

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ПОДОБНОСТИ ТЕМЕ,КАНДИДАТА И МЕНТОРА ЗА
ИЗРАДУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

Орган који је именовао комисију: Наставно научно веће Факултета техничких наука
Teaching and Scientific Council of the Faculty of Technical Sciences

Датум именовања комисије: 012-40/5074-2026 од 02.07.2026.

Састав комисије именоване у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду*:

- | | | | |
|----|--|---|--|
| 1. | Др Татјана Грбић
<i>Dr Tatjana Grbić</i> | Редовни професор
<i>Full professor</i> | Теоријска и примењена математика
<i>Theoretical and applied mathematics</i> |
| | Презиме и име | звање | Ужа научна област |
| | Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
<i>Faculty of Technical Sciences, Novi Sad</i> | Председник
<i>Chair</i> | |
| | Установа у којој је запослен-а | Функција у комисији | |
| 2. | Др Дејан Рељић
<i>Dr Dejan Reljić</i> | Ванредни професор
<i>Associate professor</i> | Енергетска електроника, машине, погони и обновљиви извори електричне енергије, <i>Power Electronics, Electrical Machines, Drives, and Renewable Energy Sources</i> |
| | Презиме и име | звање | Ужа научна област |
| | Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
<i>Faculty of Technical Sciences, Novi Sad</i> | Члан
<i>Member</i> | |
| | Установа у којој је запослен-а | Функција у комисији | |
| 3. | Др Александра Ж. Јовановић
<i>Dr Aleksandra Ž. Jovanović</i> | Редовни професор
<i>Full professor</i> | Телекомуникације
<i>Telecommunications</i> |
| | Презиме и име | звање | Ужа научна област |
| | Електронски факултет у Нишу
<i>Faculty of Electronic Engineering, University of Niš</i> | Члан
<i>Member</i> | |
| | Установа у којој је запослен-а | Функција у комисији | |
| 4. | Др Бранко Бркљач
<i>Dr Branko Brkljač</i> | Ванредни професор
<i>Associate professor</i> | Телекомуникације и обрада сигнала
<i>Telecommunications and signal processing</i> |
| | Презиме и име | звање | Ужа научна област |
| | Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
<i>Faculty of Technical Sciences, Novi Sad</i> | Члан
<i>Member</i> | |
| | Установа у којој је запослен-а | Функција у комисији | |
| 5. | Др Александар Миња
<i>Dr Aleksandar Minja</i> | Ванредни професор
<i>Associate professor</i> | Телекомуникације и обрада сигнала
<i>Telecommunications and signal processing</i> |
| | Презиме и име | звање | Ужа научна област |
| | Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
<i>Faculty of Technical Sciences, Novi Sad</i> | Члан
<i>Member</i> | |
| | Установа у којој је запослен-а | Функција у комисији | |

ИПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме: Иван, Мило, Лазих / Ivan, Milo, Lazić
2. Датум рођења: 21.10.1989. Место и држава рођења: Сремска Митровица, Србија
Sremska Mitrovica, Serbia

II.1 Основне или интегрисане студије

Година уписа: 2008. Година завршетка: 2014. Просечна оцена током студија: 8.98

Универзитет: Универзитет у Новом Саду / University of Novi Sad

Факултет: Факултет техничких наука / Faculty of Technical Sciences

Студијски програм: Енергетика, електроника и телекомуникације / Power, electronic and telecommunication engineering

Стечено звање: Дипломирани инжењер електротехнике и рачунарства / Bachelor with honours in electrical and computer engineering

II.2 Мастер или магистарске студије

Година уписа: 2014. Година завршетка: 2016. Просечна оцена током студија: 9.88

Универзитет: Универзитет у Новом Саду / University of Novi Sad

Факултет: Факултет техничких наука / Faculty of Technical Sciences

Студијски програм: Енергетика, електроника и телекомуникације / Power, electronic and telecommunication engineering

Стечено звање: Мастер инжењер електротехнике и рачунарства / Master in electrical and computer engineering

Научна област: Електротехника и рачунарство / Electrical and Computer Engineering

Наслов завршног рада: “Анализа детектора и дескриптора за класификацију објеката у слици и примана у оквиру андроид платформе” / “Detector and descriptor analysis for object classification in images and its use within the android platform”

II.3 Докторске студије

Година уписа: 2017.

Универзитет: Универзитет у Новом Саду / University of Novi Sad

Факултет: Факултет техничких наука / Faculty of Technical Sciences

Студијски програм: Енергетика, електроника и телекомуникације / Power, electronic and telecommunication engineering

Број ЕСПБ до сада остварених: 120

Просечна оцена током студија: 10.00

II.4 Приказ научних и стручних радова кандидата

Р. бр.	аутори, наслов рада, часопис, волумен (година) странице од-до, DOI или ISBN/ISSN	категорија
1.	M. Iovino, I. Lazic , C. Barà, D. Kugiumtzis, L. Faes, and R. Pernice, “A principled and data-efficient information-theoretic method for feature selection,” <i>IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics</i> , pp. 1–13, 2026, ISSN: 2168-2208. DOI: 10.1109/jbhi. 2026.3679377, IF:7.7 (2025)	M21a+
Рада припада проблематици докторске дисертације: ДА/YES		

Р. бр.	аутори, наслов рада, часопис, волумен (година) странице од-до, DOI или ISBN/ISSN	категорија
2.	I. Lazic , C. Barà, M. Iovino, S. Stramaglia, K. Kasas-Lazetic, N. Jakovljević, and L. Faes, “Information-theoretic quantification of high-order feature effects in classification problems,” <i>Chaos, Solitons & Fractals</i> , vol. 204 , p. 117 724, ISSN: 0960-0779. DOI: 10.1016/j.chaos.2025.117724, IF:5.7 (2025)	M21a+
Рада припада проблематици докторске дисертације: ДА/YES		

Р. бр.	аутори, наслов рада, часопис, волумен (година) странице од-до, DOI или ISBN/ISSN	категорија
3.	H. Pinto, Y. Antonacci, C. Barà, R. Pernice, I. Lazic , L. Faes, and A. P. Rocha, “Estimating the mutual information rate of short time series from coupled dynamic systems,” <i>Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation</i> , vol. 152 , p. 109 383, ISSN: 1007-5704. DOI: 10.1016/j.cnsns.2025.109383, IF:3.8 (2025)	M21a+
Рада припада проблематици докторске дисертације: ДА/YES		

Р. бр.	аутори, наслов рада, часопис, волумен (година) странице од-до, DOI или ISBN/ISSN	категорија
4.	C. Barà, Y. Antonacci, M. Iovino, I. Lazic , and L. Faes, “Partial information decomposition for discrete target and continuous source random variables,” <i>Physical Review E</i> , vol. 112 , no. 1, 2025, ISSN: 2470-0053. DOI: 10.1103/58bg-5n9s, IF:2.5 (2025)	M21
Рада припада проблематици докторске дисертације: ДА/YES		

Р. бр.	аутори, наслов рада, часопис, волумен (година) странице од-до, DOI или ISBN/ISSN	категорија
5.	M. Iovino, I. Lazic , C. Barà, L. Faes, and R. Pernice, “Conditional mutual information-based feature selection for sex differences characterization,” <i>2024 13th Conference of the European Study Group on Cardiovascular Oscillations Physiologically Guided Signal Processing of Cardiovascular and Cerebrovascular Oscillations Esgco</i>	M34

	2024, ZARAGOZA, Spain, 2024, pp. 1-2, DOI: 10.1109/ESGCO63003.2024.10766964	
Рад припада проблематици докторске дисертације: ДА/YES		

Р. бр.	аутори, наслов рада, часопис, волумен (година) странице од-до, DOI или ISBN/ISSN	категорија
6.	M. Iovino, I. Lazic , T. Loncar-Turukalo, M. Javorka, R. Pernice, and L. Faes, "Classification of physiological states through machine learning algorithms applied to ultra-short-term heart rate and pulse rate variability indices on a single-feature basis," <i>IFMBE Proceedings</i> , vol. 93 , pp. 114–124, 2024, DOI: 10.1007/978-3-031-49062-0_13.	M33
Рад припада проблематици докторске дисертације: ДА/YES		

Р. бр.	аутори, наслов рада, часопис, волумен (година) странице од-до, DOI или ISBN/ISSN	категорија
7.	M. Iovino, I. Lazic , T. Loncar-Turukalo, M. Javorka, R. Pernice, and L. Faes, "Comparison of automatic and physiologically-based feature selection methods for classifying physiological stress using heart rate and pulse rate variability indices," <i>Physiological Measurement</i> , vol. 45 , no. 11, p. 115 004, Nov. 2024, ISSN: 1361-6579. DOI:10.1088/1361-6579/ad9234, IF:2.7 (2024)	M22
Рад припада проблематици докторске дисертације: ДА/YES		

Р. бр.	аутори, наслов рада, часопис, волумен (година) странице од-до, DOI или ISBN/ISSN	категорија
8.	I. Lazic , G. Mijatovic, M. Iovino, T. Loncar-Turukalo, and L. Faes, "A classification method based on local information and nearest neighbor entropy estimation," <i>2024 IEEE 22nd Mediterranean Electrotechnical Conference MELECON 2024</i> , Porto, Portugal, 2024, pp. 311-316, DOI: 10.1109/MELECON56669.2024.10608468	M33
Рад припада проблематици докторске дисертације: ДА/YES		

Р. бр.	аутори, наслов рада, часопис, волумен (година) странице од-до, DOI или ISBN/ISSN	категорија
9.	H. Pinto, I. Lazic , Y. Antonacci, R. Pernice, D. Gu, C. Barà, L. Faes, and A. Rocha, "Testing dynamic correlations and nonlinearity in bivariate time series through information measures and surrogate data analysis," <i>Frontiers in Network Physiology</i> , vol. 4 :1385421, 2024, ISSN: 2674-0109, DOI: 10.3389/fnetp.2024.1385421, IF:3.0 (2024)	M21
Рад припада проблематици докторске дисертације: ДА/YES		

Р. бр.	аутори, наслов рада, часопис, волумен (година) странице од-до, DOI или ISBN/ISSN	категорија
--------	---	------------

10.	R. Pernice, I. Lazic , C. Barà, L. Sparacino, G. Mijatovic, T. Loncar-Turukalo, and L. Faes, “Assessment of cardiorespiratory interactions during spontaneous and controlled breathing: Non-linear model-free analysis,” <i>2022 12th Conference of the European Study Group on Cardiovascular Oscillations, ESGCO 2022</i> , Vysoké Tatry, Štrbské Pleso, Slovakia, 2022, pp. 1-2, DOI: 10.1109/ESGCO55423.2022.9931390	M34
Рад припада проблематици докторске дисертације: ДА/YES		

Р. бр.	аутори, наслов рада, часопис, волумен (година) странице од-до, DOI или ISBN/ISSN	категорија
11.	I. Lazic , R. Pernice, T. Loncar-Turukalo, G. Mijatovic, and L. Faes, “Assessment of cardiorespiratory interactions during apneic events in sleep via fuzzy kernel measures of information dynamics,” <i>Entropy</i> , vol. 23, no. 6, p. 698, May 2021., ISSN: 1099-4300, DOI: 10.3390/e23060698, IF:2.738 (2021)	M22
Рад припада проблематици докторске дисертације: ДА/YES		

Р. бр.	аутори, наслов рада, часопис, волумен (година) странице од-до, DOI или ISBN/ISSN	категорија
12.	I. Lazic , T. Loncar-Turukalo, and L. Faes, “Information-theoretic analysis of cardiorespiratory interactions during apneic events in sleep,” <i>2020 11th Conference of the European Study Group on Cardiovascular Oscillations: Computation and Modelling in Physiology: New Challenges and Opportunities, ESGCO 2020</i> , Pisa, Italy, 2020, pp. 1-2, DOI: 10.1109/ESGCO49734.2020.9158168	M34
Рад припада проблематици докторске дисертације: ДА/YES		

III ОЦЕНА ПОДОБНОСТИ ТЕМЕ

Оцена:

III.1 формулације наслова тезе

Информационо-теоријска декомпозиција значаја обележја

Information-theoretic decomposition of feature importance

Предложени наслов тезе је подобан?

ДА

III.2 предмета (проблема) истраживања

Паралелно са убрзаним развојем вештачке интелигенције јавља се све значајнији развој метода за објашњиву вештачку интелигенције (Explainable Artificial Intelligence - XAI), с циљем повећања транспарентности и разумевања модела вештачке интелигенције. Уопштено, технике у оквиру XAI могу се категорисати према типу увида који настоје да пруже на: методе објашњења помоћу примера, методе анализе осетљивости и методе значаја обележја.

Од претходно наведених, методе значаја обележја издвајају се као чест избор за квантификовање доприноса улазних обележја предикцији. Док традиционалне методе често мере овај значај спрам промена у перформансама модела, скорија истраживања окрећу се ка предиктивној моћи која је представља меру независну од модела. Она повезује оптималну предикцију са информационо-теоријским концептима као што је међусобна информација. Предиктивна информација је ретко адитивна на нивоу појединачних обележја, што представља додатан изазов одређивања како се она распоређује у потенцијално синергистичке или редундантне компоненте уз присуство других обележја.

Предмет овог истраживања је развој теоријских основа за наведену декомпозицију предиктивне моћи заснивану на постулатима теорије информација, као и креирање практичних начина њихове имплементације намењених решавању реалних проблема. Предложене методе ће бити тестиране у симулацијама као и студијама случаја.

Alongside the rapid development of artificial intelligence, the field of Explainable Artificial Intelligence (XAI) has experienced substantial growth, with the goal of increasing transparency and understanding of decision-making processes. In general, XAI techniques can be categorized according to the type of insight they aim to provide, including example-based explanations, sensitivity analysis, and feature importance methods.

Among these approaches, feature importance methods have emerged as a common choice for quantifying the contribution of individual input features to a prediction task. While traditional methods often measure importance through changes in model performance, recent research has shifted toward model-independent notions of predictive power, linking optimal prediction to information-theoretic quantities such as mutual information. However, predictive information is rarely additive at the level of individual features, creating an additional challenge in determining how this information is distributed among unique, synergistic, and redundant components in the presence of other features.

The focus of this research is the development of the theoretical foundations of such a decomposition of predictive power, based on principles from information theory, as well as the design of practical methods for its software implementation and application in real-world settings, supported by simulations and practical case studies.

Предмет истраживања је подобан?

ДА/YES

III.3 познавања проблематике на основу изабране литературе са списком литературе

Одабрана литература је релевантна, актуелна и обухвата кључне радове из области која је предмет предложеног истраживања. На основу приложеног прегледа литературе може се закључити да кандидат познаје предметну проблематику, досадашње резултате истраживања, као и ограничења постојећих приступа. Постављена литература пружа основу за формулисање циља истраживања и превазилажење уочених недостатака постојећих решења.

The selected literature is relevant, up-to-date, and encompasses the key works in the field addressed by the proposed research. Based on the provided literature review, it can be concluded that the candidate is familiar with the subject matter, the existing research results, and the limitations of current approaches. The selected literature provides a solid foundation for formulating the research objectives and addressing the identified shortcomings of existing solutions.

- [1] Riccardo Guidotti, Anna Monreale, Salvatore Ruggieri, Franco Turini, Fosca Giannotti, and Dino Pedreschi. A survey of methods for explaining black box models. *ACM computing surveys (CSUR)*, 51(5):1–42, 2018.
- [2] Alejandro Barredo Arrieta, Natalia Díaz-Rodríguez, Javier Del Ser, Adrien Bannetot, Siham Tabik, Alberto Barbado, Salvador García, Sergio Gil López, Daniel Molina, Richard Benjamins, et al. Explainable artificial intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible ai. *Information fusion*, 58:82–115, 2020.
- [3] Rosina O Weber, Adam J Johs, Prateek Goel, and Joaõ Marques Silva. Xai is in trouble. *AI Magazine*, 45(3):300–316, 2024.
- [4] Finale Doshi-Velez and Been Kim. Towards a rigorous science of interpretable machine learning. *arXiv preprint arXiv:1702.08608*, 2017.
- [5] Zachary C Lipton. The mythos of model interpretability: In machine learning, the concept of interpretability is both important and slippery. *Queue*, 16(3):31–57, 2018.
- [6] Christoph Molnar. *Interpretable Machine Learning*. 3 edition, 2025.
- [7] Amnon Catav, Boyang Fu, Jason Ernst, Sriram Sankararaman, and Ran Gilad-Bachrach. Marginal contribution feature importance—an axiomatic approach for the natural case. *arXiv preprint arXiv:2010.07910*, 2020.
- [8] Ian Covert, Scott M Lundberg, and Su-In Lee. Understanding global feature contributions with additive importance measures. *Advances in neural information processing systems*, 33:17212–17223, 2020.
- [9] Thomas M. Cover and Joy A. Thomas, *Entropy, Relative Entropy, and Mutual Information*, chapter 2, pages 13–55. John Wiley Sons, Ltd, 2005.
- [10] Paul L Williams and Randall D Beer. Nonnegative decomposition of multivariate information. *arXiv preprint arXiv:1004.2515*, 2010.
- [11] Nicholas Timme, Wesley Alford, Benjamin Flecker, and John M Beggs. Synergy, redundancy, and multivariate information measures: an experimentalist’s perspective. *Journal of computational neuroscience*, 36(2):119–140, 2014.
- [12] Gilles Louppe, Louis Wehenkel, Antonio Sutera, and Pierre Geurts. Understanding variable importances in forests of randomized trees. *Advances in neural information processing systems*, 26, 2013.
- [13] Scott M Lundberg and Su-In Lee. A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in neural information processing systems*, 30, 2017.
- [14] Alexander Kraskov, Harald Stögbauer, and Peter Grassberger. Estimating mutual information. *Physical Review E—Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 69(6):066138, 2004.

- [15] Chiara Barà, Yuri Antonacci, Marta Iovino, Ivan Lazic, and Luca Faes. Partial information decomposition for discrete target and continuous source random variables. *Physical Review E*, 112(1):L012301, 2025.
- [16] Marlis Ontivero-Ortega, Luca Faes, Jesus M Cortes, Daniele Marinazzo, and Sebastiano Stramaglia. Assessing high-order effects in feature importance via predictability decomposition. *Physical Review E*, 111(3):L033301, 2025.
- [17] Sebastiano Stramaglia, Luca Faes, Jesus M Cortes, and Daniele Marinazzo. Disentangling high-order effects in the transfer entropy. *Physical Review Research*, 6(3):L032007, 2024.
- [18] Thomas M Cover. *Elements of information theory*. John Wiley & Sons, 1999.
- [19] Nils Bertschinger, Johannes Rauh, Eckehard Olbrich, Jürgen Jost, and Nihat Ay. Quantifying unique information. *Entropy*, 16(4):2161–2183, 2014.
- [20] Malte Harder, Christoph Salge, and Daniel Polani. Bivariate measure of redundant information. *Physical Review E—Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 87(1):012130, 2013.
- [21] Jing Lei, Max G'Sell, Alessandro Rinaldo, Ryan J Tibshirani, and Larry Wasserman. Distribution-free predictive inference for regression. *Journal of the American Statistical Association*, 113(523):1094–1111, 2018.
- [22] Gunnar König, Eric Günther, and Ulrike von Luxburg. Disentangling interactions and dependencies in feature attribution. *arXiv preprint arXiv:2410.23772*, 2024.
- [23] Charles Westphal, Stephen Hailes, and Mirco Musolesi. Partial information decomposition for data interpretability and feature selection. *arXiv preprint arXiv:2405.19212*, 2024.
- [24] Patricia Wollstadt, Sebastian Schmitt, and Michael Wibral. A rigorous information-theoretic definition of redundancy and relevancy in feature selection based on (partial) information decomposition. *Journal of Machine Learning Research*, 24(131):1–44, 2023.

Избор литературе је одговарајући?

ДА/YES

III.4 Циљеви истраживања

Циљ овог истраживања је развој метода које пружају интерпретабилност информационо-теоријских декомпозиција за квантификацију значаја обележја уз истовремено очување рачунске трактабилности. Специфично, коришћење условне међусобне информације има централну улогу, јер квантификује инкрементални допринос обележја у присуству других обележја, пружајући природну везу између интерпретација заснованих на декомпозицији и мера значаја независних од модела.

The objective of this research is to develop methods that provide interpretable information-theoretic decompositions for quantifying feature importance while simultaneously maintaining computational tractability. In particular, conditional mutual information plays a central role, as it quantifies the incremental contribution of a feature in the presence of other features, providing a natural link between decomposition-based interpretations and model-independent measures of feature importance.

Циљеви истраживања су одговарајући?

ДА/YES

III.5 Очекивани резултати (хипотезе)

Очекује се да ће резултати истраживања довести до развоја применљивих метода за декомпозицију предиктивне моћи на јединствене, синергистичке и редундантне компоненте, уз очување рачунске трактабилности. Додатно, очекује се потврда њихове применљивости кроз симулације и анализу у оквиру реалних скупова података.

The expected outcomes of this research include the development of practical methods for decomposing predictive power into unique, synergistic, and redundant components while maintaining computational

tractability. Furthermore, the applicability of the proposed methods is expected to be validated through simulations and analyses of real-world datasets.

Очекивани резултати представљају значајан научни допринос?

ДА/YES

III.6 план рада(на основу фаза истраживања и оријентационог садржаја дисертације из Обрасца 1)

Приликом пријаве теме докторске дисертације, кандидат је дефинисао 7 целина (фаза), које заједно представљају план истраживања теме од интереса. Кандидат је у ранијем периоду кроз стручне и научне радова већ реализовао део планираног истраживања.

Фазе:

Прва фаза – преглед стања у области

Друга фаза – анализа постојећих приступа

Трећа фаза – дефинисање теоријских основа новог приступа

Четврта фаза – дефинисање метода естимације и имплементације предложеног приступа

Пета фаза – дефинисање и имплементација радног оквира теоријских симулација за евалуацију предложеног приступа

Шеста фаза – примена новог приступа користећи реалне податке

Седма фаза – интерпретација добијених резултата и закључна разматрања

Оријентациони садржај дисертације:

1. Увод – опис проблема истраживања
2. Информационо-теоријске основе предиктивне структуре – преглед информационо-теоријских мера и концепата који чине основу предложене анализе
3. Методе значаја обележја – преглед постојећих приступа за анализу значаја обележја
4. СМННFi оквир – опис предложеног оквира
5. Методе естимације – опис коришћених метода естимације
6. Симулационе студије – опис теоријских симулација коришћених за евалуацију метода естимације
7. Примене на реалним подацима – приказ применљивости предложеног метода на реалним подацима
8. Закључци – завршна разматрања и будући рад
9. Литература

In the doctoral dissertation proposal, the candidate defined seven stages that together constitute the research plan for the topic of interest. Through previous work on professional and scientific publications, the candidate has already completed a substantial portion of the planned research.

Phases:

Phase One – review of the state of the art

Phase Two – analysis of existing approaches

Phase Three – definition of the theoretical foundations of the proposed approach

Phase Four – definition of the estimation methods and implementation of the proposed approach

Phase Five – definition and implementation of a theoretical simulation framework for the evaluation of the proposed approach

Phase Six – application of the proposed approach using real-world data

Phase Seven – interpretation of the obtained results and concluding remarks

Draft of the thesis structure:

1. *Introduction – description of the research problem*
2. *Information-theoretic foundations of predictive structure – overview of the information-theoretic measures and concepts underlying the proposed analysis*
3. *Feature importance methods – overview of current approaches for feature importance analysis*
4. *The СМННFi framework – description of the proposed framework*

5. *Estimation methods – description of the estimation methods*
6. *Simulation studies – description of the theoretical simulations used to evaluate the estimations*
7. *Real-world data applications – showcase of the applicative properties of the method concerning real-world data*
8. *Conclusions – final considerations and future work*
9. *References*

План рада је одговарајући?

ДА/YES

III.7 метода и узорака истраживања

Истраживање се надовезује на Hi-Fi метод и проширује га у оквир теорије информација, што омогућава декомпозицију доприноса обележја на интерпретабилне информационе компоненте и пружа богат опис значаја обележја независан од модела који превазилази маргиналне ефекте. Промена у предиктивним перформансама изазвана изостављањем обележја може се интерпретирати као индиректна мера за условну међусобну информацију између циљне вредности и изворног обележја, условљене преосталим обележјима. Поред тога, ради постизања рачунске поузданости у практичним задацима предикције, дизајнирамо естиматор условне узајамне информације (Conditional Mutual Information CMI) заснован на методи k-најближих суседа. Приступ се валидационо испитује коришћењем симулираних података са познатим вредностима, као и симулираних и реалних података са очекиваним понашањем изведеним из контролираних сценарија или поткрепљеним постојећом литературом.

У погледу симулација заснованих на синтетичким подацима, узорци ће бити генерисани из познатих расподела са контролираним статистичким својствима. Биће спроведене две врсте анализа. Прва ће испитивати интеракционе ефекте индуковане параметрима генеративних расподела, док ће се друга бавити математички дефинисаним структурама интеракција заснованим на аналитичким релацијама између обележја. Упоредна евалуација биће извршена у односу на различите величине узорка, димензионалност података и избор параметара коришћених метода естимације.

У погледу примена на реалне податке, предложени оквир биће евалуиран коришћењем јавно доступних референтних скупова података за евалуацију алгоритама машинског учења. Добијени резултати биће упоређени са налазима из постојеће литературе како би се проценили интерпретабилност, конзистентност и применљивост предложеног приступа.

The proposed research builds upon the Hi-Fi method and extends it within an information-theoretic framework, enabling the decomposition of feature contributions into interpretable informational components and providing a richer, model-independent characterization of feature importance that goes beyond marginal effects. The change in predictive performance induced by the omission of a feature can be interpreted as an indirect measure of the conditional mutual information between the target variable and the feature of interest, conditioned on the remaining features. Furthermore, to achieve computational reliability in practical prediction tasks, a conditional mutual information estimator based on the k-nearest neighbors approach will be developed. The proposed framework will be validated using simulated datasets with known theoretical values, as well as simulated and real-world datasets exhibiting expected behavior derived either from controlled scenarios or supported by existing literature.

With regard to simulations based on synthetic data, samples will be generated from known probability distributions with controlled statistical properties. Two types of analyses will be conducted. The first will investigate interaction effects induced by the parameters of the generative distributions, while the second will focus on mathematically defined interaction structures based on analytical relationships among features. Comparative evaluations will be performed with respect to different sample sizes, data dimensionalities, and parameter settings of the employed estimation methods.

For applications involving real-world data, the proposed framework will be evaluated using publicly available benchmark datasets in machine learning. The obtained results will be compared with findings reported in the literature to assess the interpretability, consistency, and practical applicability of the proposed approach.

Метод и узорак су одговарајући?

ДА/YES

III.8 места, лабораторије и опреме за истраживачки рад

Рачунарске лабораторије Катедре за телекомуникације и обраду сигнала

Computer laboratories of the Chair for telecommunication and signal processing

Услови за истраживачки рад су одговарајући?

ДА/YES

III.9 методе статистичке обраде података и осталих релевантних података

За статистичку обраду резултата користиће се сурогат тестирање и тестови статистичке значајности ради процене разлика између добијених вредности и утврђивања њихове статистичке релевантности. У случајевима ограничене количине реалних података примењиваће се bootstrap методе ради процене стабилности и поузданости добијених резултата.

Statistical analysis of the results will be performed using surrogate testing and statistical significance tests to assess differences between the obtained values and determine their statistical relevance. In cases where only limited real-world data are available, bootstrap methods will be employed to evaluate the stability and reliability of the obtained results.

Предложене методе су одговарајуће?

ДА/YES

IV ОЦЕНА ПОДОБНОСТИ КАНДИДАТА

Услови дефинисани за кандидата студијским програмом:

Успешно одбрањена мастер теза и наведена библиографија указују да је кандидат испунио све услове предвиђене студијским програмом.

The successfully defended Master's thesis and the listed bibliography indicate that the candidate has fulfilled all the requirements stipulated by the study programme.

Образложење:

Кандидат Иван Лазић је редовни студент докторских академских студија енергетике, електронике и телекомуникација на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду. Положио је све испите предвиђене планом и програмом и одбранио је Теоријске основе докторске дисертације. Поред научног рада у области обраде сигнала уз додатну сарадњу са страним институцијама из области примене теорије информација, кандидат има вишегодишње искуство у оквиру наставног процеса на предметима из исте области, као и машинског учења и вештачке интелигенције. На основу изнетих података, комисија сматра да кандидат Иван Лазић испуњава услове за израду докторске дисертације под насловом “Информационо-теоријска декомпозиција значаја обележја”.

Ivan Lazić is a student of the doctoral academic studies program in Power, Electronic and Telecommunication Engineering at the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad. He has passed all the exams prescribed by the curriculum and has defended the Theoretical Foundations of the Doctoral Dissertation. In addition to his scientific research in the field of signal processing, including collaborations with international institutions in the area of information theory applications, the candidate has several years of experience in teaching courses related to the same field, as well as machine learning and artificial intelligence. Based on the information presented, the Committee concludes that the candidate, Ivan Lazić, fulfills the requirements for undertaking a doctoral dissertation entitled “Information-theoretic decomposition of feature importance”.

Да ли кандидат испуњава дефинисане услове?

ДА/YES

V ОЦЕНА ПОДОБНОСТИ ПРЕДЛОЖЕНОГ МЕНТОРА

V.1 Биографија ментора (до 500 речи):

За ментора докторске дисертације „Информационо-теоријска декомпозиција значаја обележја“ предлаже се др Никша Јаковљевић и др Лука Фаес.

Ванредни проф. др Никша Јаковљевић докторирао је на Факултету техничких наука (ФТН) Универзитета у Новом Саду 2014. године. Од почетка свог истраживачког рада бавио се обрадом говорних сигнала, што на ФТН, што у сарадњи са фирмом АлфаНум, да би од 2017. своје поље истраживања проширио и на аудио сигнале, био-медицинске сигнале. Учествовао је на више националних и међународних пројеката између којих се издвајају: Развој дијалошких система за српски и друге јужнословенске језике TP 32035 – финансиран од стране Министарства просвете и науке Р. Србије, *S-ADAPT Speaker/Style Adaptation for Digital Voice Assistants Based on Image Processing Methods* – финансиран од Фонда за науку Р. Србије, *AI-SPEAK Мултимодална вишејезичка говорна комуникација између човека и машине* – финансиран од Фонда за науку Р. Србије, *H2020 INCISIVE: A Multimodal AI-Based Toolbox and an Interoperable Health Imaging Repository for the Empowerment of Imaging Analysis Related to the Diagnosis, Prediction and Follow-up of Cancer* – финансиран од Европске комисије и на два Еразмус + пројекта *Strengthening Educational Capacities by Building Competences and Cooperation in the Field of Noise and Vibration Engineering* – SENVIBE и *Boosting the Telecommunications Engineer Profile to Meet Modern Society and Industry Needs* – BENEFIT. До сада је публикувао 10 радова у међународним часописима, 2 рада у домаћим часописима, 44 рада на међународним конференцијама и 40 радова на домаћим конференцијама.

Др Лука Фаес (Luca Faes) је завршио мастер студије на Универзитету у Падови (1998) и докторске студије Универзитету у Тренту (2003), Италија. Пост-докторско усавршавање је обавио у Лабораторији за биофизику и биосигнале при Департману за физику, Универзитета у Тренту (2003-2008), и у Центру за биотехнологије, такође на истом Универзитету (2008-2013). Након тога, радио је као истраживач у оквиру Програма за истраживање и иновације у здравству, Фондација Бруно Кеслер, Тренто (2014-2017). Као гостујући истраживач, обогатио је своју академску каријеру бројним студијским боравцима на престижним универзитетима у иностранству, укључујући Државни Универзитет у Њујорку и Универзитет у Бостону (Сједињене Америчке Државе), Универзитет у Генту (Белгија) и Федерални Универзитет Минас Гераис, Бело Хоризонте (Бразил). Од 2018. године запослен је на Департману за инжењерство, Универзитет у Палерму, Италија, најпре као ванредни професор, а од 2023. године до данас као редовни професор, где изводи наставу из предмета: „Сензори“, „Сензори и биомедицински уређаји“ и „Статистичка анализа биомедицинских сигнала“. Мимо италијанске националне научне квалификације за звање редовног професора за област Биоинжењерство, носилац је и квалификације за звање ванредног професора за област Примењена физика. Од 2024. има звање гостујућег професора на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду, за ужу научну област Телекомуникације и обрада сигнала. Научно-истраживачки рад проф. др Луке Фаеса фокусиран је на развој напредних метода обраде биомедицинских сигнала за анализу комплексних физиолошких система, са циљем разумевања њиховог функционисања у нормалним и патолошким стањима (кардиоваскуларне и неуродегенеративне болести), ослањајући се на методе из домена теорије информација и временско-фреквенцијске анализе. У датој научној области, проф. др Лука Фаес је аутор преко 250 радова у међународним часописима. Број цитата радова на којима је проф. др Лука Фаес коаутор у моменту писања ове биографије је 10725 (Google Scholar); h-index = 59. Укључен је у листу „2% најбољих светских научника“, Стенфорд Универзитета, за дисциплину Биомедицинско инжењерство над две категорије: целокупна каријера и последња година (2021. и 2022. година). Учествовао је као истраживач или руководилац на већем броју међународних и националних пројеката. Одржао је већи број предавања на универзитетима ван земље. Учествовао је као члан и председавајући у већем броју Комисијама за оцену и одбрану радова на свим нивоима студија, а такође је истакнуто менторисао многе студенте у изради њихових завршних радова. Проф. др Лука Фаес обавља улогу уредника-сарадника у међународним научним часописима *Entropy* (2019-данас) и *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* (2023-данас), као и главног уредника у међународном научном часопису *Frontiers in Network Physiology, specialty Section on "Information Theory"*. Члан је Италијанског друштва за хаос и комплексност, Италијанске националне групе за биоинжењерство, друштва *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* и групе *European Study*

Group on Cardiovascular Oscillations. Од 2019. године има статус IEEE Senior Member.

Associate Professor Dr. Nikša Jakovljević received his PhD from the Faculty of Technical Sciences (FTN), University of Novi Sad, in 2014. Since the beginning of his research career, he has been engaged in speech signal processing, both at FTN and through collaboration with the company AlfaNum. Since 2017, he has expanded his research interests to include audio signals, biomedical one-dimensional signals, and medical imaging. He has participated in numerous national and international research projects, including: Development of Dialogue Systems for Serbian and Other South Slavic Languages (TR 32035), funded by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia; S-ADAPT: Speaker/Style Adaptation for Digital Voice Assistants Based on Image Processing Methods, funded by the Science Fund of the Republic of Serbia; AI-SPEAK: Multimodal Multilingual Speech Communication between Humans and Machines, funded by the Science Fund of the Republic of Serbia; H2020 INCISIVE: A Multimodal AI-Based Toolbox and an Interoperable Health Imaging Repository for the Empowerment of Imaging Analysis Related to the Diagnosis, Prediction and Follow-up of Cancer, funded by the European Commission; and two Erasmus+ projects, Strengthening Educational Capacities by Building Competences and Cooperation in the Field of Noise and Vibration Engineering - SENVIBE and Boosting the Telecommunications Engineer Profile to Meet Modern Society and Industry Needs - BENEFIT. To date, he has published 10 papers in international journals, 2 papers in national journals, 44 papers at international conferences, and 40 papers at national conferences.

Professor Dr. Luca Faes received his Master's degree from the University of Padua (1998) and his PhD from the University of Trento (2003), Italy. He completed postdoctoral training at the Laboratory of Biophysics and Biosignals within the Department of Physics at the University of Trento (2003–2008), and subsequently at the Centre for Integrative Biology of the same university (2008–2013). He later worked as a researcher within the Health Research and Innovation Program at the Bruno Kessler Foundation, Trento (2014–2017). As a visiting researcher, he further enriched his academic career through research stays at several prestigious international institutions, including the State University of New York and Boston University (United States), Ghent University (Belgium), and the Federal University of Minas Gerais in Belo Horizonte (Brazil). Since 2018, he has been affiliated with the Department of Engineering at the University of Palermo, Italy, initially as an Associate Professor and, since 2023, as a Full Professor. He teaches courses including Sensors, Sensors and Biomedical Devices, and Statistical Analysis of Biomedical Signals. In addition to holding the Italian National Scientific Qualification for Full Professor in Bioengineering, he also holds the qualification for Associate Professor in Applied Physics. Since 2024, he has held the position of Visiting Professor at the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, within the scientific field of Telecommunications and Signal Processing. Professor Faes's research focuses on the development of advanced biomedical signal processing methods for the analysis of complex physiological systems, with the aim of understanding their functioning in both normal and pathological conditions, particularly cardiovascular and neurodegenerative diseases. His work is primarily based on methods from information theory and time-frequency analysis. In this field, he has authored more than 250 papers in international journals. At the time of writing this biography, his publications had accumulated 10725 citations (Google Scholar); h-index = 59. He has been included in Stanford University's list of the world's top 2% scientists in Biomedical Engineering in both categories-career-long impact and single-year impact-for 2021 and 2022. He has participated as a researcher or principal investigator in numerous national and international projects and has delivered invited lectures at several international universities. He has served as a member and chair of numerous committees for the evaluation and defense of theses and dissertations at all levels of higher education and has supervised a large number of students in the preparation of their final projects and theses. Professor Faes serves as Guest Editor of the international journals Entropy (2019–present) and IEEE Transactions on Biomedical Engineering (2023–present), and as Specialty Chief Editor of the Frontiers in Network Physiology specialty section on Information Theory. He is a member of the Italian Society for Chaos and Complexity, the Italian National Group of Bioengineering, the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, and the European Study Group on Cardiovascular Oscillations. Since 2019, he has held the status of IEEE Senior Member.

V.2 Референце ментора из научне области којој припада тема докторске дисертације:

Др Никша Јаковљевић

Р. бр.	аутори, наслов, <i>часопис</i> , волумен (година)број страница од-до, DOI или ISBN/ISSN	категорија
1.	Lazic, I., Barà, C., Iovino, M., Stramaglia, S., Kasas-Lazetic, K., Jakovljević, N. , Faes, L., “Information-theoretic quantification of high-order feature effects in classification problems,” Chaos, Solitons amp; Fractals, vol. 204, p. 117 724, Mar. 2026, issn: 0960-0779. doi: 10.1016/j.chaos.2025.117724. (Physics, Mathematical, 2024:1/61 IF:5.6; 2025:1/61 IF:5.7)	M21a+
2.	Lazic, I., Agullo, F., Ausso, S., Alves, B., Barelle, C., Berral, J.L., Bizopoulos, P., Bunduc, O., Chouvarda, I., Dominguez, D., Filos, D., Gutierrez-Torre, A., Hesso, I., Jakovljević, N. , Kayyali, R., Kogut-Czarkowska, M., Kosvyra, A., Lalas, A., Lavdaniti, M., Loncar-Turukalo, T., Martinez-Alabart, S., Michas, N., Nabhani-Gebara, S., Raptopoulos, A., Roussakis, Y., Stalika, E., Symvoulidis, C., Tsave, O., Votis, K., Charalambous, A., 2022. The Holistic Perspective of the INCISIVE Project—Artificial Intelligence in Screening Mammography. Applied Sciences 12(17), 8755. https://doi.org/10.3390/app12178755 , ISSN 2076-3417 (Engineering, Multidisciplinary, 2022:42/91 IF:2.7; 2021:39/92 IF:2.838; 2020:38/91 IF2.679)	M22
3.	Zanin, M., Ivanoska, I., Güntekin, B., Yener, G., Loncar-Turukalo, T., Jakovljevic, N. , Sveljo, O., Papo, D., 2022. A Fast Transform for Brain Connectivity Difference Evaluation. Neuroinformatics 20(2), pp. 285–299. https://doi.org/10.1007/s12021-021-09518-7 , ISSN 1539-2791 (Computer Science, Interdisciplinary Applications 2022:65/110 IF:3.0; 2021:67/112 IF:2.864; 2020:38/112 IF:4.085)	M22
3.	Delić, V., Perić, Z., Sečujski, M., Jakovljević, N. , Nikolić, J., Mišković, D., Simić, N., Suzić, S., Delić, T., 2019. Speech Technology Progress Based on New Machine Learning Paradigm. Computational Intelligence and Neuroscience 2019, 1–19. https://doi.org/10.1155/2019/4368036 , ISSN:1687-5265, (Mathematical & Computational Biology, 2019:19/59 IF:2.284; 2018:18/59 IF:2.154; 2017:28/59 IF:1.649)	M22
4.	Rocha, B.M., Filos, D., Mendes, L., Serbes, G., Ulukaya, S., Kahya, Y.P., Jakovljevic, N. , Turukalo, T.L., Vogiatzis, I.M., Perantoni, E., Kaimakamis, E., Natsiavas, P., Oliveira, A., Jácome, C., Marques, A., Maglaveras, N., Pedro Paiva, R., Chouvarda, I., De Carvalho, P., 2019. An open access database for the evaluation of respiratory sound classification algorithms. Physiol. Meas. 40, 035001. https://doi.org/10.1088/1361-6579/ab03ea , ISSN:0967-3334, (Engineering, Biomedical, 2019: 49/87 IF:2.309; 2018:41/80 IF:2.246; 2017:39/78 IF: 2.006)	M22
5.	Mišković, D., Gnjatović, M., Štrbac, P., Trenkić, B., Jakovljević, N. , Delić, V., 2017. Hybrid methodological approach to context-dependent speech recognition. International Journal of Advanced Robotic Systems 14, 172988141668713. https://doi.org/10.1177/1729881416687131 , ISSN:1729-8806, ISSN:1729-8814 (Robotics, 2017:23/26 IF:0.952; 2016:18/26 IF:0.987; 2015:19/25 IF:0.615)	M23

Др Лука Фаес

Р. бр.	аутори, наслов, <i>часопис</i> , волумен (година)број страница од-до, DOI или ISBN/ISSN	категорија
1.	C. Barà, L. Sparacino, L. Faes , and M. Javorka, “Direct causality measures unravel complex networks of cardiovascular dynamics and their modifications with postural stress,” PLOS Computational Biology, vol. 22, no. 3, e1014075, 2026. ISSN: 1553-7358. (Mathematical, Computational Biology, 2024:12/67 IF:3.6, 2025:12/67	M21

	IF:3.7)	
2.	M. Iovino, I. Lazic, C. Barà, D. Kugiumtzis, L. Faes , and R. Pernice, “A principled and data-efficient information-theoretic method for feature selection,” <i>IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics</i> , pp. 1–13, 2026, ISSN: 2168-2208. DOI: 10.1109/jbhi. 2026.3679377, (Mathematical & Computational Biology, 2024:3/67 IF:6.8, 2025:5/67 IF:7.7)	M21a+
3.	I. Lazic, C. Barà, M. Iovino, S. Stramaglia, K. Kasas-Lazetic, N. Jakovljević, and L. Faes , “Information-theoretic quantification of high-order feature effects in classification problems,” <i>Chaos, Solitons & Fractals</i> , vol. 204, p. 117 724, 2026. ISSN: 1873-2887. (Physics, Mathematical, 2024:1/61 IF:5.6, 2025:1/61 IF:5.7)	M21a+
4.	Y. Antonacci, C. Barà, G. de Felice, A. Sferlazza, R. Pernice, and L. Faes , “Exploring transient neurophysiological states through local and time-varying measures of information dynamics,” <i>Applied Mathematics and Computation</i> , vol. 500, p. 129 437, 2025. ISSN: 1873-5649. (Mathematics, Applied, 2023:10/322 IF:3.5, 2024:11/344 IF:3.4, 2025:15/345 IF:3.2)	M21a+
5.	Y. Antonacci, C. Barà, L. Sparacino, G. Mijatovic, L. Minati, and L. Faes , “A method for the time-frequency analysis of high-order interactions in non-stationary physiological networks,” <i>Journal of Neural Engineering</i> , vol. 22, no. 6, p. 066 001, 2025. ISSN: 1741-2552. (Neurosciences, 2023: 98/310 IF: 3.7, 2024: 95/314 IF: 3.8, 2025: 109/330 IF: 4.0)	M21
6.	C. Barà, Y. Antonacci, M. Iovino, I. Lazic, and L. Faes , “Partial information decomposition for discrete target and continuous source random variables,” <i>Physical Review E</i> , vol. 112, no. 1, p. L012301, 2025. ISSN: 2470-0053. (Physics, Mathematical, 2023: 12/60 IF:2.2, 2024: 13/61 IF:2.4, 2025: 12/61 IF:2.5)	M21
7.	T. Bojić, L. Faes , S. Schulz, and T. Stankovski, “Cardio-respiratory-brain integrative physiology: Interactions, mechanisms, and methods for assessment,” <i>Frontiers in Computational Neuroscience</i> , vol. 19, p. 1664088, 2025. ISSN: 1662-5188. (Neurosciences, 2023: 217/310 IF:2.1, 2024: 213/314 IF:2.3, 2025: 156/330 IF:3.3)	M22
8.	B. Cairo, R. Pernice, N. N. Radovanović, L. Faes , A. Porta, and M. M. Platiša, “State space correspondence and cross-entropy methods in the assessment of bidirectional cardiorespiratory coupling in heart failure,” <i>Entropy</i> , vol. 27, no. 7, p. 770, 2025. ISSN: 1099-4300. (Physics, Multidisciplinary, 2023: 44/112 IF:2.1, 2024: 52/114 IF:2.0, 2025: 51/112 IF:2.1)	M22
9.	D. Candia-Rivera, L. Faes , F. de Vico Fallani, and M. Chavez, “Measures and models of brain-heart interactions,” <i>IEEE Reviews in Biomedical Engineering</i> , 2025. ISSN: 1941-1189. (Engineering, Biomedical, 2023: 3/123 IF:17.2, 2024: 6/124 IF: 12.0, 2025: 6/130 IF: 16.0)	M21a+
10.	L. Faes , G. Mijatovic, L. Sparacino, and A. Porta, “Predictive information decomposition as a tool to quantify emergent dynamical behaviors in physiological networks,” <i>IEEE Transactions on Biomedical Engineering</i> , 2025. ISSN: 1558-2531. (Engineering, Biomedical, 2023: 36/123 IF: 4.4, 2024: 38/124 IF: 4.5, 2025: 47/130 IF: 4.4)	M21
11.	L. Faes , L. Sparacino, G. Mijatovic, Y. Antonacci, L. Ricci, D. Marinazzo, and S. Stramaglia, “Partial information rate decomposition,” <i>Physical Review Letters</i> , vol. 135, no. 18, p. 187 401, 2025. ISSN: 1079-7114. (Physics, Multidisciplinary, 2023: 8/112 IF:8.1, 2024: 9/114 IF:9.0, 2025: 9/112 IF:9.4)	M21a

12.	G. Mijatovic, Y. Antonacci, M. Javorka, D. Marinazzo, S. Stramaglia, and L. Faes , “Network representation of higher-order interactions based on information dynamics,” IEEE Transactions on Network Science and Engineering, 2025. ISSN: 2327-4697. (Engineering, Multidisciplinary, 2023: 7/181 IF:6.7, 2024: 6/179 IF:7.9, 2025: 9/178 IF:7.3)	M21a+
13.	L. Minati, L. Sparacino, J. V. N. Tegnitsap, M. Zhao, F. Fang, G. Mijatovic, Y. Antonacci, P. A. Valdes-Sosa, H. Ito, M. Frasca, and L. Faes , “Spontaneous dynamical differentiation in an experimental network of single-transistor chaotic oscillators modeling a biological neuronal culture,” Chaos, Solitons & Fractals, vol. 200, p. 117 111, 2025. ISSN: 1873-2887. (Physics, Mathematical, 2023:2/61 IF:5.63, 2024:1/61 IF:5.6, 2025:1/61 IF:5.7)	M21a+
14.	M. Ontivero-Ortega, L. Faes , J. M. Cortes, D. Marinazzo, and S. Stramaglia, “Assessing high-order effects in feature importance via predictability decomposition,” Physical Review E, vol. 111, no. 3, p. L033301, 2025. ISSN: 2470-0053. (Physics, Mathematical, 2023: 12/60 IF:2.2, 2024: 13/61 IF:2.4, 2025: 12/61 IF:2.5)	M21
15.	H. Pinto, Y. Antonacci, C. Barà, R. Pernice, I. Lazic, L. Faes , and A. P. Rocha, “Estimating the mutual information rate of short time series from coupled dynamic systems,” Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, p. 109 383, 2025. ISSN: 1878-7274. (Mathematics, Applied, 2023: 12/332 IF:3.4, 2024: 7/344 IF:3.8, 2025: 5/345 IF:3.8)	M21a+
16.	A. Raimondi, A. Busacca, G. C. Giaconia, Y. Antonacci, S. Stivala, L. Faes , and R. Pernice, “Effects of electrocardiographic noise on ultra-short term heart rate variability indices,” Computers in Biology and Medicine, vol. 196, p. 110 803, 2025. ISSN: 1879-0534. (Computer Science, Interdisciplinary Applications, 2023: 19/170 IF: 7.0 , 2024: 26/177 IF: 6.3)	M21a
17.	L. Sparacino, Y. Antonacci, G. Mijatovic, and L. Faes , “Measuring hierarchically-organized interactions in dynamic networks through spectral entropy rates: Theory, estimation, and illustrative application to physiological networks,” Neurocomputing, vol. 630, p. 129 675, 2025. ISSN: 1872-8286. (Computer Science, Artificial Intelligence, 2023: 42/197 IF:5.5, 2024: 37/204 IF:6.5, 2025: 43/210 IF:6.7)	M21
18.	L. Sparacino, G. Mijatovic, Y. Antonacci, L. Ricci, D. Marinazzo, S. Stramaglia, and L. Faes , “Decomposing multivariate information rates in networks of random processes,” Physical Review E, vol. 112, no. 4, p. 044 313, 2025. ISSN: 2470-0053. (Physics, Mathematical, 2023: 12/60 IF:2.2, 2024: 13/61 IF:2.4, 2025: 12/61 IF:2.5)	M21
19.	L. Sparacino, H. Pinto, C. Barà, Y. Antonacci, R. Pernice, A. P. Rocha, and L. Faes , “Quantifying coupling and causality in dynamic bivariate systems: A unified framework for time-domain, spectral, and information-theoretic analysis,” Frontiers in Network Physiology, vol. 5, p. 1 687 132, 2025. ISSN: 2674-0109. (Physiology, 2024:25/87 IF:3.0, 2025:31/89 IF:3.1)	M21
20.	V. R. Vergara, C. Barà, A. Zaccaro, F. Ferri, F. Jurysta, L. Faes , and Y. Antonacci, “Information-theoretic analysis of eeg wave amplitude and heart rate variability reveals the time scale-dependent nature of brain-heart interactions,” IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology, 2025. ISSN: 2644-1276. (Engineering, Biomedical, 2023: 68/123 IF:2.7, 2024: 64/124 IF:2.9, 2025: 64/130 IF:3.1)	M22

21.	Y. Antonacci, C. Barà, L. Sparacino, I. Pirovano, A. Mastropietro, G. Rizzo, and L. Faes , “Spectral information dynamics of cortical signals uncover the hierarchical organization of the human brain’s motor network,” <i>IEEE Transactions on Biomedical Engineering</i> , vol. 72, no. 5, pp. 1655–1664, 2024. ISSN: 1558-2531. (Engineering, Biomedical, 2022: 37/116 IF: 4.6, 2023: 36/123 IF: 4.4, 2024: 38/124 IF: 4.5)	M21
22.	C. Bara, R. Pernice, C. A. Catania, M. Hilal, A. Porta, A. Humeau-Heurtier, and L. Faes , “Comparison of entropy rate measures for the evaluation of time series complexity: Simulations and application to heart rate and respiratory variability,” <i>Biocybernetics and Biomedical Engineering</i> , vol. 44, no. 2, pp. 380–392, 2024. ISSN: 0208-5216. (Engineering, Biomedical, 2022: 21/116 IF:6.4, 2023: 24/123 IF:5.3, 2024: 20/124 IF:6.6)	M21
23.	M. Iovino, I. Lazic, T. Loncar-Turukalo, M. Javorka, R. Pernice, and L. Faes , “Comparison of automatic and physiologically-based feature selection methods for classifying physiological stress using heart rate and pulse rate variability indices,” <i>Physiological Measurement</i> , vol. 45, no. 11, p. 115 004, 2024. ISSN: 1361-6579. (Engineering, Biomedical, 2022: 61/116 IF:3.2, 2023: 76/123 IF:2.3, 2024: 69/124 IF:2.7)	M22
24.	G. Mijatovic, L. Sparacino, Y. Antonacci, M. Javorka, D. Marinazzo, S. Stramaglia, and L. Faes , “Assessing high-order links in cardiovascular and respiratory networks via static and dynamic information measures,” <i>IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology</i> , vol. 5, pp. 846–858, 2024. ISSN: 2644-1276. (Engineering, Biomedical, 2022: 25/116 IF: 5.8, 2023: 68/123 IF:2.7, 2024: 64/124 IF:2.9)	M22
25.	L. Minati, L. Sparacino, L. Faes , H. Ito, C. Li, P. A. Valdes-Sosa, M. Frasca, and S. Boccaletti, “Chaotic dynamics and synchronization under tripartite couplings: Analyses and experiments using single-transistor oscillators as metaphors of neural dynamics,” <i>Chaos, Solitons & Fractals</i> , vol. 189, p. 115 567, 2024. ISSN: 1873-2887. (Physics, Mathematical, 2022:1/61 IF:7.8, 2023:2/61 IF:5.63, 2024:1/61 IF:5.6)	M21a+
26.	H. Pinto, I. Lazic, Y. Antonacci, R. Pernice, D. Gu, C. Barà, L. Faes , and A. P. Rocha, “Testing dynamic correlations and nonlinearity in bivariate time series through information measures and surrogate data analysis,” <i>Frontiers in network physiology</i> , vol. 4, p. 1 385 421, 2024. ISSN: 2674-0109. (Physiology, 2024:25/87 IF:3)	M21
27.	T. Scagliarini, L. Sparacino, L. Faes , D. Marinazzo, and S. Stramaglia, “Gradients of o- information highlight synergy and redundancy in physiological applications,” <i>Frontiers in Network Physiology</i> , vol. 3, p. 1 335 808, 2024. ISSN: 2674-0109. (Physiology, 2024:25/87 IF:3)	M21
28.	L. Sparacino, Y. Antonacci, C. Barà, D. Švec, M. Javorka, and L. Faes , “A method to assess linear self-predictability of physiologic processes in the frequency domain: Application to beat-to-beat variability of arterial compliance,” <i>Frontiers in Network Physiology</i> , vol. 4, p. 1 346 424, 2024. ISSN: 2674-0109. (Physiology, 2024:25/87 IF:3)	M21
29.	S. Stramaglia, L. Faes , J. M. Cortes, and D. Marinazzo, “Disentangling high-order effects in the transfer entropy,” <i>Physical Review Research</i> , vol. 6, no. 3, p. L032007, 2024. ISSN: 2643-1564. (Physics, Multidisciplinary, 2022: 24/111 IF:4.2, 2023: 25/112 IF:3.5, 2024: 25/114 IF:4.2)	M21

30.	G. Volpes, S. Valenti, G. Genova, C. Barà, A. Parisi, L. Faes , A. Busacca, and R. Pernice, “Wearable ring-shaped biomedical device for physiological monitoring through finger-based acquisition of electrocardiographic, photoplethysmographic, and galvanic skin response signals: Design and preliminary measurements,” <i>Biosensors</i> , vol. 14, no. 4, p. 205, 2024. ISSN: 2079-6374. (Instruments & Instrumentation, 2022: 12/76 IF: 5.4, 2023: 13/76 IF: 4.9, 2024: 9/79 IF: 5.6)	M21a
31.	Y. Antonacci, C. Barà, A. Zaccaro, F. Ferri, R. Pernice, and L. Faes , “Time-varying information measures: An adaptive estimation of information storage with application to brain-heart interactions,” <i>Frontiers in Network Physiology</i> , vol. 3, p. 1 242 505, 2023. ISSN: 2674-0109. (Physiology)	
32.	C. Barà, L. Sparacino, R. Pernice, Y. Antonacci, A. Porta, D. Kugiumtzis, and L. Faes , “Comparison of discretization strategies for the model-free information-theoretic assessment of short-term physiological interactions,” <i>Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science</i> , vol. 33, no. 3, 2023. ISSN: 1089-7682. (Mathematics, Applied, 2021: 17/267 IF: 3.741, 2022: IF:2.9, 2023: 30/327 25/332 IF:2.7)	M21a
33.	C. Barà, A. Zaccaro, Y. Antonacci, M. Dalla Riva, A. Busacca, F. Ferri, L. Faes , and R. Pernice, “Local and global measures of information storage for the assessment of heartbeat-evoked cortical responses,” <i>Biomedical Signal Processing and Control</i> , vol. 86, p. 105 315, 2023. ISSN: 1746-8108. (Engineering, Biomedical, 2021: 30/98 IF: 5.076, 2022: 28/116 IF:5.1, 2023: 30/123 IF:4.9)	M21
34.	S. Charleston-Villalobos, M. Javorka, L. Faes , and A. Voss, “Granger causality and information transfer in physiological systems: Basic research and applications,” <i>Frontiers in Network Physiology</i> , vol. 3, p. 1 284 256, 2023. ISSN: 2674-0109. (Physiology)	
35.	G. Chiarion, L. Sparacino, Y. Antonacci, L. Faes , and L. Mesin, “Connectivity analysis in eeg data: A tutorial review of the state of the art and emerging trends,” <i>Bioengineering</i> , vol. 10, no. 3, p. 372, 2023. ISSN: 2306-5354. (Engineering, Biomedical, 2021: 31/98 IF: 5.046, 2022: 37/116 IF: 4.6, 2023: 44/123 IF: 3.8)	M22
36.	A. Porta, V. Bari, F. Gelpi, B. Cairo, B. De Maria, D. Tonon, G. Rossato, and L. Faes , “On the different abilities of cross-sample entropy and k-nearest-neighbor cross-unpredictability in assessing dynamic cardiorespiratory and cerebrovascular interactions,” <i>Entropy</i> , vol. 25, no. 4, p. 599, 2023. ISSN: 1099-4300. (Physics, Multidisciplinary, 2021: 42/86 IF: 2.738, 2022: 42/111 IF:2.7, 2023: 44/112 IF:2.1)	M22
37.	A. Porta, F. Gelpi, V. Bari, B. Cairo, B. De Maria, D. Tonon, G. Rossato, and L. Faes , “Concomitant evaluation of cardiovascular and cerebrovascular controls via geweke spectral causality to assess the propensity to postural syncope,” <i>Medical & Biological Engineering & Computing</i> , vol. 61, no. 12, pp. 3141–3157, 2023. ISSN: 1741-0444. (Mathematical & Computational Biology, 2021: 23/57 IF: 3.079, 2022: 21/67 IF: 3.2, 2023: 21/66 IF: 2.6)	M21
38.	T. Scagliarini, D. Nuzzi, Y. Antonacci, L. Faes , F. E. Rosas, D. Marinazzo, and S. Stramaglia, “Gradients of o-information: Low-order descriptors of high-order dependencies,” <i>Physical Review Research</i> , vol. 5, no. 1, p. 013 025, 2023. ISSN: 2643-1564. (Physics, Multidisciplinary, 2022: 24/111 IF:4.2, 2023: 25/112 IF:3.5)	M21
39.	L. Sparacino, Y. Antonacci, C. Barà, A. Valenti, A. Porta, and L. Faes , “A method to assess granger causality, isolation and autonomy in the time and frequency	M21

	domains: Theory and application to cerebrovascular variability,” IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 71, no. 5, pp. 1454–1465, 2023. ISSN: 1558-2531. (Engineering, Biomedical, 2021: 37/98 IF: 4.756, 2022: 37/116 IF:4.6, 2023: 36/123 IF:4.4)	
40.	L. Sparacino, L. Faes , G. Mijatović, G. Parla, V. Lo Re, R. Miraglia, J. de Ville de Goyet, and G. Sparacia, “Statistical approaches to identify pairwise and high-order brain functional connectivity signatures on a single-subject basis,” Life, vol. 13, no. 10, p. 2075, 2023. ISSN: 2075-1729. (Biology, 2021: 39/94 IF 3.253:, 2022: 35/112 IF: 3.2, 2023: 26/109 IF: 3.2)	M21
41.	S. Valenti, G. Volpes, A. Parisi, D. Peri, J. Lee, L. Faes , A. Busacca, and R. Pernice, “Wearable multisensor ring-shaped probe for assessing stress and blood oxygenation: Design and preliminary measurements,” Biosensors, vol. 13, no. 4, p. 460, 2023. ISSN: 2079-6374. (Instruments & Instrumentation, 2020: 8/64 IF: 5.519, 2021: 8/64 IF: 5.743, 2022: 12/76 IF: 5.4)	M21
42.	V. Bari, L. Barbarossa, F. Gelpi, B. Cairo, B. De Maria, D. Tonon, G. Rossato, L. Faes , M. Ranucci, R. Barbieri, et al., “Exploring metrics for the characterization of the cerebral autoregulation during head-up tilt and propofol general anesthesia,” Autonomic Neuroscience, vol. 242, p. 103 011, 2022. ISSN: 1872-7484. (Neurosciences, 2020: 181/273 IF:3.145, 2021: 231/275 IF:2.355, 2022: 200/306 IF:2.7)	M22
43.	L. Faes , G. Mijatovic, Y. Antonacci, R. Pernice, C. Barà, L. Sparacino, M. Sammartino, A. Porta, D. Marinazzo, and S. Stramaglia, “A new framework for the time-and frequency- domain assessment of high-order interactions in networks of random processes,” IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 70, pp. 5766–5777, 2022. ISSN: 1941-0476. (Engineering, Electrical & Electronic, 2020: 41/273 IF: 4.931, 2021: 66/276 IF: 4.875, 2022: 68/352 IF: 5.4)	M21
44.	F. Gelpi, V. Bari, B. Cairo, B. De Maria, D. Tonon, G. Rossato, L. Faes , and A. Porta, “Dynamic cerebrovascular autoregulation in patients prone to postural syncope: Comparison of techniques assessing the autoregulation index from spontaneous variability series,” Autonomic Neuroscience, vol. 237, p. 102 920, 2022. ISSN: 1872-7484. (Neurosciences, 2020: 181/273 IF:3.145, 2021: 231/275 IF:2.355, 2022: 200/306 IF:2.7)	M22
45.	H. Lee, H. Chung, H. Ko, A. Parisi, A. Busacca, L. Faes , R. Pernice, and J. Lee, “Adaptive scheduling of acceleration and gyroscope for motion artifact cancelation in photoplethysmography,” Computer methods and programs in biomedicine, vol. 226, p. 107 126, 2022. ISSN: 1872-7565. (Engineering, Biomedical, 2020: 19/89 IF: 5.428, 2021: 20/98 IF: 7.027, 2022: 23/116 IF:6.1)	M21
46.	G. Mijatovic, R. Pernice, A. Perinelli, Y. Antonacci, A. Busacca, M. Javorka, L. Ricci, and L. Faes , “Measuring the rate of information exchange in point-process data with application to cardiovascular variability,” Frontiers in Network Physiology, vol. 1, p. 765 332, 2022. ISSN: 2674-0109. (Physiology)	
47.	R. Pernice, L. Faes , M. Feucht, F. Benninger, S. Mangione, and K. Schiecke, “Pairwise and higher-order measures of brain-heart interactions in children with temporal lobe epilepsy,” Journal of Neural Engineering, vol. 19, no. 4, p. 045 002, 2022. ISSN: 1741-2552. (Neurosciences, 2020: 66/273 IF: 5.379, 2021: 91/275 IF: 5.043, 2022: 112/306 IF: 4.0)	M21
48.	R. Pernice, L. Sparacino, V. Bari, F. Gelpi, B. Cairo, G. Mijatovic, Y. Antonacci, D. Tonon, G. Rossato, M. Javorka, A. Porta, and L. Faes “Spectral decomposition of cerebrovascular and cardiovascular interactions in patients prone to postural	M22

	syncope and healthy controls,” <i>Autonomic Neuroscience</i> , vol. 242, p. 103 021, 2022. ISSN: 1872-7484. (Neurosciences, 2020: 181/273 IF:3.145, 2021: 231/275 IF:2.355, 2022: 200/306 IF:2.7)	
49.	H. Pinto, R. Pernice, M. Eduarda Silva, M. Javorka, L. Faes , and A. P. Rocha, “Multiscale partial information decomposition of dynamic processes with short and long-range correlations: Theory and application to cardiovascular control,” <i>Physiological Measurement</i> , vol. 43, no. 8, p. 085 004, 2022. ISSN: 1361-6579. (Engineering, Biomedical, 2020: 53/89 IF: 2.833, 2021: 68/98 IF: 2.688, 2022:61/116 IF:3.2)	M22
50.	G. Volpes, C. Barà, A. Busacca, S. Stivala, M. Javorka, L. Faes , and R. Pernice, “Feasibility of ultra-short term analysis of heart rate and systolic arterial pressure variability at rest and during stress via time-domain and entropy-based measures,” <i>Sensors</i> , vol. 22, no. 23, p. 9149, 2022. ISSN: 1424-8220. (Engineering, Electrical & Electronic, 2020:82/273 IF:3.576, 2021:95/276 IF:3.847, 2022:111/352 IF:3.9)	M21
51.	G. Mijatovic, D. Kljajic, K. Kasas-Lazetic, M. Milutinov, S. Stivala, A. Busacca, A. C. Cino, S. Stramaglia, and L. Faes , “Information dynamics of electric field intensity before and during the covid-19 pandemic,” <i>Entropy</i> , vol. 24, no. 5, p. 726, 2022. ISSN: 1099-4300. (Physics, Multidisciplinary, 2020: 38/86 IF: 2.524, 2021: 42/86 IF: 2.738, 2022: 42/111 IF:2.7)	M22

V.3Услови дефинисани за ментора у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* за област којој припада докторска дисертација:

Услови дефинисани за ментора у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* су:

Најмање пет радова из уже научне области којој припада и тема предложене докторске дисертације, објављених у претходних десет година у часописима са СЦИ листе.

The requirements for serving as a supervisor, in accordance with the Doctoral Studies Regulations of the University of Novi Sad, are as follows:

At least five publications in the specific scientific field to which the proposed doctoral dissertation topic belongs, published within the previous ten years in journals indexed in the SCI list.

Образложење:

Комисија је мишљења да ванредни проф. др Никша Јаковљевић и проф. др Лука Фаес својим искуством и знањем у области телекомуникација и обраде сигнала, учешћем у истраживањима у оквиру домаћих и међународних пројеката, радовима објављеним у часописима са СЦИ листе и саопштењима на међународним конференцијама, као и сарадњом с привредом испуњава све услове да буду ментори ове дисертације.

The committee is of the opinion that Associate Professor Dr. Nikša Jakovljević and Professor Dr. Luka Faes, through their experience and expertise in the fields of telecommunications and signal processing, their participation in research conducted within national and international projects, their publications in SCI-indexed journals and presentations at international conferences, as well as their collaboration with industry, fully satisfy all requirements to serve as supervisors of this dissertation.

Да ли ментор испуњава услове?

ДА/YES

VI ЗАКЉУЧАК

Тема је подобра	ДА/YES
Кандидат је подобра	ДА/YES
Ментор је подобра	ДА/YES

Образложење о подобности теме, кандидата и ментора (до 500 речи):

На основу достављене документације, комисија је проценила релевантност биографије и библиографије кандидата и ментора (у вези са темом пријављене докторске дисертације), као и досадашње резултате остварене у стручно-научном раду кандидата и ментора. С обзиром да су представљени проблем, циљ истраживања, методологија и фазе рада јасно и концизно објашњени, Комисија доноси следеће закључке:

- Кандидат Иван Лазић је подобра за израду докторске дисертације.
- Тема “Информационо-теоријска декомпозиција значаја обележја” (енг. “Information-theoretic decomposition of feature importance”) кандидата Ивана Лазића је подобра за израду докторске дисертације.
- Ванредни професор др Никша Јаковљевић и професор др Лука Фаес су подобни за менторе предложене докторске дисертације.

Комисија предлаже Наставно научно већу Факултета техничких наука у Новом Саду да се кандидату Ивану Лазићу одобри израда докторске дисертације са насловом “Информационо-теоријска декомпозиција значаја обележја” (енг. “Information-theoretic decomposition of feature importance”) и да се ванредни професор др Никша Јаковљевић и професор др Лука Фаес именују за менторе предложене докторске дисертације.

Based on the submitted documentation, the Committee has evaluated the relevance of the candidate's and supervisors' biographies and bibliographies with respect to the proposed doctoral dissertation topic, as well as the scientific and professional achievements attained by the candidate and supervisors to date. Considering that the research problem, objectives, methodology, and work plan have been presented clearly and concisely, the Committee has reached the following conclusions:

- The candidate, Ivan Lazić, is qualified to undertake a doctoral dissertation.
- The topic entitled “Information-theoretic Decomposition of Feature Importance” proposed by the candidate, Ivan Lazić, is suitable for the doctoral dissertation research.
- Associate Professor Dr. Nikša Jakovljević and Professor Luca Faes are qualified to serve as supervisors of the proposed doctoral dissertation.

The Committee recommends that the Scientific and Teaching Council of the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, approve the preparation of the doctoral dissertation entitled “Information-theoretic Decomposition of Feature Importance” by the candidate, Ivan Lazić, and appoint Associate Professor Dr. Nikša Jakovljević and Professor Dr. Luca Faes as supervisors of the proposed doctoral dissertation.

Место и датум: Нови Сад, 17.07.2026.

1. Др Татјана Грбић, редовни професор
_____, председник

2. Др Дејан Релјић, ванредни професор
_____, члан

3. Др Александра Ж. Јовановић, редовни професор
_____, члан

4. Др Бранко Бркљач, ванредни професор
_____, члан

5. Др Александар Миња, ванредни професор
_____, члан

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.