

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА У КРАГУЈЕВЦУ

И

ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ

УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу одржаној 19.11.2025. године (број одлуке: IV-04-685/9) одређени смо за чланове Комисије за писање Извештаја о оцени научне заснованости теме докторске дисертације под насловом: „Развој и примена метода дубоког учења у изради аутоматизованог система за анализу рендгенских снимака плућа”, и испуњености услова кандидата **Огњена Павића**, мастер инжењера електротехнике и рачунарства и предложеног ментора др **Тијане Героски**, доцент за израду докторске дисертације.

На основу података којима располажемо достављамо следећи:

ИЗВЕШТАЈ

О ОЦЕНИ НАУЧНЕ ЗАСНОВАНОСТИ ТЕМЕ И ИСПУЊЕНОСТИ УСЛОВА
КАНДИДАТА И ПРЕДЛОЖЕНОГ МЕНТОРА
ЗА ИЗРАДУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

1. Подаци о теми докторске дисертације
1.1. Наслов докторске дисертације:
Развој и примена метода дубоког учења у изради аутоматизованог система за анализу рендгенских снимака плућа
1.2. Научна област докторске дисертације:
Електротехничко и рачунарско инжењерство
1.3. Образложење теме докторске дисертације (до 15000 карактера):
1.3.1. Дефинисање и опис предмета истраживања Вештачка интелигенција представља подобласт рачунарства која обједињује методе математике, статистике, информатике и инжењерства у циљу развоја алгоритама способних за аутоматизовано решавање сложених проблема. Њена примена обухвата широк спектар научних и технолошких дисциплина, укључујући инжењерство, економију, медицину, биологију, хемију и бројне друге области, у оквиру којих је могуће вршити напредну анализу, моделирање и доношење одлука. Појава метода дубоког учења (енгл. <i>Deep Learning</i>) омогућила је развој дубоких неуронских мрежа које oponaшају начин на који човек учи, доноси одлуке и исправља грешке.

Примена вештачких неуралних мрежа у обради слике, обухвата класификацију у претходно дефинисане класе, проналажење такозваног скривеног знања у шаблонима на сликама који су комплексни за детекцију и не приметни за људе, као и за сегментацију која омогућава издвајање једног или више карактеристичних региона са слике. За класификацију слика коришћењем метода вештачких неуралних мрежа, потребно је имати на располагању велики број слика за обучавање. Првобитни класификациони модели за обраду слика били су развијани у облику конволуционих неуралних мрежа. Каснија истраживања упарена са напретком технологије произвела су методологију трансформера за ефикаснију анализу релативно великог броја слика. Класификациони модели способни су да доделе једну или више класа сликама на основу стеченог знања током обуке, односно на основу научених веза између улазних слика и њихових ознака додељених од стране експерта. Са друге стране, сегментациони проблеми решавају се коришћењем различитих облика неуралних мрежа специјализованих за обележавање карактеристичних објеката на сликама. Сегментационе мреже за разлику од класификационих, не захтевају ознаку у виду класе слике за обучавање, већ означене маске на основу којих се обележавају карактеристични региони. Додатно, сегментационе мреже способне су да разликују један или више карактеристичних региона на слици тако што сваком пикселу додељују припадност једној од постојећих класа и као резултат производе графички приказ сегментације на ком је сваки од региона представљен на различит начин, на пример, обојен различитом бојом.

Обрада, класификација и сегментација дигиталних слика коришћењем вештачких неуралних мрежа временом постаје све заступљенија у различитим медицинским пољима, која укључују коришћење радиографских слика. Примена вештачке интелигенције у медицини доприноси аутоматизацији мануелних процеса у свакодневној клиничкој пракси, откривању скривеног знања у великим количинама података које није очигледно визуелној инспекцији. Основни модели (енгл. *Foundation models*) развијени коришћењем великог броја података из великог броја различитих извора су од велике важности за превазилажење највећих изазова који постоје у проблемима медицинских истраживања, као што су дуго трајање процеса прикупљања проспективних медицинских података, мали број већ постојећих података о специфичним болестима, мале варијације у локалним подацима клиничких центара и недоступност анотираних података. Основни модели, иако развијани на сликама свакодневних објеката, имају способност препознавања различитих елемената слике научених на великом броју слика. Због овог својства могу се прилагодити специфичном доменском знању и користити у сврхе решавања сложених и специфичних задатака, попут препознавања конкретних медицинских болести.

Респираторне болести представљају најзаступљеније врсте болести широм света и представљају велики изазов у медицинским системима у виду финансијских трошкова, потребног времена дијагностиковања и укупне цене лечења. Неке плућне болести имају велики степен морталитета, а већина и велики степен морбидитета уколико нису откривене на време и уколико се не успостави одговарајућа терапија. Све ово пружа велику мотивацију за развој аутоматизованог система за дијагностиковање плућних болести, како би се смањили временски трошкови и омогућило рано откривање болести. Тренутни проблеми који постоје у области примене дубоког учења у медицини, посебно у свакодневној клиничкој пракси су недовољно добри резултати у виду тачности класификације болести, низак степен поверења корисника према предложеним системским решењима због немогућности потпуне интерпретације и објашњивости целокупног процеса расуђивања, као и недовољан ниво тестирања решења у виду неповољне веродостојности и одсуства примене у релевантном окружењу. Како би се унапредили тренутни резултати из литературе везани за примену вештачке интелигенције у решавању медицинских проблема, као и остварили конкретни резултати, неопходно је осигурати да:

1. Развијено решење достиже задовољавајући степен тачности приликом класификације

у поређењу са резултатима које постижу медицински стручњаци и резултатима постојећих решења у литератури.

2. Развијено решење не сме бити црна кутија, односно, решење мора садржати додатна образложења добијених предвиђања приликом класификације како би се могао доказати поступак доласка до добијених резултата. Осим доделе класе, систем мора садржати начин на који ће дефинисати кориснику степен сигурности у добијено решење, као и разлог доношења одлуке, односно интерпретације и образложења у мери у којој је то могуће урадити.
3. Систем ће бити евалуиран на независним подацима који нису били коришћени приликом обуке алгоритама вештачке интелигенције како би се доказала способност уопштавања приликом сусрета са новим подацима. Приликом тестирања креираних модела потребно је и мишљење стручњака у области који може одредити тачност предвиђања.

У оквиру докторске дисертације биће предложен систем за подршку одлучивању који ће се састојати од више неуронских мрежа примењених на конкретном примеру сегментације плућа са рендгенских снимака и класификације више различитих респираторних болести, а једна од класа ће бити намењена здравим испитаницима. У оквиру рада биће испробано више методологија класификације и сегментације међу којима ће најбољи модели бити изабрани за имплементацију у оквиру коначног система за подршку одлучивању. За израду система биће коришћене најсавременије методе дубоког учења чији ће резултати бити упоређени са постојећим методама и моделима, односно, конволуционим неуронским мрежама, трансформерима и основним моделима. Очекивани резултат предложеног система јесте постизање бољих резултата од методологија доступних у литератури у виду подразумеваних често коришћених метрика класификације и сегментације. Циљ система за подршку одлучивању јесте да убрза дијагностичку процедуру применом аутоматске класификације болести и радиолошких налаза, побољша квалитет рада лекара и побољша ефикасност пружања услуга пацијенту. Циљ система је такође да пружи додатне информације о болести, као што су степен сигурности модела у добијен резултат, исцртану топлотну карту болести на основу тежинских коефицијената класификације као и сегментисан карактеристични регион који могу лекару дати додатне информације приликом доношења одлука.

1.3.2. Полазне хипотезе

На основу дефинисаног циља истраживања и истраживачког рада кандидата као и других аутора у области области, дефинисане су основне хипотезе које се састоје из неколико претпоставки докторске дисертације:

1. Коришћењем неуронских мрежа за сегментацију могуће је са великим степеном тачности издвојити плућа са рендгенског снимка.
2. Могуће је развити систем који комбинује оригиналне слике и предвиђене маске како би се унапредила класификација у односу на резултате у литератури.
3. Аутоматизација дијагностичког процеса може знатно убрзати поступак дијагностиковања респираторних болести из скупа предмета истраживања.
4. Развојем модела коришћењем напредних метода попут примене конволуционих неуронских мрежа, трансформера, ансамбл модела и основних модела прилагођених на специфичним доменским проблемима могуће је унапредити прецизност и тачност класификације респираторних болести пацијената у поређењу са резултатима једног модела.

1.3.3. План рада

Кандидат је план рада на предложеној теми докторске дисертације дефинисао на следећи начин:

1. Преглед литературе: Детаљно проучавање и анализа релевантне литературе и истраживања која су повезана са применом дубоког учења у медицини у општем смислу као и у специфичном случају дијагностиковања плућних болести коришћењем радиолошких налаза у виду рендгенских снимака.
2. Припрема теоријских основа: Проучавање теоријских основа различитих алгоритама дубоког учења и принципа класификације слика (конволуционе неуронске мреже, трансформери, трансферно учење, ансамбл модели, основни модели) као и сегментације слика (енкодер-декодер сегментационе мреже, трансформери за сегментацију, основни модели). Проучавање теоријских основа филтрирања слика.
3. Развој модела дубоког учења: Развој модела за класификацију респираторних болести са рендгенских снимака пацијената као и развој модела за сегментацију плућа са слике коришћењем више различитих савремених метода дубоког учења.
4. Развој додатних модула система за подршку одлучивању: Развој потпуно аутоматске методологије за обраду слика и њихову припрему за покретање развијених модела дубоког учења. Развој модула за објашњавање постигнутих резултата и предвиђених излаза из модела дубоког учења.
5. Верификација постигнутих резултата: Поређење постигнутих резултата класификације болести са златним стандардом и постојећом литературом, као и са резултатима постигнутим у литератури.
6. Валидација постигнутих резултата: Тестирање развијених модела у релевантном окружењу, на реалном скупу података који нису коришћени за обучавање модела. Израчунавање коначних резултата класификације и процена способности уопштавања развијених модела.
7. Публикација резултата научноистраживачког рада докторске дисертације у једном или више часописа категорија M21 и M22, категорисаних у области електротехнике и рачунарства.

1.3.4. Методе истраживања

У оквиру научно-истраживачког рада кандидат је планирао примена савремене научно-истраживачке методологије. Првенствено ће користити рачунарске методе за обраду слика као и методе дубоког учења за обучавање модела класификације и сегментације слика.

У оквиру докторске дисертације планирана је употреба програмског језика Пајтон (енгл. *Python*) и библиотеке потребне за потпуну реализацију система за подршку одлучивању. За развој методологије обраде и анализе слика кандидат ће применити библиотеке *Sci-kit Image* и *OpenCV*. За развој модела дубоког учења кандидат ће употребити библиотеку *Keras*, која представља интерфејс за коришћење *TensorFlow* подлоге. Осим ових библиотека биће примењене додатне библиотеке за рад са вишедимензионалним подацима, исцртавање графика и решавање осталих потреба трансформације и презентације података и резултата истраживања.

Библиотеке за обраду слика нуде многобројне могућности аутоматског филтрирања слика. Применом различитих метода биће извршена припрема података и претпроцесирање како би се извршило једнообразно форматирање и процесирање слика из различитих извора.

Развој неуронских мрежа кандидат ће реализовати применом иновативних метода и прилагођавањем основних модела. Класификациони модели биће обучавани на сликама прикупљеним из јавно доступних база са провереним и веродостојним ознакама, односно анотацијама патолошких промена у оквиру слика. За потребе сегментације кандидат ће прикупити податке из јавно доступних база које садрже парове оригиналних рендгенских

снимака и маски плућа високог квалитета. Тестирање коначних модела биће извршено коришћењем локалних база, прикупљених у виду ретроспективних података за сврхе валидације. Приликом обуке модела класификације и сегментације кандидат ће обратити пажњу на анонимност података односно уклањање свих трагова садржаних у подацима који указују на идентитет пацијента, као и на порекло података. Додатне мере предострожности биће предузете за чување коначних модела у виду тежинских коефицијената како би се онемогућило трагање за оригиналним подацима коришћеним за обучавање и тестирање неуронске мреже, као и метаподацима који указују на идентитете пацијената и медицинске установе у оквиру којих су прикупљени.

Осим претпроцесирања слика и обучавања модела дубоког учења кандидат ће употребити додатне методе брзог и ефикасног рада са вишедимензионим подацима, графички приказ праћења токова обуке и валидације модела, прикупљања тежинских коефицијената и исцртавања топлотних карата на сликама, као и за дефинисање изгледа и формата коначног излаза система у зависности од потреба за примену у клиничкој пракси. У оквиру система за подршку одлучивању биће развијен и модул за такозвано очување интегритета који ће бити задужен за оцењивање квалитета улазних података, њихово поређење са стандардним улазима на којима је систем обучаван и доношење одлуке о дозволи за коришћења коначног модела вештачке интелигенције уколико је утврђено да је податак злонамеран (енгл. *malicious*).

У оквиру израде докторске дисертације кандидат ће применити и методе трансфера, односно преноса знања са претходно обучаваних модела из литературе као и основних модела са циљем поређења резултата са новоразвијеним експерименталним моделима. Осим трансфера знања, током израде модела биће примењене технике коришћења ансамбла, односно удруживања више различитих класификационих модела како би се унапредила успешност предикције.

Етички аспекти: сви учесници истраживања биће детаљно информисани о сврси и циљевима истраживања, као и о начину на који ће њихови подаци бити коришћени. Обезбеђена ће бити потпуна анонимност приликом прикупљања и обраде података, како би се заштитила приватност учесника. Партнерска медицинска институција ће обезбедити одоварајућу етичку дозволу за рад са подацима прикупљеним на пацијентима.

1.3.5. Циљ истраживања

Основни циљ истраживања представља развој иновативне класификационе методологије коришћењем алгоритама машинског учења, са посебним акцентом на примену вештачких неуралних мрежа, као и примена предложене методолошке процедуре за класификацију већег броја респираторних болести пацијената. Резултат истраживања је обједињен аутоматизован систем за подршку одлучивању који на основу рендгенског снимка грудног коша пацијента предлаже одлуку да ли је пацијент здрав или није, а затим, након дијагностиковања болести, означава слику са једном или више болести које су детектоване на том снимку. Секундарни циљ развоја споменутог система за подршку одлучивању јесте пружање додатних информација о слици. Локације на слици које су навеле модел на доношење одлуке биће визуелизоване у виду топлотних карта. Сегментисана целих плућа биће издвојена са слике ради олакшања поступка доношења одлуке медицинског стручњака пружањем боље прегледности рендгенских снимака. Степен сигурности модела за сваку од откривених болести биће приказан како би се повећао ниво поверења у развијени систем од стране како лекара, тако и пацијента.

1.3.6. Резултати који се очекују

Резултати рада представљеног система за подршку одлучивању биће евалуиран на реалном

скупу података сачињеном од рендгенских снимака грудног коша мерених током стандардног медицинског прегледа у релевантном окружењу и верификовани од стране стручњака у области пулмологије, који није претходно коришћен за обучавање алгоритама дубоког учења. Очекивани коначни резултати класификације респираторних болести јесу вредности адекватних класификационих метрика, то јест, прецизности, осетљивости, специфичности и тачности, које су задовољавајуће у поређењу са постигнутим резултатима у тренутно доступној литератури.

1.3.7. Оквирни садржај докторске дисертације са предлогом литературе која ће се користити (до 10 најважнијих извора литературе)

1. Увод - У овом поглављу ће се детаљно разматрати идеја и циљеви истраживања у оквиру предложене теме докторске дисертације. Поред тога, биће дат преглед и анализа постојећег релевантног знања, односно, преглед постојеће литературе из области развоја класификационих и сегментационих модела коришћењем метода дубоког учења као и примене дубоког учења на решавање конкретних проблема обраде биомедицинских слика плућних болести.
2. Медицинска основа респираторних болести у скупу предмета истраживања - У овом поглављу биће описана медицинска позадина проблема, информације о истраживаним респираторним болестима и радиолошким налазима и њиховим физичким карактеристикама забележеним на сликама.
3. Методе претпроцесирања података у виду слика - Опис метода коришћених за припрему слика за обучавање алгоритама дубоког учења. Опис укључује претпроцесирање и унификацију података из различитих извора.
4. Аутоматска сегментација слика - Опис целокупног процеса сегментације слика. Информације о спроведеним експериментима, начину оцењивања, принципима избора коначног модела и улога коначног модела у даљем извршавању процедуре система за подршку одлучивању.
5. Класификација рендгенских снимака плућа - Опис целокупног процеса класификације рендгенских снимака плућа. Информације о развијеним класификационим моделима, као и о начину њиховог упоређивања и коначне селекције. Развој модела са циљем унапређења тачности класификације болести у поређењу са постојећом литературом.
6. Верификација коначних резултата система за подршку одлучивању - Тестирање модула за класификацију и сегментацију на скупу података намењеном верификацији и валидацији коначних резултата. Опис скупа података за тестирање модела. Критеријуми тестирања. Упоређивање са резултатима постигнутим у свакодневној клиничкој пракси у виду тачности предвиђања и времена потребног за извршавање целокупне системске процедуре.
7. Закључна разматрања - У оквиру овог поглавља биће представљени закључци и научни доприноси спроведених истраживања, примењених метода као и правци даљих истраживања и надограње система.
8. Литература - Приказ референци које су коришћене у току израде докторске дисертације.

Полазна литература:

- [1]Xiang Yu, Jian Wang, Qing-Qi Hong, Raja Teku, Shui-Hua Wang, Yu-Dong Zhang, "Transfer Learning for Medical Images Analyses: A Survey", Neurocomputing, vol. 489, 2022, pp. 230-254, <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.08.159> (M21, Computer Science, Artificial Intelligence)
- [2]Linh T. Duong, Phuong T. Nguyen , Ludovico Iovino , Michele Flammini, "Automatic Detection of Covid-19 from Chest X-Ray and Lung Computed Tomography Images using Deep Neural Networks and Transfer Learning", Applied Soft Computing, vol. 132, 2023,

- <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109851> (M21, Computer Science, Artificial Intelligence)
- [3] Alberto Fernandez, Sara del Rio, Nitesh V. Chawla, Francisco Herrera, "An Insight into Imbalanced Big Data Classification: Outcomes and Challenges", *Complex & Intelligent Systems*, 2017, vol. 3, pp. 105-120, <https://doi.org/10.1007/s40747-017-0037-9> (M21, Computer Science, Artificial Intelligence)
- [4] Muhammad Awais, Muzammal Naseer, Salman Khan, Rao Muhammad Anwer, Hisham Cholakkal, Mubarak Shah, "Foundation Models Defining a New Era in Vision: A Survey and Outlook", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2025, vol. 47, pp. 2245-2264, <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2024.3506283> (M21a+, Engineering, Electrical & Electronic)
- [5] Ibomoiye Domor Mienye, Yanxia Sun, "A Survey of Ensemble Learning: Concepts, Algorithms, Applications, and Prospects", *IEEE Access*, 2022, vol. 10, pp. 99129-99149, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3207287> (M21, Engineering, Electrical & Electronic)
- [6] Satheesh Abimannan, El-Sayed M. El-Alfy, Yue-Shan Chang, Shahid Hussain, Saurabh Shukla, Dhivyadharsini Satheesh, "Ensemble Multifeatured Deep Learning Models and Applications: A Survey", *IEEE Access*, 2023, vol. 11, pp. 107194-107217, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3320042> (M21, Engineering, Electrical & Electronic)
- [7] Chunyuan Li, Zhe Gan, Zhengyuan Yang, Jianwei Yang, Linjie Li, Lijuan Wang, Jianfeng Gao, "Multimodal Foundation Models: From Specialists to General-Purpose Assistants", *Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision*, 2024, vol. 16, pp. 1-214, <http://dx.doi.org/10.1561/06000000110> (M21a+, Computer Science, Interdisciplinary Applications)
- [8] Rajpurkar Pranav, Irvin Jeremy, Ball Robyn, Zhu Kaylie, Yang Brandon, et al. "Deep learning for chest radiograph diagnosis: A retrospective comparison of the CheXNeXt algorithm to practicing radiologists", *PLOS Medicine*, vol. 15, 2018 <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002686> (M21a+, Medicine, General & Internal)
- [9] Thi Kieu Khanh Ho, Jeonghwan Gwak, "Multiple Feature Integration for Classification of Thoracic Disease in Chest Radiography", *Applied Sciences*, vol. 9, 2019, <https://doi.org/10.3390/app9194130> (M22, Engineering, Multidisciplinary)
- [10] Vikash Chouhan, Sanjay Kumar Singh, Aditya Khamparia, Deepak Gupta, Prayag Tiwari, Catarina Moreira, Robertas Damaševičius, Victor Hugo C. de Albuquerque, "A Novel Transfer Learning Based Approach for Pneumonia Detection in Chest X-Ray Images", *Applied Sciences*, vol. 10, 2020, <https://doi.org/10.3390/app10020559> (M22, Engineering, Multidisciplinary)
- [11] Yuting He, Fuxiang Huang, Xinrui Jiang, Yuxiang Nie, Minghao Wang, Jiguang Wang, "Foundation Model for Advancing Healthcare: Challenges, Opportunities and Future Directions", *IEEE Reviews on Biomedical Engineering*, vol. 18, 2025, pp. 172-191, <https://doi.org/10.1109/RBME.2024.3496744> (M21a+, Engineering, Biomedical)
- [12] Wasif Khan, Seowung Leem, Kyle B. See, Joshua K. Wong, Shaoting Zhang, Ruogu Fang, "A Comprehensive Survey of Foundation Models in Medicine", *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 2025, pp. 1-22, <https://doi.org/10.1109/RBME.2025.3531360> (M21a+, Engineering, Biomedical)
- [13] Federico Cabitza, Andrea Campagner, "The Need to Separate the Wheat from the Chaff in Medical Informatics: Introducing a Comprehensive Checklist for the (Self)-Assessment of Medical AI Studies", *International Journal of Medical Informatics*, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2021.104510> (M23, Engineering Multidisciplinary)

1.4. Веза са досадашњим истраживањем у овој области уз обавезно навођење до 10 релевантних референци:

Кандидат је ангажован као истраживач-приправник на Институту за информационе технологије, Универзитета у Крагујевцу. Током свог истраживачког рада објавио је једно поглавље у монографији и пет научних радова у међународним часописима категорије M20 од

чега је један рад из категорије M21a, три рада из категорије M21 и један рад из категорије M24. Публиковани радови су из области електротехнике и рачунарства са фокусом на рачунарство и примену иновативних метода вештачке интелигенције, односно машинског учења и вештачких неуралних мрежа, као и рачунарске визије за решавање проблема обраде, класификације и сегментације медицинских слика, као и оптимизације рада са великим количинама података. Кандидат је био ангажован на два научно-истраживачка пројекта Европске уније, у оквиру програма Хоризонт 2020:

1. Систем за подршку одлучивању заснован на вештачкој интелигенцији за стратификацију ризика и рано откривање срчане инсуфицијенције у примарној и секундарној неги (енгл. *Artificial Intelligence-based Decision Support System for Risk Stratification and Early Detection of Heart Failure in Primary and Secondary Care*) – StratifyHF (101080905)
2. Софтвер за дијагностиковање плућних болести на основу рендгенских снимака грудног коша (енгл. *Software for Diagnosis of Lung Diseases from Chest X-Ray Images*) – SoftLungX (101016834)

Досадашња истраживања у области примене вештачке интелигенције са циљем дијагностиковања плућних болести укључивала су рад са конволуционим неуралним мрежама за класификацију слика. Осим примене неуралних мрежа, примењивано је и машинско учење коришћењем додатних информација у виду табелраних података за које је било неопходно извршавање додатних рачунарских тестова и пролазак кроз више медицинских процедура.

У оквиру предложене теме биће искоришћено више савремених експерименталних методологија укључујући, не само конволуционе неуралне мреже како је пре свега присутно у постојећој литератури, већ и новије технике попут трансформера, прилагођених основних модела, трансфер учења и ансамбла, односно удруживања више различитих модела са циљем развоја нових и унапређења постојећих архитектура, као и унапређења резултата класификације слика. За израду предложеног система биће прикупљена свеобухватна база података из јавно доступних база из претходних истраживања. На овај начин ће се обогатити база знања и повећати диверзитет доступних података за обучавање неуронских мрежа. Предложемо систем биће заснован искључиво на коришћењу рендгенских снимака, без потребе за додатним, суплементарним подацима из других модалитета чима се пружа већа ефикасност решења у релевантном окружењу. Посебна пажња биће обрађена на аспектима заштите података и заштите приватности пацијената за шта ће бити развијене посебне процедуре и системске компоненте.

Релевантне референце из области предложене теме докторске дисертације:

1. Tijana Geroski, **Ognjen Pavić**, Lazar Dašić, Dragan Milovanović, Marina Petrović, Nenad Filipović, SoftLungX: Leveraging Transfer Learning with Convolutional Neural Networks for Accurate Respiratory Disease Classification in Chest X-Ray Images, Journal of Big Data, vol. 11, 2024, 146, <https://doi.org/10.1186/s40537-024-01018-0> (M21a, Computer Science, Theory & Methods)
2. Tijana Geroski, Vesna Ranković, **Ognjen Pavić**, Lazar Dašić, Marina Petrović, Dragan Milovanović, Nenad Filipović, Enhancing COVID-19 Disease Severity Classification through Advanced Transfer Learning Techniques and Optimal Weight Initialization Schemes, Biomedical Signal Processing and Control, vol. 100, 2025, 107103, <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2024.107103> (M21 – Engineering, Biomedical)
3. **Ognjen Pavić**, Jorge Barrasa-Fano, Lazar Dašić, Tijana Geroski, Apeksha Shapeti, Hans Van Oosterwyck, Vesna Ranković, Nenad Filipović, Unsupervised Deep Learning Method for Cell Segmentation of Confocal Microscopy Images, 2024 IEEE 24th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE), 2024, pp. 1-7, <https://doi.org/10.1109/BIBE63649.2024.10820479>, (M33)

4. **Ognjen Pavić**, Tijana Geroski, Lazar Dašić, Nenad Filipović, Multilabel Classification Process Optimization of Transfer Learning Approaches Supported by Decision Postprocessing Techniques, Applied Artificial Intelligence 4: Medicine, Biology, Chemistry, Financial Games, Engineering, 2025, pp. 248-255, https://doi.org/10.1007/978-3-031-99201-8_26 (M33)
5. **Ognjen Pavić**, Lazar Dašić, Tijana Geroski, Marijana Stanojević Pirković, Aleksandar Milovanović, Nenad Filipović, Application of Ensemble Machine Learning for Classification Problems on Very Small Datasets, Applied Artificial Intelligence 2: Medicine, Biology, Chemistry, Financial, Games, Engineering, 2024, pp. 108-115, https://doi.org/10.1007/978-3-031-60840-7_15 (M33)

1.5. Оцена научне заснованости теме докторске дисертације:

На основу пријаве теме докторске дисертације и постављеног концепта, Комисија закључује да постоји потреба за развојем, имплементацијом и применом нових техника вештачке интелигенције са конкретном применом у развоју система за подршку одлучивању за дијагностиковање плућних болести употребом фронталних рендгенских снимака грудног коша. Докторска дисертација је усмерена на развој више модела машинског учења, са акцентом употребе вештачких неуралних мрежа за класификацију плућних обољења, сегментацију плућа са слика, као и пропратних модула за објашњавање процеса доношења одлука класификатора, заштиту података и презентацију решења са циљем имплементације и употребе у релеватном клиничком окружењу.

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације, са образложеним предметом и циљевима рада, научним доприносима и очекиваним резултатима, насталим досадашњим самосталним истраживањима и детаљном анализом доступних научних радова у научном и стручном смислу, представља оригиналну идеју.

2. Подаци о кандидату

2.1. Име и презиме кандидата:

Огњен Павић

2.2. Студијски програм докторских академских студија и година уписа:

Докторске академске студије Електротехнике и рачунарства, година уписа 2022.

2.3. Биографија кандидата (до 1500 карактера):

Кандидат је рођен 06.12.1998. године у Крагујевцу, Република Србија.

Основне академске студије на Факултету инжењерских наука, Универзитета у Крагујевцу уписао је 2017. године, а завршио 2021. године на студијском програму Рачунарска техника и софтверско инжењерство. Дипломски рад под називом „Експертски систем за препоруку филмова“ одбранио је са највишом оценом. Мастер академске студије уписао је 2021. године на Факултету инжењерских наука, на студијском програму Електротехника и рачунарство, а мастер академске студије завршио је 2022. године. Одбранио је мастер рад под називом „Стратификација ризика код пацијената са вентрикуларном тахикардијом и хипертрофичном кардиомиопатијом заснована на алгоритмима машинског учења“ одбранио је са највишом оценом. Уписао је докторске академске студије, школске 2022/2023 на Факултету инжењерских наука, Универзитета у Крагујевцу, студијски програм Електротехника и рачунарство.

Кандидат је запослен као истраживач приправник на Институту за информационе технологије, Универзитета у Крагујевцу. Током истраживачког рада учествовао је на међународним пројектима позива Европске уније, програма Хоризонт 2020, *SoftLungX* и *StratifyHF*. Коаутор је 5 научних радова категорије M20, 14 конференцијских радова на међународним конференцијама категорије M30 и једног поглавља у монографији категорије M10. Био је на усавршавању на Универзитету у Јањини, Грчка (2023) и Католичком универзитету у Лувену,

Белгија (2023).

2.4.Преглед научноистраживачког рада кандидата (до 1500 карактера):

Област истраживања кандидата укључује примену вештачке интелигенције и обраде слика и компјутерске визије на решавање конкретних проблема, првенствено у областима медицине и биоинжењеринга. Самостално или у сарадњи са другим ауторима кандидат је објавио укупно 5 радова у међународним или националним часописима категорије M20. Поред тога кандидат има објављено поглавље у монографији категорије M10. Кандидат је активно учествовао или учествује на 3 међународна научна пројекта и на једном пројекту ресорног министарства.

Поглавља у истакнутим монографијама међународног значаја:

1. Ognjen Pavić, Nenad Filipović, Use Case: 3D Coronary Artery Reconstruction for the Purposes of Virtual FFR Calculation, (2024), In Silico Clinical Trials for Cardiovascular Disease, pp. 335-362, https://doi.org/10.1007/978-3-031-60044-9_12

Научни радови публиковани у врхунским часописима међународног значаја [M21a]:

1. Tijana Geroski, Ognjen Pavić, Lazar Dašić, Dragan Milovanović, Marina Petrović, Nenad Filipović, SoftLungX: Leveraging Transfer Learning with Convolutional Neural Networks for Accurate Respiratory Disease Classification in Chest X-Ray Images, Journal of Big Data, vol. 11, 2024, 146, <https://doi.org/10.1186/s40537-024-01018-0>

Научни радови публиковани у међународним часописима изузетне вредности [M21]:

1. Tijana Geroski, Vesna Ranković, Ognjen Pavić, Lazar Dašić, Marina Petrović, Dragan Milovanović, Nenad Filipović, Enhancing COVID-19 Disease Severity Classification through Advanced Transfer Learning Techniques and Optimal Weight Initialization Schemes, Biomedical Signal Processing and Control, vol. 100, 2025, pp. 107103, <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2024.107103>

2. Marijana Stanojević Pirković, Ognjen Pavić, Filip Filipović, Igor Saveljić, Tijana Geroski, Themis Exarchos, Nenad Filipović, Fractional Flow Reserve-based Patient Risk Classification, Diagnostics, vol. 13, 2023, 3349, <https://doi.org/10.3390/diagnostics13213349>

3. Jelena Pavić, Marko Živanović, Irena Tanasković, Ognjen Pavić, Vesna Stanković, Katarina Virijejić, Tamara Mladenović, Jelena Košarić, Bogdan Milićević, Safi Ur Rehman Qamar, Lazar Velicki, Ivana Novaković, Andrej Preveden, Dejana Popović, Miloran Tesić, Stefan Seman, Nenad Filipović, A Machine Learning Approach to Gene Expression in Hypertrophic Cardiomyopathy, Pharmaceuticals, vol. 17, 2024, 1364, <https://doi.org/10.3390/ph17101364>

Научни радови публиковани у часописима међународног значаја верификованог посебном одлуком [M24]:

1. Ognjen Pavić, Lazar Dašić, Tijana Geroski, Mina Vasković Jovanović, Nenad Filipović, Risk Classification for Sudden Cardiac Death in Patients with Hypertrophic Cardiomyopathy based on Machine Learning Algorithms, Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, vol. 17, 2023, pp. 153-165, <https://doi.org/10.24874/jsscm.2023.17.02.11>

Учешће на међународним научним пројектима:

1. European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 101016834 (HOSMARTAI, SoftLungX). Носилац истраживања је Истраживачко Развојни Центар за Биоинжењеринг (BioIRC), Крагујевац.

2. European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grand agreement No 101080905 (StratifyHF), Носилац истраживања је Истраживачко Развојни Центар за Биоинжењеринг (BioIRC), Крагујевац

3. European Union's Horizon Europe research and innovation programme under the grant agreement No 101073878 (EU-CIP Open Call type B) - European Knowledge Hub and Policy Testbed for Critical Infrastructure Protection, Институција – Институт за информационе технологије,

Крагујевац.

Учешће на научним пројектима ресорног министарства:

1. Пројекат позива ПРИЗМА фонда за науку, министарства науке, иновација и технолошког развоја Републике Србије, под уговором број 7580 (INTELHEART), Институција - Институт за информационе технологије, Крагујевац.

2.5.Списак објављених научних радова кандидата из научне области из које се пријављује тема докторске дисертације (аутори, наслов рада, назив часописа, волумен, година објављивања, странице од-до, DOI број¹, категорија):

1. **Ognjen Pavić**, Lazar Dašić, Tijana Geroski, Mina Vasković Jovanović, Nenad Filipović, Risk Classification for Sudden Cardiac Death in Patients with Hypertrophic Cardiomyopathy based on Machine Learning Algorithms, Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, vol. 17, 2023, pp. 153-165, <https://doi.org/10.24874/jsscm.2023.17.02.11> (M24, електротехника, телекомуникације и информационе технологије)
2. Tijana Geroski, **Ognjen Pavić**, Lazar Dašić, Dragan Milovanović, Marina Petrović, Nenad Filipović, SoftLungX: Leveraging Transfer Learning with Convolutional Neural Networks for Accurate Respiratory Disease Classification in Chest X-Ray Images, Journal of Big Data, vol. 11, 2024, 146, <https://doi.org/10.1186/s40537-024-01018-0> (M21a, Computer Science, Theory & Methods)
3. Tijana Geroski, Vesna Ranković, **Ognjen Pavić**, Lazar Dašić, Marina Petrović, Dragan Milovanović, Nenad Filipović, Enhancing COVID-19 Disease Severity Classification through Advanced Transfer Learning Techniques and Optimal Weight Initialization Schemes, Biomedical Signal Processing and Control, vol. 100, 2025, pp. 107103, <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2024.107103> (M21, Engineering, Biomedical)
4. Marijana Stanojević Pirković, **Ognjen Pavić**, Filip Filipović, Igor Saveljić, Tijana Geroski, Themis Exarchos, Nenad Filipović, Fractional Flow Reserve-based Patient Risk Classification, Diagnostics, vol. 13, 2023, 3349, <https://doi.org/10.3390/diagnostics13213349> (M21, Medicine, General & Internal)
5. Jelena Pavić, Marko Živanović, Irena Tanasković, **Ognjen Pavić**, Vesna Stanković, Katarina Virijejić, Tamara Mladenović, Jelena Košarić, Bogdan Milićević, Safi Ur Rehman Qamar, Lazar Velicki, Ivana Novaković, Andrej Preveden, Dejana Popović, Miloran Tesić, Stefan Seman, Nenad Filipović, A Machine Learning Approach to Gene Expression in Hypertrophic Cardiomyopathy, Pharmaceuticals, vol. 17, 2024, 1364, <https://doi.org/10.3390/ph17101364> (M21, Chemistry, Medicinal)
6. **Ognjen Pavić**, Jorge Barrasa-Fano, Lazar Dašić, Tijana Geroski, Apeksha Shapeti, Hans Van Oosterwyck, Vesna Ranković, Nenad Filipović, Unsupervised Deep Learning Method for Cell Segmentation of Confocal Microscopy Images, 2024 IEEE 24th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE), 2024, pp. 1-7, <https://doi.org/10.1109/BIBE63649.2024.10820479>, (M33)
7. **Ognjen Pavić**, Tijana Geroski, Lazar Dašić, Nenad Filipović, Multilabel Classification Process Optimization of Transfer Learning Approaches Supported by Decision Postprocessing Techniques, Applied Artificial Intelligence 4: Medicine, Biology, Chemistry, Financial Games, Engineering, 2025, pp. 248-255, https://doi.org/10.1007/978-3-031-99201-8_26 (M33)
8. **Ognjen Pavić**, Lazar Dašić, Tijana Geroski, Marijana Stanojević Pirković, Aleksandar Milovanović, Nenad Filipović, Application of Ensemble Machine Learning for Classification Problems on Very Small Datasets, Applied Artificial Intelligence 2: Medicine, Biology, Chemistry, Financial, Games, Engineering, 2024, pp. 108-115, https://doi.org/10.1007/978-3-031-60840-7_15 (M33)

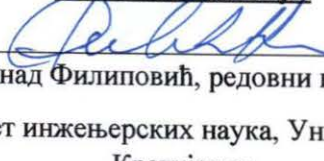
¹ Уколико публикација нема DOI број уписати ISSN и ISBN

9. Ognjen Pavić, Lazar Dašić, Tijana Geroski, Anđela Blagojević, Nenad Filipović, The Importance of Genetic and Clinical Data Features in Risk Stratification of Patients with Hypertrophic Cardiomyopathy, Disruptive Information Technologies for a Smart Society, 2023, pp:64-72, https://doi.org/10.1007/978-3-031-50755-7_7 (M33) 10. Ognjen Pavić, Lazar Dašić, Tijana Geroski, Nenad Filipović, A Fully Automated Approach to Preprocessing and Segmentation of Coronary Arteries in X-Ray Angiography Images, 10th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN), 2023, pp. 1-5, https://doi.org/10.1109/IcETRAN59631.2023.10192242 (M33)
2.6. Оцена испуњености услова кандидата у складу са студијским програмом, општим актом факултета и општим актом Универзитета (до 1000 карактера): Кандидат је испунио све услове неопходне за пријаву докторске дисертације у складу са условима студијског програма, општим актом Факултета инжењерских наука и општим актом Универзитета у Крагујевцу и испунио све обавезе које су предвиђене наставним планом и програмом докторских академских студија.
3. Подаци о предложеном ментору
3.1. Име и презиме предложеног ментора:
Др Тијана Героски, доцент
3.2. Звање и датум избора:
Доцент, датум избора: 17.05.2023.
3.3. Научна област/ужа научна област за коју је изабран у звање:
Машинско инжењерство / Примењена информатика у инжењерству
3.4. НИО у којој је запослен:
Факултет инжењерских наука, Универзитета у Крагујевцу
3.5. Списак референци којима се доказује испуњеност услова за ментора у складу са Стандардом 9 (аутори, наслов рада, назив часописа, волумен, година објављивања, странице од-до, DOI број, категорија):
1. Geroski, T., Pavić, O., Dašić, L., Milovanović, D., Petrović, M., & Filipović, N., SoftLungX: Leveraging Transfer Learning With Convolutional Neural Networks for Accurate Respiratory Disease Classification in Chest X-Ray Images. Journal of Big Data, 2024, vol. 11, pp. 146. https://doi.org/10.1186/s40537-024-01018-0 (M21a, Computer Science, Theory & Methods) 2. Geroski, T., Jakovljević, D., & Filipović, N., Big Data in Multiscale Modelling: From Medical Image Processing to Personalized Models. Journal of Big Data, 2023, vol. 10, pp. 1-22. ISSN: 2196-1115, https://doi.org/10.1186/s40537-023-00763-y (M21a, Computer Science, Theory & Methods) 3. Šušteršič, T., Ranković, V., Milovanović, V., Kovačević, V., Rasulić, L., & Filipović, N., A Deep Learning Model for Automatic Detection and Classification of Disc Herniation in Magnetic Resonance Images. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics., 2022, vol. 26, pp. 6036-6046, https://doi.org/10.1109/JBHI.2022.3209585 (M21a, Computer Science, Information Systems) 4. Blagojević, A., Šušteršič, T., Lorencin, I., Baressi Šegota, S., Anđelić, N., Milovanović, D., Baskić, D., Baskić, D., Zdravković Petrović, N., Sazdanović, P., Car, Z., Filipović, N., Artificial intelligence approach towards assessment of condition of COVID-19 patients – Identification of predictive biomarkers associated with severity of clinical condition and

5.	disease progression. Computers in Biology and Medicine. 2021, vol. 138, pp. 104869. https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2021.104869 (M21, Computer Science, Interdisciplinary Applications) Šušteršič T., Ranković V., Peulić M., Peulić A., An Early Disc Herniation Identification System for Advancement in the Standard Medical Screening Procedure based on Bayes Theorem, IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 2020, vol. 24, pp. 151-159. https://doi.org/10.1109/JBHI.2019.2899665 (M21a, Computer Science, Information Systems)
3.6.	Списак референци којима се доказује компетентност ментора у вези са предложеном темом докторске дисертације (аутори, наслов рада, назив часописа, волумен, година објављивања, странице од-до, DOI број, категорија):
1. 2. 3. 4. 5.	Geroski, T., Ranković, V., Pavić, O., Dašić, L., Petrović, M., Milovanović, D., & Filipović, N., Enhancing COVID-19 disease severity classification through advanced transfer learning techniques and optimal weight initialization schemes. Biomedical Signal Processing and Control, 2024, vol. 100, pp. 107103. https://doi.org/10.1016/j.bspc.2024.107103 (M21, Engineering, Biomedical) Geroski, T., Pavić, O., Dašić, L., Milovanović, D., Petrović, M., & Filipović, N., SoftLungX: leveraging transfer learning with convolutional neural networks for accurate respiratory disease classification in chest X-ray images. Journal of Big Data, 2024, vol. 11, pp. 146. https://doi.org/10.1186/s40537-024-01018-0 (M21, Computer Science, Theory & Methods) Geroski, T., Jakovljević, D., & Filipović, N., Big Data in multiscale modelling: from medical image processing to personalized models. Journal of Big Data, 2023, vol. 10, pp. 1-22. ISSN: 2196-1115, https://doi.org/10.1186/s40537-023-00763-y (M21a, Computer Science, Theory & Methods) Blagojević, A., Šušteršič, T., Lorencin, I., Baressi Šegota, S., Anđelić, N., Milovanović, D., Baskić, D., Baskić, D., Zdravković Petrović, N., Sazdanović, P., Car, Z., Filipović, N., Artificial intelligence approach towards assessment of condition of COVID-19 patients – Identification of predictive biomarkers associated with severity of clinical condition and disease progression. Computers in Biology and Medicine. 2021, vol. 138, pp. 104869. https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2021.104869 (M21, Computer Science, Interdisciplinary Applications) Šušteršič, T., Blagojević, A., Cvetković, D., Cvetković, A., Lorencin, I., Baressi Šegota, S., Milovanović, D., Baskić, D., Car, Z., Filipović, N., Epidemiological Predictive Modeling of COVID-19 Infection: Development, Testing, and Implementation on the Population of the Benelux Union. Frontiers in Public Health. 2021, vol. 9, pp. 1567. https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.727274 (M21, Environmental & Occupational Health)
3.7.	Да ли се предложени ментор налази на Листи ментора акредитованог студијског програма ДАС?
	ДА
3.8.	Оцена испуњености услова предложеног ментора у складу са студијским програмом, општим актом факултета и општим актом Универзитета (до 1000 карактера):
	Предложени ментор испуњава све услове у складу са студијским програмом, општим актом Факултета инжењерских наука и општим актом Универзитета у Крагујевцу.
4. Подаци о предложеном коментору	
4.1.	Име и презиме предложеног коментора:
	[унос]

4.2. Звање и датум избора:
[унос]
4.3. Научна област/ужа научна област за коју је изабран у звање:
[унос]
4.4. НИО у којој је запослен:
[унос]
4.5. Списак референци којима се доказује испуњеност услова коментора у складу са Стандардом 9 (аутори, наслов рада, назив часописа, волумен, година објављивања, странице од-до, DOI број*, категорија):
[унос]
4.6. Списак референци којима се доказује компетентност коментора у вези са предложеном темом докторске дисертације (аутори, наслов рада, назив часописа, волумен, година објављивања, странице од-до, DOI број, категорија):
[унос]
4.7. Да ли се предложени коментор налази на Листи ментора акредитованог студијског програма ДАС?
[изаберите]
4.8. Оцена испуњености услова предложеног коментора у складу са студијским програмом, општим актом факултета и општим актом Универзитета (до 1000 карактера):
[унос]
5. ЗАКЉУЧАК
На основу анализе приложене документације Комисија за писање извештаја о оцени научне заснованости теме и испуњености услова кандидата и предложеног ментора предлаже да се кандидату Огњену Павићу одобри израда докторске дисертације под насловом „Развој и примена метода дубоког учења у изради аутоматизованог система за анализу рендгенских снимака плућа” и да се за ментора именује др Тијана Героски, доцент.

Чланови комисије:



др Ненад Филиповић, редовни професор
Факултет инжењерских наука, Универзитет у
Крагујевцу

Машинско Инжењерство/Примењена механика,
Примењена информатика и рачунарско
инжењерство

Председник комисије


др Надина Миљковић, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички
факултет

Електротехничко и рачунарско
инжењерство/Биомедицинска техника

Члан комисије

др Милан Чабаркапа, доцент

Факултет инжењерских наука, Универзитет у
Крагујевцу

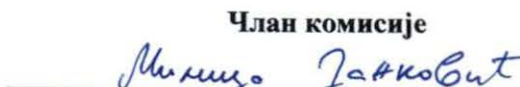
Електротехничко и рачунарско
инжењерство/Електротехника и рачунарство

Члан комисије

др Марина Петровић, редовни професор

Факултет медицинских наука, Универзитет у
Крагујевцу

Медицинске науке/Интерна медицина

Члан комисије

др Милица Јанковић, редовни професор

Универзитет у Београду - Електротехнички
факултет

Електротехничко и рачунарско
инжењерство/Биомедицинска Техника

Члан комисије