена одбрана теме кандидата Милана Миливојевића је одржана 02.12.2025. у просторијама Електротехничког факултета пред Комисијом у саставу:

- др Драгана Шумарац Павловић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
- др Андреја Самчовић, редовни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет и
- др Милица Јанковић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

Кандидат је на јавној усменој одбрани теме докторске дисертације добио оцену **задовољно**.

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 74. Статута Универзитета у Београду-Електротехничког факултета и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу приказа резултата досадашњег рада кандидата, може се констатовати да он поседује значајно истраживачко искуство које га квалификује за израду предложене теме. Кандидат је у току презентације теме и у својим одговорима задовољио захтеве који су му постављени. Комисија констатује да кандидат Милан Миливојевић показује зрелост и самосталност који га квалификују за израду докторске дисертације. Такође, Комисија закључује да је кандидат спреман да препозна нове начине за детекцију когнитивног оптерећења који су од значаја у савременим комуникационим мултимедијалним системима. Став Комисије је позитиван и након детаљног образложења саме теме предлаже да буде усвојена уз незнатну промену наслова ради јасноће, а кандидату даје могућност да настави са израдом докторске дисертације под називом „Препознавање когнитивног оптерећења применом дескриптора нелинеарне динамике виталних сигнала и машинског учења“.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања предложене докторске дисертације јесте анализа могућности карактеризације промена насталих когнитивним утицајем на основу дескриптора виталних

сигнала. Биће предложена нова обележја заснована на методама нелинеарне обраде сигнала, које узимају у обзир ентропијско, фрактално и мултифрактално описивање промена насталих као последица когнитивног оптерећења. Такође, биће предложени нови модели засновани на методама машинског учења и правилном одабиру обележја који би требало да омогуће ефикасно препознавање насталих промена.

Последњих неколико година актуелна су истраживања која се баве анализом когнитивног утицаја [1-4]. Когнитивна активација узрокује реакције аутономног нервног система које се манифестују и у виталним сигнаlima попут сигнала срчане варијабилности [5-6]. Различити системи који се ослањају на потрошачким уређајима и Интернет стварима користе виталне сигнале попут електрокардиограма (ECG – electrocardiogram), фотоплетизмограма (PPG – photoplethysmogram), телесне температуре, респираторних сигнала, zasiћености крви кисеоником (SpO₂ – peripheral capillary oxygen saturation) и сличних записа, за праћење различитих стања узрокованих физиолошким променама [7-16]. Већина таквих модела укључује једноставну детекцију морфолошких промена у виду кључних пикова и анализу варијабилности срчаног ритма (HRV – Heart Rate Variability). У поређењу са наведеним истраживањима, знатно мање њих се односи на евалуацију когнитивног оптерећења и ширу примену у немедицинске сврхе [5, 17-23].

ECG сигнал се често записује истовремено са другим виталним сигнаlima, као што је PPG сигнал, и обично су они део већег мултимодалног скупа, који укључује и: респираторни (RSP – respiration), електродермални (EDA – electrodermal activity), електроенцефалографски (EEG – electroencephalogram), пупилометријски сигнал и сличне, као што је приказано у [2-3]. Најчешће се анализира варијабилност срчаног ритма на основу ECG или PPG сигнала, а обележја се издвајају у временском и фреквенцијском домену [2-3, 24]. У раду [2] употребљени су EEG и ECG сигнали, као и пупилометрија, и то за карактеризацију и препознавање когнитивног утицаја насталог тестом распона цифара уз издвајање броја откуцаја срца као кључног обележја виталних сигнала. У раду [3] за индуковање когнитивних промена употребљена је видео игра, а анализирани су мултимодални подаци који укључују ECG сигнале и основна временска и фреквенцијска обележја. Наиме, на основу RR интервала, односно NN интервала, добијених налажењем пикова и Pan-Tompkins-овим алгоритмом [24] израчуната су обележја попут средње вредности и стандардне девијације интервала (SDNN – standard deviation of NN intervals) у временском домену, као и обележја у фреквенцијском домену попут нискофреквенцијских (LF – Low-frequency power), високофреквенцијских (HF – High-frequency power) и њихових односа (ratio LF/HF). Такође, слично индуковане промене су испитиване и у радном окружењу на ECG/EEG мултимодалној бази у раду [25]. Применом kNN (k-nearest neighbors) класификатора добијена је тачност од 94,58% употребом одабраних временских и фреквенцијских HRV обележја која укључују: средњи број откуцаја, проценат RR или NN интервала дужих од 50ms (pNN50), RMSSD (Root Mean Square of Successive Differences), асиметрију кроз трећи статистички момент (skewness), снаге по фреквенцијским опсезима (LF, LF/HF), TINN (Triangular Interpolation of NN interval Histogram) обележја и троугаони индекс (HTI – HRV Triangular Index).

Поред расположивих мултимодалних приступа постоје и методе за детекцију когнитивног оптерећења, које користе мономодални приступ заснован на дескрипторима виталних сигнала. Такве методе су ређе заступљене у литератури и користе различите моделе машинског учења засноване на традиционалним обележјима срчане варијабилности [6, 17-22]. У раду [6] су коришћена HRV обележја за евалуацију стреса, где је тачност од 85,7% постигнута помоћу bagging (Bootstrap Aggregating) класификатора. У раду [17] предложена је метода детекције заснована искључиво на ECG сигналу и традиционалним HRV обележјима, при чему је, применом неуралних мрежа и „ансамбл“ метода машинског учења, постигнута тачност од 94,66%. Мономодални приступ заснован на ECG сигналу, који је прикупљен помоћу интегрисаног сензора у одећи, предложен је у [18] за потребе детекције когнитивног

оптерећења. Овај приступ користи HRV обележја у временском домену и Decision Tree (DT) модела машинског учења са постигнутом тачношћу од 93,3%. Имајући у виду аутономни нервни систем и повезаност између срчаних и когнитивних активности, ECG сигнал је самостално употребљен за препознавање стања узрокованих когнитивним утицајем у [19], где су анализирана морфолошка и одговарајућа статистичка обележја изведена на основу сегментације ECG сигнала и добијања Q, R, S и T таласа, односно QT, ST, RR и QRS временских интервала. Употребљене су разлике између израчунатих временских интервала и амплитуда QRS таласа, као и моменти вишег реда, асиметрија и стандардни фреквенцијски дескриптори (LF, HF, LF/HF). Феномен менталног замора анализиран је у [20] и препознавање је обављено издвајањем морфолошких обележја ECG сигнала (Q, R, S и T таласи), уз примену PCA (Principal Component Analysis) редукције димензионалности вектора обележја. Употребљен је Random Forest модел машинског учења, где су препозната стања са и без менталног замора са тачношћу од око 95%.

Детекција когнитивног оптерећења код возача је разматрана у раду [21], где су употребљена традиционална обележја као што су: средња вредност RR интервала, SDNN, RMSSD, pNN50, LF и однос HF/LF. Као улаз у конволуциону мрежу засновану на Xception моделу, за потребе машинског учења у раду [22], користи се здружена временско-фреквенцијска репрезентација (скалограм) ECG сигнала, при чему је постигнута тачност од 98,11% у детекцији когнитивног утицаја код возача. Процена когнитивног оптерећења може се вршити разматрањем различитих стимулуса као што су аудио, визуелни и ольфакторни [4-5, 23, 26-27]. Посебно користан за евалуацију когнитивног утицаја показао се Stroop-ов тест са бојама [28-31]. Под контролисаним условима подразумева се минимизирање других фактора како би значајно когнитивно оптерећење доминантно било последица примењеног стимулуса. У ту сврху употребљавају се стандардизовани тестови у изолованим просторијама са здравим добровољцима. Управо се Stroop-ов тест користи за индуковање когнитивног оптерећења, где су у анализи укључени витални сигнали добијени помоћу различитих потрошачких носивих уређаја, попут Empatica E4 уређаја, па се могу разликовати стања где није присутно когнитивно оптерећење (baseline) и где је присутна значајна промена узрокована услед когнитивног деловања (post-phase) [5].

Основно питање на које је потребно одговорити јесте: да ли се користећи искључиво виталним сигнаlima прикупљеним уређајима немедицинске намене, може мономодалним приступом препознати присуство значајног когнитивног оптерећења, ако се користе напреднији дескриптори од традиционалних. Употреба модела машинског учења је потребна да би се обезбедило препознавање, односно детекција стања, без обзира на редослед активности које узрокују когнитивне промене. Мултифрактални спектар и придружени дескриптори представљају важан алат за анализу виталних сигнала код којих је присутан феномен самосличности [32]. Досадашња истраживања нису била усмерена ка анализи мултифракталних обележја виталних сигнала у присуству когнитивног утицаја. Додатно, могу се користити нека од ентропијских обележја која представљају меру комплексности сигнала и упркос томе што се у литератури она ређе користе, показују се као релевантна [33]. Проширивање скупа обележја и испитивање њихове применљивости је потребно истражити. Потребно је развити модел машинског учења користећи дескрипторе нелинеарне динамике виталних сигнала који ће пратити морфолошке промене изазване когнитивним стимулусом.

Циљ истраживања ове докторске дисертације је да се предложи нова методологија за препознавање когнитивног утицаја уз мањи број обележја и ефикасних дескриптора нелинеарне динамике виталних сигнала. Како нису идентификована претходна истраживања која користе мономодални приступ и дескрипторе нелинеарне динамике попут мултифракталних у карактеризацији когнитивног утицаја један од циљева је поређење значаја предложених метода у односу на традиционална обележја виталних сигнала која се користе у препознавању когнитивних промена. Имајући у виду сложеност утицаја који се манифестују на скоро не приметан начин, решење би требало да препозна најчешће суптилне

промене и обрасце понашања кроз различите ентропијске и мултифракталне карактеризације. Перформансе предложене методологије ће бити приказане кроз тачност и прецизност детекције когнитивних промена насталих у контролисаним условима.

Значај истраживања је у пружању могућности препознавања когнитивних промена мономодалним виталним приступима ради ефикасног добијања увида у стање когнитивног оптерећења. Методологија која ће бити предложена би имала примену у окружењима која имају ограничења која су везана за расположивост сензора пружајући боље перформансе препознавања когнитивних промена у односу на традиционалне методе засноване на срчаној варијабилности. Овакво решење би потенцијално омогућило практичну имплементацију препознавања когнитивног утицаја на немедицинским Интернет стварима и реализацију једноставне комуникације на релацији човек-рачунар која укључује когнитивне промене.

Релевантни библиографски извори која ће бити коришћени:

- [1] L. J. Dankovich, J. S. Joyner, W. He, A. Sesay, and M. Vaughn-Cooke, "CogWatch: An open-source platform to monitor physiological indicators for cognitive workload and stress," *HardwareX*, vol. 19, p. e00538, Sept. 2024, doi: 10.1016/j.ohx.2024.e00538.
- [2] Y. G. Pavlov, D. Kasanov, A. I. Kosachenko, A. I. Kotyusov, and N. A. Busch, "Pupillometry and electroencephalography in the digit span task," *Sci Data*, vol. 9, no. 1, p. 325, June 2022, doi: 10.1038/s41597-022-01414-2.
- [3] M. Parent et al., "PASS: A Multimodal Database of Physical Activity and Stress for Mobile Passive Body/Brain-Computer Interface Research," *Front. Neurosci.*, vol. 14, p. 542934, Dec. 2020, doi: 10.3389/fnins.2020.542934.
- [4] A. Amancharla, A. A. Shanbhag, and S. R., "Analysis of EEG and ECG time series in response to olfactory and Cognitive tasks," *Procedia Computer Science*, vol. 235, pp. 745–756, 2024, doi: 10.1016/j.procs.2024.04.071.
- [5] M. K. Grzeszczyk et al., "CogWear: Can we detect cognitive effort with consumer-grade wearables?" *PhysioNet*. doi: 10.13026/5F6T-B637.
- [6] Min Wu, Hong Cao, Hai-Long Nguyen, K. Surmacz, and C. Hargrove, "Modeling perceived stress via HRV and accelerometer sensor streams," in 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Milan: IEEE, Aug. 2015, pp. 1625–1628. doi: 10.1109/EMBC.2015.7318686.
- [7] K. Zovko, L. Šerić, T. Perković, H. Belani, and P. Šolić, "IoT and health monitoring wearable devices as enabling technologies for sustainable enhancement of life quality in smart environments," *Journal of Cleaner Production*, vol. 413, p. 137506, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137506.
- [8] Z. Yang, Q. Zhou, L. Lei, K. Zheng, and W. Xiang, "An IoT-cloud Based Wearable ECG Monitoring System for Smart Healthcare," *J Med Syst*, vol. 40, no. 12, p. 286, Dec. 2016, doi: 10.1007/s10916-016-0644-9.
- [9] Y. Zhang, H. Liu, X. Su, P. Jiang, and D. Wei, "Remote Mobile Health Monitoring System Based on Smart Phone and Browser/Server Structure," *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 6, no. 4, pp. 717–738, Jan. 2015, doi: 10.1260/2040-2295.6.4.717.
- [10] R. H. Assaad, M. Mohammadi, and O. Poudel, "Developing an intelligent IoT-enabled wearable multimodal biosensing device and cloud-based digital dashboard for real-time and comprehensive health, physiological, emotional, and cognitive monitoring using multi-sensor fusion technologies," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 381, p. 116074, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.sna.2024.116074.
- [11] M. Giordano, C. Leitner, C. Vogt, L. Benini, and M. Magno, "PuLsE: Accurate and Robust Ultrasound-Based Continuous Heart-Rate Monitoring on a Wrist-Worn IoT Device," *IEEE Internet Things J.*, vol. 12, no. 18, pp. 36908–36925, Sept. 2025, doi: 10.1109/JIOT.2025.3581380.
- [12] G. Zhu et al., "Multifunctional Flexible Sensor with the Hybrid Staggered-Rib Conductive Network for Intelligent Recognition of Human Biomechanical and Electrophysiological Signals," *ACS Appl. Nano Mater.*, vol. 7, no. 20, pp. 24061–24070, Oct. 2024, doi: 10.1021/acsanm.4c04636.
- [13] L. M. Alegre and M. I. Pisarello, "Ambulatory Electrocardiographic Monitoring Prototype," in 2024 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), San Nicolás de los Arroyos, Argentina: IEEE, Sept. 2024, pp. 1–6. doi: 10.1109/ARGENCON62399.2024.10735841.
- [14] W. Wang, L. Lu, H. Ma, Z. Li, X. Lu, and Y. Xie, "Self-template manufacturing of on-skin electrodes with 3D multi-channel structure for standard 3-limb-lead ECG suit," *Microsyst Nanoeng*, vol. 10, no. 1, p. 196, Dec. 2024, doi: 10.1038/s41378-024-00838-7.

- [15] D. Schramm, R. Varini, A. Brios E Gala, A. Banerjee, and T. Betts, "Comprehensive cardiac interval analysis in the WEAR-TECH study cohort by comparing the Apple Watch Series 6 against a simultaneous 12-lead ECG," *European Heart Journal*, vol. 45, no. Supplement_1, p. ehae666.353, Oct. 2024, doi: 10.1093/eurheartj/ehae666.353.
- [16] J. B. Madavarapu et al., "HOT Watch: IoT-Based Wearable Health Monitoring System," *IEEE Sensors J.*, vol. 24, no. 20, pp. 33252–33259, Oct. 2024, doi: 10.1109/JSEN.2024.3424348.
- [17] N. Masrur, N. Halder, S. Rashid, J. H. Setu, A. Islam, and T. Ahmed, "Performance Analysis of Ensemble and DNN Models for Decoding Mental Stress Utilizing ECG-Based Wearable Data Fusion," in *2024 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom)*, Tbilisi, Georgia: IEEE, June 2024, pp. 276–279. doi: 10.1109/BlackSeaCom61746.2024.10646297.
- [18] M. B. Bin Heyat et al., "Wearable Flexible Electronics Based Cardiac Electrode for Researcher Mental Stress Detection System Using Machine Learning Models on Single Lead Electrocardiogram Signal," *Biosensors*, vol. 12, no. 6, p. 427, June 2022, doi: 10.3390/bios12060427.
- [19] M. A. Hasnul, N. A. Ab. Aziz, S. Alelyani, M. Mohana, and A. Abd. Aziz, "Electrocardiogram-Based Emotion Recognition Systems and Their Applications in Healthcare—A Review," *Sensors*, vol. 21, no. 15, p. 5015, July 2021, doi: 10.3390/s21155015.
- [20] E. Butkevičiūtė, A. Michalkovič, and L. Bikulčienė, "ECG Signal Features Classification for the Mental Fatigue Recognition," *Mathematics*, vol. 10, no. 18, p. 3395, Sept. 2022, doi: 10.3390/math10183395.
- [21] A. Tjolleng and N. Dyota Pramudita, "A review of driver cognitive load detection using ECG signals," *SHS Web Conf.*, vol. 189, p. 01008, 2024, doi: 10.1051/shsconf/202418901008.
- [22] M. Amin et al., "ECG-Based Driver's Stress Detection Using Deep Transfer Learning and Fuzzy Logic Approaches," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 29788–29809, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3158658.
- [23] V. Markova, T. Ganchev, and K. Kalinkov, "CLAS: A Database for Cognitive Load, Affect and Stress Recognition," in *2019 International Conference on Biomedical Innovations and Applications (BIA)*, Varna, Bulgaria: IEEE, Nov. 2019, pp. 1–4. doi: 10.1109/BIA48344.2019.8967457.
- [24] F. Esgalhado, A. Batista, V. Vassilenko, S. Russo, and M. Ortigueira, "Peak Detection and HRV Feature Evaluation on ECG and PPG Signals," *Symmetry*, vol. 14, no. 6, p. 1139, June 2022, doi: 10.3390/sym14061139.
- [25] A. Hemakom, D. Atiwiwat, and P. Israsena, "ECG and EEG based detection and multilevel classification of stress using machine learning for specified genders: A preliminary study," *PLoS ONE*, vol. 18, no. 9, p. e0291070, Sept. 2023, doi: 10.1371/journal.pone.0291070.
- [26] M. A. García-González, A. Argelagós-Palau, M. Fernández-Chimeno, and J. Ramos-Castro, "A comparison of heartbeat detectors for the seismocardiogram," in *Computing in Cardiology 2013*, Sept. 2013, pp. 461–464. Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6713413>
- [27] C. Koch, "Self-Monitoring, Need for Cognition, and the Stroop Effect: A Preliminary Study," *Percept Mot Skills*, vol. 96, no. 1, pp. 212–214, Feb. 2003, doi: 10.2466/pms.2003.96.1.212.
- [28] J. R. Stroop, "Studies of interference in serial verbal reactions.," *Journal of Experimental Psychology*, vol. 18, no. 6, pp. 643–662, Dec. 1935, doi: 10.1037/h0054651.
- [29] C. M. MacLeod, "Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review.," *Psychological Bulletin*, vol. 109, no. 2, pp. 163–203, 1991, doi: 10.1037/0033-2909.109.2.163.
- [30] R. Vazan, D. Filcikova, and B. Mravec, "Effect of the Stroop test performed in supine position on the heart rate variability in both genders," *Autonomic Neuroscience*, vol. 208, pp. 156–160, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.autneu.2017.10.009.
- [31] K. M. Miller, C. C. Price, M. S. Okun, H. Montijo, and D. Bowers, "Is the N-Back Task a Valid Neuropsychological Measure for Assessing Working Memory?," *Archives of Clinical Neuropsychology*, vol. 24, no. 7, pp. 711–717, Nov. 2009, doi: 10.1093/arclin/acp063.
- [32] A. Gavrovska, G. Zajić, I. Reljin, and B. Reljin, "Classification of Prolapsed Mitral Valve versus Healthy Heart from Phonocardiograms by Multifractal Analysis," *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, vol. 2013, pp. 1–10, 2013, doi: 10.1155/2013/376152.
- [33] V. Deschodt-Arsac, E. Blons, P. Gilfriche, B. Spiluttini, and L. M. Arsac, "Entropy in Heart Rate Dynamics Reflects How HRV-Biofeedback Training Improves Neurovisceral Complexity during Stress-Cognition Interactions," *Entropy*, vol. 22, no. 3, p. 317, Mar. 2020, doi: 10.3390/e22030317.

3. Полазне хипотезе

Истраживање у оквиру предложене докторске дисертације полази од следећих хипотеза:

- У литератури постоје јавно доступне базе мултимодалних података која укључују виталне сигнале и користе тестове когнитивног утицаја попут Stroop-овог. Досадашња истраживања се углавном баве препознавањем когнитивног оптерећења на основу мултимодалних приступа за немедицинске намене и користе традиционална обележја срчане варијабилности како би се мерио ниво оптерећења. Ово може бити важан индикатор у циљу генерисања упозорења или прилагођавања активности унутар неког система што је област активног истраживања и има све већу примену у пракси посебно захваљујући развоју паметних носивих уређаја.
- Промене суптилне природе присутне код стања когнитивног оптерећења се описују само делимично традиционалним дескрипторима срчане варијабилности. Мономодални приступ у детекцији повећања когнитивног оптерећења је могуће применити за потребе развоја нових класификационих методологија уз напреднију карактеризацију сигнала.
- Показано је да формализми мултифракталног спектра доприносе подробној анализи варијација виталних сигнала која могу допринети ефикасном описивању промена у структури сигнала. Како је то препознато, очекује се њихова употребљивост у карактеризацији когнитивног утицаја уз примену релативно малог броја дескриптора. Слично, међу дескрипторима нелинеарне динамике очекује се да и ентропијска обележја имају практичну примену у квантификацији динамике унутар сигнала.
- Постоји потреба за методологијама које разликују стања без и са значајним когнитивним оптерећењем. Досадашња истраживања су показала да је могуће разликовати основно или базално стање где је допринос когнитивног оптерећења услед других фактора минимизовано и стање оптерећења настало когнитивним утицајем и које се огледа суптилним и значајним морфолошким варијацијама сигнала. Уз правилан одабир дескриптора очекује се да методе машинског учења могу омогућити развој модела детекције високих перформанси у циљу препознавања стања когнитивног оптерећења. Такви модели омогућавају да се сигнал придружи одговарајућој класи без претходног увида у категорију којој сигнал припада, и да се на аутоматизован начин добије информација о когнитивном оптерећењу.

4. Научне методе истраживања

Први део дисертације ће бити посвећен анализи литературе која се бави когнитивним утицајем на виталне сигнале. Описаће се постојећи механизми присутни у индуковању когнитивног утицаја кроз различите тестове попут Stroop-овог. Биће описани најважнији витални сигнали и традиционални начини за њихову сегментацију и квантификацију. Анализираће се доступне мултимодалне базе података које садрже виталне сигнале и информације о стањима различитих когнитивних оптерећења. За основна стања бираће се витални сигнали који одговарају присутним значајним когнитивним оптерећењем и сигнали базалног стања без значајног когнитивног оптерећења. Издвојиће се записи ради развоја мономодалног приступа препознавања когнитивног оптерећења.

Други део дисертације биће посвећен обради сигнала и то пре свега претпроцесирању виталних сигнала, односно нормализацији, ради даљег процеса издвајања обележја за потребе препознавања когнитивног утицаја. Биће обављена детекција карактеристичних тачака као што је R максимум у електрокардиографском и систолни пик у фотоплетизмографском сигналу што је важан корак у издвајању RR односно NN интервала и других временских сегмената. Pan-Tompkins-ов и слични алгоритми ће се применити за такве намене. Након обављених сегментација израчунаће се традиционални дескриптори срчане варијабилности који у основи представљају обележја NN интервала у временском, фреквенцијском и морфолошком домену. Средња вредност RR интервала, SDNN, RMSSD и

pNN50 представљају типична временска обележја, док се LF, HF и LF/HF користе за фреквенцијску карактеризацију. Стандардни дескриптори за морфолошко и хибридно описивање су HTI и TINN. У следећем кораку ће се за виталне сигнале обавити екстракција дескриптора нелинеарне динамике што подразумева различите ентропијске и мултифракталне дескрипторе. Мултифрактални дескриптори виталних сигнала описују понашање на различитим временским скалама како би се испитали феномени самосличности и дугорочне зависности - Long-Term Dependency (LRD). Спектар као расподела експонената који мере степен правилности сигнала кроз сингуларитете ће бити израчунат помоћу одговарајућих принципа одступања (LDP – Large Deviation Principle). За потребе мултифракталних обележја користиће се естимација мултифракталног спектра и геометрија истог. Ово обухвата крајње тачке и пикове мултифракталног спектра, као и мере ширине и асиметрије криве спектра и слично. Поред ових мултифракталних мера обавиће се израчунавање и других дескриптора нелинеарне динамике попут ентропијских. Ентропијска карактеризација би укључивала различите генерализације Shannon-ове ентропије, као што је Rényi-ова ентропија (REn) увођењем параметра ентропијског реда. Приказаће се могућности дискриминације стања когнитивног оптерећења на основу издвојених дескриптора.

У трећем делу биће имплементирани методе машинског учења за потребе препознавања когнитивног утицаја. Вектори обележја различитих дужина ће бити тестирани у зависности од селекције дескриптора. Садржаће традиционална обележја срчане варијабилности, методе нелинеарне динамике као и нова обележја ради тестирања перформанси модела уз употребу што мање дужине вектора обележја. Примениће се различите методе машинског учења као што су: Support Vector Machines (SVMs) - метода потпорних вектора, k-nearest neighbors (kNN) - метод k најближих суседа, Logistic Regression - логистичка регресија, Linear Discriminant Analysis (LDA) – линеарна дискриминантна анализа, “ансамбл” - ensemble метода која представља синергију различитих метода и др. За потребе бинарне класификације биће предложен модел заснован на машинском учењу за потребе детекције когнитивног утицаја. За ту намену анализираће се метрике тачности и прецизности предложеног класификационог модела.

Изабрани модел детекције биће имплементиран у графички интерфејс који садржи и претходне кораке који се односе на приказ и анализу виталних сигнала. Биће омогућена примена предложених дескриптора и модела детекције над учитаним сигнаlima уз приказ резултата перформанси препознавања когнитивног утицаја.

5. Очекивани научни допринос

Конкретни научни доприноси који унапређују научну мисао и прате израду предметне докторске дисертације се могу сумирати кроз следеће:

- детаљан преглед литературе и публикованих резултата истраживања из области препознавања когнитивних промена у немедицинске сврхе, помоћу дескриптора виталних сигнала,
- реализација графичког корисничког интерфејса за потребе учитавања и обраде виталних сигнала у циљу анализе и препознавања когнитивног утицаја,
- развој и одабир дескриптора за потребе препознавања когнитивног утицаја заснованих на нелинеарној динамици, попут ентропијских и мултифракталних, добијених поређењем са традиционалним техникама карактеризације из расположиве литературе,
- развој решења за потребе дискриминације описаних стања са или без присуства значајног когнитивног утицаја употребом метода селекције релевантних дескриптора ради смањења димензионалности вектора обележја,

- развој новог модела за потребе детекције присуства когнитивног оптерећења добијен методом машинског учења, који је заснован на мономодалном приступу и малом броју обележја, као и његова интеграција у графички интерфејс.

6. План истраживања и структура рада

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

1. преглед научно-стручне литературе, где ће фокус прегледа литературе бити на карактеризацији виталних сигнала и когнитивном утицају, одговарајућим јавно доступним мултимодалним базама података, коришћеним дескрипторима и методама машинског учења за потребе детекције когнитивног утицаја;
2. прикупљање података за потребе мономодалног препознавања когнитивног утицаја који се могу користити за потребе описивања когнитивног оптерећења у запису виталног сигнала; ова фаза истраживања се састоји из два дела:
 - i. прикупљање мултимодалних података где је индуковање когнитивног утицаја обављено помоћу Stroop-овог и сличног аудио или визуелног теста, где се користе записи виталних сигнала попут ECG и PPG сигнала поред осталих,
 - ii. преглед могућих мономодалних приступа, који би омогућили ефикасну евалуацију и препознавање когнитивног утицаја;
3. обрада виталних сигнала за когнитивну карактеризацију и немедицинске потребе која подразумева:
 - i. предобраду виталних сигнала која укључује филтрирање, као и одговарајућу амплитудску и временску нормализацију, односно свођење на исти ниво средње вредности сигнала;
 - ii. детекцију карактеристичних тачака у виталним сигнаlima за потребе издвајања NN интервала у циљу анализе срчане варијабилности (HRV) и сегментације сигнала ради издвајања типичних обележја;
 - iii. издвајање традиционалних дескриптора у временском, фреквенцијском и морфолошком домену;
 - iv. издвајање ентропијских обележја виталних сигнала, посебно *Shannon*-ове ентропије (ShEn), као и различитих генерализација попут *Rényi*-еве ентропије (REn);
 - v. израчунавање фракталних, односно мултифракталних дескриптора који описују понашање виталних сигнала на различитим временским скалама како би се испитали феномени самосличности и дугорочне зависности - *Long-Term Dependency* (LRD);
4. одабир дескриптора и метода за карактеризацију промена когнитивног утицаја и развој алгоритма за детекцију истог;
5. имплементација новог модела заснованог на методи машинског учења и одабраном вектору обележја и његова интеграција у графички кориснички интерфејс;
6. тестирање перформанси модела за детекцију когнитивног оптерећења на основу виталних сигнала и публикавање добијених резултата кроз научне публикације у међународним часописима и на међународним конференцијама.

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације, усменс одбране теме докторске дисертације и стеченог целокупног утиска о досадашњем научном раду кандидата Милана Миливојевића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, Комисија је дошла до следећих закључака:

1. Кандидат испуњава формалне и суштинске потребне услове прописане Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Београду и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду, за израду докторске дисертације.
2. Чланови Комисије за оцену научне заснованости теме су се сагласили и предложили незнатну промену наслова предложене теме кандидата Милана Миливојевића тако да је уместо наслова „Карактеризација и препознавање когнитивног утицаја применом дескриптора нелинеарне динамике виталних сигнала и метода машинског учења” предложен наслов: „Препознавање когнитивног оптерећења применом дескриптора нелинеарне динамике виталних сигнала и машинског учења”. Докторска дисертација кандидата Милана Миливојевића биће писана на српском језику.
3. Предложена тема „Препознавање когнитивног оптерећења применом дескриптора нелинеарне динамике виталних сигнала и машинског учења” јесте научно заснована, а резултати који ће проистећи из израде ове докторске дисертације представљаће оригиналан и значајан допринос међународној научној заједници. Тема припада ужој научној области Телекомуникације.

На основу свега претходно изложеног, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату Милану Миливојевићу одобри израду докторске дисертације под насловом **„Препознавање когнитивног оптерећења применом дескриптора нелинеарне динамике виталних сигнала и машинског учења”** (енг. *“Detection of cognitive load using nonlinear dynamics vital signal descriptors and machine learning”*) под руководством ментора др Ане Гавровске, ванредног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 04.12.2025. године.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Драгана Шумарац Павловић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Андреја Самчовић, редовни професор
Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет

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