

**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 18.2.2026. године (број одлуке: IV-04-71/3) одређени смо за чланове Комисије за писање Извештаја о оцени научне заснованости теме докторске дисертације под насловом: „Мултимодална интеграција медицинских снимака и клиничких података заснована на дубоком учењу за предвиђање клиничког тока и исхода болести кичменог стуба”, и испуњености услова кандидата **Анђеле Благојевић**, мастер инжењера електротехнике и рачунарства и предложеног ментора др **Тијане Героски**, доцента 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:
Мултимодална интеграција медицинских снимака и клиничких података заснована на дубоком учењу за предвиђање клиничког тока и исхода болести кичменог стуба
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
Технолошки напредак у области вештачке интелигенције омогућио је трансформацију начина на који се медицински подаци анализирају и обрађују. Модели дубоког учења данас представљају кључни алат у анализи медицинских слика, нудећи степен тачности и брзине који превазилази могућности традиционалних метода. Клинички центри широм света свакодневно генеришу велике количине снимака добијених компјутеризованом томографијом (енгл. <i>computed tomography</i> , скр. <i>CT</i>) и магнетном резонантном томографијом (енгл. <i>magnetic resonance imaging</i> , скр. <i>MRI</i>), што намеће потребу за аутоматизованим и скалабилним

системима који могу да подрже лекаре у детекцији, процени и праћењу различитих патолошких стања. Управо савремени алгоритми дубоког учења омогућавају значајно унапређење клиничког тока рада и бржу дијагностику.

Један од најкомплекснијих и најчешћих клиничких изазова везан је за анализу кичменог стуба, тј. дегенеративних обољења кичменог стуба. Кичма представља централну потпору тела чија дегенерација, деформација или повреда може довести до хроничног бола, ограничене покретљивости, неуролошких симптома и значајног пада квалитета живота. Због високе учесталости дегенеративних обољења кичме и изложености истим пре свих радно способне популације, ова обољења представљају огромни социоекономски проблем савременог света. Дијагнозе као што су дегенерација дискова, стеноза, протрузије, спондилолистеза, фрактуре и слично у великој мери се ослањају на преглед медицинских снимака од стране лекара специјалиста, што представља процес који је субјективан, временски захтеван и често подложен варијабилности између различитих радиолога.

Иако постоје значајни резултати у аутоматској сегментацији кичме, већина досадашњих истраживања фокусира се или на издвајање само пршљенова или само интервертебралних дискова. Такође, већина технологија се зауставља на нивоу сегментације, без даље екстракције квантитативних геометријских и текстурних параметара који су кључни за дијагностику дегенеративних обољења. У клиничкој пракси, управо је мултипараметарска анализа кичме пресудна за формулисање тачне дијагнозе.

Циљ ове дисертације је развој аутоматизованог система за анализу дегенеративних болести кичменог стуба, који обухвата сегментацију пршљенова и интервертебралних дискова, класификацију дегенеративних промена на нивоу сваког сегмента и реконструкцију анатомског 3Д модела. Поред анализе медицинских снимака и екстракције квантитативних параметара, коначни излаз система биће аутоматски генерисан лекарски извештај, формиран применом великих језичких модела (енгл. *Large Language Models*, скр. *LLM*), на основу резултата сегментације, 3Д реконструкције и класификације дегенеративних промена. На овај начин, систем би могао значајно да убрза клинички ток рада, смањи варијабилност у интерпретацији снимака, омогући раније откривање патолошких промена и пружи подршку лекарима у доношењу одлука заснованих на квантитативним параметрима уместо само визуелне процене. Генерисани лекарски извештај представља помоћни излаз система и не замењује клиничку процену лекара специјалисте.

Различити облици података који се користе у истраживању, укључујући медицинске слике и параметре добијене из 3Д реконструкције, захтевају примену посебно дизајнираних техника машинског и дубоког учења, прилагођених њиховим структурним и семантичким карактеристикама. Током истраживања биће тестирани различити модели, почев од класичних алгоритама машинског учења, преко конволуционих неуронских мрежа за анализу медицинских слика, трансформерских архитектура, до основних модела (енгл. *foundation models*).

У оквиру завршне фазе обраде биће примењене технике које укључују комбиновање одлука ради интеграције података у један предиктивни систем. Перформансе модела биће валидиране коришћењем стандардних метрика за сегментацију и класификацију, уз поређење са експертским радиолошким налазима како би се обезбедила поузданост и примењивост у клиничкој пракси. Посебна пажња биће посвећена развоју робусних модела отпорних на мале, структурисане поремећаје улазних података, а систем ће бити додатно ојачан применом техника попут опонентске обуке (енгл. *adversarial training*) ради постизања стабилности и поузданости у реалним условима.

1.3.2. Полазне хипотезе

Полазећи од дефинисаног циља истраживања и анализе истраживачког рада кандидата и других аутора у релевантној области, дефинисане су основне хипотезе докторске дисертације, састављене од више претпоставки:

1. Напредни модели дубоког учења могу обезбедити висок степен тачности у сегментацији пршљенова и интервертебралних дискова.
2. Аутоматски генерисан 3Д модел показује минимално одступање у односу на мануелно генерисан модел.
3. Параметри добијени из 3Д реконструкције кичме могу квантитативно описати структурне и дегенеративне промене на нивоу сваког сегмента.
4. Комбиновање параметара добијених класификацијом медицинских слика и података из 3Д модела може обезбедити боље резултате у односу на моделе који анализирају само један тип података.
5. Лекарски извештај аутоматски генерисан применом великих језичких модела може да обезбеди структуриран и стандардизован опис промена кичменог стуба, упоредив са експертским клиничким налазима.

1.3.3. План рада

Кандидат је план истраживања у оквиру предложене теме докторске дисертације дефинисао на следећи начин:

1. Преглед литературе – Истраживање и анализа релевантне литературе из области анализе медицинских слика, 3Д реконструкције, класичних и дубоких модела машинског учења за класификацију, као и великих језичких модела за генерисање текстуалних извештаја. Посебна пажња биће посвећена постојећим радовима у области безбедности модела дубоког учења.
2. Теоријска основа – Проучавање теоријских основа метода сегментације медицинских слика, техника за 3Д реконструкцију и екстракцију морфолошких и геометријских параметара, теоријских основа модела машинског учења и савремених конволуционих архитектура, као и модела заснованих на трансформерима. Додатно, биће проучени велики језички модели неопходни за генерисање текстуалних лекарских извештаја, као и концепти опонентских напада (енгл. *adversarial attacks*) и метода за унапређење робусности модела.
3. Претпроцесирање података – Припрема медицинских снимака за сегментацију, стандардизација података, генерисање маски пршљенова и дискова, реконструкција 3Д модела, екстракција геометријских и морфометријских параметара. Паралелно, извршиће се претпроцесирање доступних лекарских извештаја. Биће припремљени и сетови података за тестирање робусности модела у присуству опонентских примера.
4. Развој модела – Развој и имплементација модела дубоког учења за сегментацију пршљенова и интервертебралних дискова, као и развој модела за 3Д реконструкцију и класификацију дегенеративних промена кичменог стуба. Биће развијен мултимодални систем који интегрише резултате сегментације, 3Д анализе и класификације у јединствени предиктивни оквир. Поред тога, у оквиру ове фазе биће развијен генеративни модул заснован на великим језичким моделима, чији је задатак аутоматско формирање структурираног лекарског извештаја на основу излазних параметара система. Биће тестиран широк спектар алгоритама, од класичних модела (нпр. *XGBoost*, *Random Forest*), преко конволуционих архитектура и модела заснованих на трансформерима. У оквиру ове фазе биће спроведена и анализа робусности модела кроз генерисање опонентских примера и примена техника попут опонентске обуке ради повећања стабилности и поузданости система.
5. Анализа резултата – Валидација сегментационих модела (коэффициент преклапања (енгл. *Intersection over Union*, скр. *IoU*), Dice коэффициент сличности и слично), валидација класификационих модела (тачност, прецизност, F_1 оцена, итд.), као и анализа стабилности и способности уопштавања модела на независним подацима. Поређење добијених резултата са постојећим радовима из литературе и анализирање доприноса сваког модалитета на укупне перформансе система.

6. Робусност модела – Биће процењена робусност модела у присуству опонентских напада, као и ефикасност примењених техника детекције и одбране у циљу постизања поузданог и клинички применљивог система.
7. Објављивање резултата истраживања – Резултати истраживања ове докторске дисертације биће представљени у виду научних радова објављених у часописима категорија M21, M22 или M23, у научној области електротехничког и рачунарског инжењерства (КоБСОН категорија *Engineering, Electrical & Electronic* и *Computer Science*). Део резултата биће такође представљен на релевантним међународним конференцијама.

1.3.4. Методе истраживања

У сврху научно-истраживачког рада биће примењене савремене технике анализе медицинских слика, машинског и дубоког учења, као и генеративни модели засновани на великим језичким моделима, уз паралелну анализу робусности модела. За сегментацију пршљенова и интервертебралних дискова користиће се напредне архитектуре дубоког учења, укључујући конволуционе моделе, хибридне структуре засноване на трансформерима, као и основни модели са циљем добијања прецизних маски анатомских структура. За имплементацију модела дубоког учења биће коришћени *PyTorch* или *TensorFlow*, у зависности од комплексности архитектуре и оптимизационих потреба. На основу добијених сегментисаних слика биће конструисан 3Д модел применом традиционалних техника као што су *marching cubes*, екстракција површинске мреже (енгл. *surface mesh extraction*) и савремених попут *Segment Anything 3* (скр. *SAM 3*) модела. Након 3Д реконструкције биће извршено издвајање морфометријских и геометријских параметара као што су запремина, површина, закривљеност и просторни односи између сегмената. Добијени параметри из 3Д модела и параметри добијени из класификације слика биће интегрисани у јединствени аналитички оквир.

Да би се обезбедила стабилност и поузданост модела у реалним условима, биће спроведена анализа робусности система применом различитих опонентских техника, које се користе као апроксимација најгорег сценарија у погледу осетљивости модела на мале, али систематске поремећаје улазних *MRI* снимака. Напади се примењују на улазне слике пре фазе сегментације, при чему се анализира њихов утицај на тачност сегментације, стабилност израчунатих морфометријских параметара и резултате класификације дегенеративних промена. Ефекти напада ће бити квантификовани кроз промене стандардних метрика, као и кроз утицај на коначна предвиђања система. Ови напади не симулирају злонамерног корисника у клиничком окружењу, већ служе као алат за процену робусности модела у условима који одговарају реалним деградацијама *MRI* снимака, насталим услед присутног шума и варијација између уређаја различитих произвођача. У оквиру ове анализе биће испитана и могућност опонентског обучавања као вида регуларизације модела.

Етички аспект истраживања: Сви подаци који ће бити коришћени у оквиру ове докторске дисертације биће прикупљени и обрађени у складу са важећим етичким стандардима и релевантним законским прописима. У истраживању ће бити употребљени искључиво анонимизовани подаци, без могућности идентификације пацијената.

1.3.5. Циљ истраживања

Основни циљ истраживања је развој напредног аутоматизованог система за анализу кичменог стуба који обједињује сегментацију анатомских структура, тродимензионалну реконструкцију и класификацију дегенеративних промена. На основу различитих врста улазних података медицинских слика и параметара добијених из 3Д модела биће развијени специјализовани модели чији је задатак да омогуће поуздану процену стања кичме, како на нивоу појединачног сегмента, тако и на глобалном нивоу. На овај начин тежи се развоју система који може да подржи и убрза клиничку дијагностику, смањи потребу за ручном анализом слика, и обезбеди стандардизовану процену тежине, тј. градације дегенеративних промена.

Поред сегментације пршљенова и интервертебралних дискова, посебан фокус биће на екстракцији морфометријских и геометријских параметара из 3Д реконструкција, који квантитативно описују структурне и дегенеративне промене. Интеграцијом ових параметара са резултатима класификације дегенеративних промена формира се мултимодални систем, чији се излази користе као основа за аутоматско генерисање структурираног лекарског извештаја применом великих језичких модела.

Осим развоја основних модула, један од циљева је и обезбеђивање стабилности и поузданости система у реалним условима применом техника заштите и анализа отпорности модела на опонентске нападе, како би се спречиле погрешне интерпретације и одлуке настале услед деградације улазних података. На крају, очекивани исход истраживања је систем који може да служи као поуздана подршка клиничарима, допунски алат у дијагностици и средство за идентификацију дегенеративних промена кичме. Потенцијал овог система лежи у томе да се унапреди квалитет клиничке праксе и смањи варијабилност у процени пацијената.

1.3.6. Резултати који се очекују

По завршетку истраживања очекује се развој прецизног мултимодалног система који омогућава тачну сегментацију анатомских структура, 3Д реконструкцију кичменог стуба и поуздану класификацију дегенеративних промена. Очекују се следећи резултати:

1. Сегментациони модели са високим метрикама (*Dice, IoU*), упоредивим или супериорним у односу на постојеће резултате из литературе.
2. 3Д морфометријски параметри који верно описују структурална одступања и корелирају са клиничким налазима.
3. Класификациони модел који прецизно идентификује тип дегенерације на нивоу сегмента.
4. Генеративни модел способан да на основу резултата сегментације, 3Д реконструкције и класификације, аутоматски формира структуриран и клинички релевантан лекарски извештај о стању кичменог стуба.

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

1. Увод – Ово поглавље ће детаљно представити идеје, мотивацију и научни значај предложеног истраживања. Биће обухваћена анализа постојеће литературе и посебан акценат биће на идентификовању ограничења постојећих приступа и потреби за развојем мултимодалног система.
2. Анатомска и клиничка позадина – Ово поглавље ће описати анатомску структуру кичменог стуба, улогу пршљенова и интервертебралних дискова, најчешће дегенеративне процесе и клиничке методе дијагностике. Биће објашњено зашто је аутоматизована анализа медицинских слика важна и како може подржати стручњаке у процени болести.
3. Анализа и припрема података – Ово поглавље ће детаљно представити све врсте података који ће бити коришћени: медицински снимци кичме, маске за сегментацију, 3Д реконструкције добијене из сегмената и текстуалне извештаје лекара. Биће описани кораци претпроцесирања, укључујући нормализацију слика, сегментацију циљне области, конструисање 3Д модела, као и чишћење и припрему текстуалних лекарских извештаја. Референтни лекарски извештаји биће претпроцесирани у циљу стандардизације и припреме за евалуацију квалитета аутоматски генерисаних извештаја. Клинички подаци о даљем току и исходу лечења ће такође бити сакупљени и бити корелирани са будућим генерисаним извештајем.
4. Развој модела машинског и дубоког учења за сегментацију анатомских структура – У овом поглављу биће описан развој модела дубоког учења за сегментацију пршљенова и интервертебралних дискова. Биће представљени модели засновани на *U-Net* архитектури, архитектуре засноване на трансформерима и основни модели. Ово поглавље ће служити као основа за каснију 3Д реконструкцију и класификацију дегенеративних промена.

5. 3Д реконструкција и екстракција морфометријских и геометријских параметара – Ово поглавље ће објаснити процес формирања 3Д модела. Биће описано како се из реконструисаних структура израчунавају параметри као што су запремина, висина диска, закривљеност, просторни односи и други индикатори дегенерације.
6. Генерисање и евалуација лекарских извештаја заснованих на великим језичким моделима – У овом поглављу биће представљен приступ аутоматском генерисању структурираног лекарског извештаја применом великих језичких модела, на основу резултата сегментације, 3Д реконструкције и класификације дегенеративних промена кичменог стуба. Биће описан начин стандардизације улазних параметара и њихово мапирање у текстуални излаз прилагођен клиничкој пракси. Поред тога, биће дефинисан поступак евалуације квалитета генерисаних извештаја коришћењем референтних (енгл. *ground truth*) лекарских извештаја, укључујући поређење садржаја, терминолошке усклађености и структуре текста. Квалитет генерисаних извештаја биће процењиван применом стандардних метрика за евалуацију текста, као и експертском проценом, ради провере клиничке релевантности генерисаног излаза.
7. Мултимодални систем – Ово поглавље ће описати мултимодални систем који интегрише све поменуте параметре у јединствени аналитички оквир. Излаз овог мултимодалног система представљаће улаз за генеративни модул заснован на великим језичким моделима, чији је циљ аутоматско формирање структурираног лекарског извештаја. Биће разматране различите стратегије мултимодалне интеграције, као и њихов утицај на тачност анализе и квалитет генерисаног текстуалног излаза.
8. Анализа робусности, отпорности модела и утицаја опонентских напада – Ово поглавље ће обухватити испитивање стабилности модела применом различитих опонентских техника и детекције аномалија. Биће анализиран утицај поменутих техника на мултимодални систем.
9. Верификација коначних резултата – Ово поглавље ће објаснити поступак валидације сегментационих и класификационих модела, као и мултимодалног система. Биће представљени резултати поређења са стручним радиолошким налазима, као и анализа перформанси у односу на постојеће методе из литературе.
10. Закључак – Поглавље ће сумирати кључне резултате и научни допринос дисертације. Дискутоваће се значај предложеног система, његова примењивост у клиничкој пракси и могући правци будућих истраживања.
11. Литература – Преглед и списак референци коришћених у докторској дисертацији.

Полазна литература:

- [1] Natarajan, S., Humbert, L., González Ballester, M., Learning high-resolution 3D spine mesh reconstruction from clinical anisotropic MRI through differentiable rendering, *Expert Systems with Applications*, 2025, 130403, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.130403> (M21a - Engineering, Electrical & Electronic)
- [2] Tang, H., Pei, X., Huang, S., Li, X., Liu, C., Automatic Lumbar Spinal CT Image Segmentation With a Dual Densely Connected U-Net, *IEEE Access*, vol. 8, 2020, 89228-89238, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2993867> (M21 - Engineering, Electrical & Electronic)
- [3] Ulutas, H., Erkoc, M. F., Ozbay, E., Sahin, M. E., Karakus, M. O., Yuce, E., Automated Lumbar Disc Intensity Classification From MRI Scans Using Region-Based CNNs and Transformer Models. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, vol. 35, 2025, 6, e70229, <https://doi.org/10.1002/ima.70229> (M22 - Engineering, Electrical & Electronic)
- [4] Tao, R., Liu, W., Zheng, G., Spine-transformers: Vertebra labeling and segmentation in arbitrary field-of-view spine CTs via 3D transformers, *Medical Image Analysis*, 75, 2022,

102258, <https://doi.org/10.1016/j.media.2021.102258> (M21a - Computer Science, Artificial Intelligence)

- [5] Nozawa, K., et al. Magnetic resonance image segmentation of the compressed spinal cord in patients with degenerative cervical myelopathy using convolutional neural networks, *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, vol. 18, 2023, 1, 45-54, <https://doi.org/10.1007/s11548-022-02783-0> (M22 - Engineering, Biomedical)
- [6] Batool, S. H., Liaquat, N., Khawaja, S. G., Alghamd, N. S., Akram, M. U., Transformer based spinal vertebrae localization and scoliosis curvature classification. *Scientific Reports*, 15, 2025, 1, 33357, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-16968-5> (M21 - Multidisciplinary Sciences)
- [7] Zhao, M., Meng, N., Cheung, J. P. Y., Yu, C., Lu, P., Zhang, T., SpineHRformer: a transformer-based deep learning model for automatic spine deformity assessment with prospective validation. *Bioengineering*, 10, 2023, 11, 1333, <https://doi.org/10.3390/bioengineering10111333> (M22 Engineering, Biomedical)
- [8] Krebs, B., Nataraj, A., McCabe, E., Clark, S., Sufiyan, Z., Yamamoto, S. S., Gross, D. P., Developing a triage predictive model for access to a spinal surgeon using clinical variables and natural language processing of radiology reports, *European Spine Journal*, 2023, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00586-023-07552-4> (M22 - Clinical Neurology)
- [9] Galbusera, F., Cina, A., Bassani, T., Panico, M., Sconfienza, L. M., Automatic diagnosis of spinal disorders on radiographic images: leveraging existing unstructured datasets with natural language processing, *Global spine journal*, 13, 2023, 5, 1257-1266, <https://doi.org/10.1177/21925682211026910> (M22 - Clinical Neurology)
- [10] Yeasin, M., Moinuddin, K. A., Havugimana, F., Wang, L., Park, P., Auto-rad: End-to-end report generation from lumbar spine mri using vision-language model, *Journal of Clinical Medicine*, 13, 2024, 23, 7092, <https://doi.org/10.3390/jcm13237092> (M21 - Medicine, General & Internal)

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

Кандидат је тренутно запослен као стручни сарадник на Факултету инжењерских наука, Универзитета у Крагујевцу. Током свог истраживачког рада објавио је 9 радова у научним часописима, од тога је 5 радова категорије M21. Такође аутор је и 20 конференцијских радова категорије M30 и једног поглавља у монографији категорије M13. Публиковани радови су из области рачунарства са фокусом на примену метода машинског учења и неуронских мрежа за решавање проблема обраде, класификације и сегментације медицинских слика, као и за анализу других типова биомедицинских података. Кандидат је до сада био ангажован на неколико научно-истраживачких пројеката:

1. Програм Хоризонт 2020 – „In silico испитивања лекова ради праћења ефеката мутација саркомерних протеина које доводе до фамилијарне кардиомиопатије“ (енгл. *In Silico trials for drug tracing the effects of sarcomeric protein mutations leading to familial cardiomyopathy – SILICOFCM*), број пројекта 777204
2. Програм финансиран од стране Централноевропске иницијативе – „Примена регресионих метода вештачке интелигенције и машинског учења у моделовању ширења КОВИД-19“ (енгл. *Use of Regressive Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) Methods in Modelling of COVID-19 Spread – COVIDAI*), број пројекта 305.6019-20
3. Програм ПРИЗМА – „Систем за подршку одлучивању заснован на вештачкој интелигенцији за рану и прецизну дијагнозу срчане слабости“ (енгл. *Artificial INTELLIGENCE-based Decision Support System for Early and Accurate Diagnosis of HEART Failure – INTELHEART*), број пројекта 7580

4. Програм сарадње између Србије и Италије – „Дегенеративна цервикална мијелопатија: Имплементација лечења путем периоперативне неурофизиологије, симулације и моделирања уз интеграцију вештачке интелигенције“ (енгл. *Degenerative cervical myelopathy: Treatment implementation through perioperative neurophysiology, simulation and modelling with AI integration – DCM-modeling*).

Досадашња истраживања у области вештачке интелигенције усмерена на болести кичменог стуба углавном су се фокусирали на развој модела за класификацију и сегментацију медицинских слика, најчешће уз коришћење стандардних конволуционих неуронских мрежа. Постоји и ограничен број радова где су анализирани табеларни клинички подаци или текстуални извештаји. Истовремено, значајан део литературе је показао да су овакви модели подложни опонентским нападима који могу довести до погрешних дијагностичких закључака и угрозити сигурност пацијента. Претходни аутори су углавном анализирали рањивост у појединачним модалитетима, најчешће у домену радиолошких слика, док су мултимодални системи ретко били предмет истраживања. Ова дисертација се надовезује на сва постојећа запажања и резултате, међутим предложени приступ уводи неколико новина. Уместо анализе једног модалитета спроводи се интегрална процена стања кичменог стуба са више различитих извора медицинских података. Док су претходни радови користили стандардне конволуционе архитектуре, овај систем укључује трансформере и прилагођене основне моделе који омогућавају дубљу анализу. Посебан допринос предложеног истраживања огледа се у употреби великих језичких модела за аутоматско генерисање структурираног лекарског извештаја на основу параметара мултимодалног система, при чему се постојећи клинички извештаји користе као референтни подаци за обуку и евалуацију квалитета генерисаног текста. Додатно, уводи се свеобухватна анализа робусности која обухвата различите типове дегенерације улазних података и испитивање њиховог утицаја на све компоненте система. На тај начин, предложена дисертација не само да надограђује постојећа сазнања, већ уводи нови оквир за процену поузданости, интерпретабилности и клиничке применљивости мултимодалних система у анализи болести кичменог стуба.

Релевантне референце из области предложене теме докторске дисертације:

1. **Andela Blagojević**, Tijana Šušteršič, Ivan Lorencin, Sandi Baressi Šegota, Nikola Andelić, Dragan Milovanović, Danijela Baskić, Dejan Baskić, Nataša Zdravković Petrović, Predrag Sazdanović, Zlatan Car, Nenad Filipović, 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*. vol. 138, 2021, pp. 104869. <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2021.104869> (M21 – Computer Science, Interdisciplinary Applications)
2. Lazar Dašić, Nikola Radovanović, Tijana Šušteršič, **Andela Blagojević**, Leo Benolić, Nenad Filipović, Patch-based convolutional neural network for atherosclerotic carotid plaque semantic segmentation, *IPSI Bgd Transactions on Internet Research*, vol. 18, 2022, 1, pp. 56-61, <https://doi.org/10.58245/ipsi.tir.22jr.10> (M23 – Computer Science, Information Systems)
3. Nikola Radovanović, Lazar Dašić, **Andjela Blagojević**, Tijana Šušteršič, Nenad Filipović, Carotid Artery Segmentation Using Convolutional Neural Network in Ultrasound Images, *IPSI Bgd Transactions on Internet Research*, vol. 18, 2022, 1, pp. 44-49, <https://doi.org/10.58245/ipsi.tir.22jr.08> (M23 – Computer Science, Information Systems)
4. **Andela Blagojević**, Tijana Geroski, Nenad Filipović, A Review of the Application of Artificial Intelligence in Medicine: From Data to Personalised Models, *Applied Artificial Intelligence: Medicine, Biology, Chemistry, Financial, Games, Engineering*. AAI 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 659, 2023, pp 271–305, https://doi.org/10.1007/978-3-031-29717-5_17 (M33)

5. **Andela Blagojević**, Tijana Šušteršič, Nenad Filipović, Simulation of Atherosclerotic Plaque Development using Agent-based Modelling, Proceedings of the 12th International Conference on Information Society and Technology, 2022, pp 55-58, ISBN 978-86-85525-24-7 (M33)

1.5. Оцена научне заснованости теме докторске дисертације:

На основу пријаве теме докторске дисертације и постављеног концепта истраживања, Комисија закључује да постоји оправдана потреба за развојем, имплементацијом и применом савремених техника вештачке интелигенције у области анализе медицинских снимака кичменог стуба, са циљем развоја система за дијагностику и процену тежине дегенеративних обољења кичме. Предложена докторска дисертација усмерена је на развој више модела машинског и дубоког учења, са посебним акцентом на примену неуронских мрежа за сегментацију анатомских структура кичме, тродимензионалну реконструкцију, као и класификацију дегенеративних промена на основу медицинских снимака. Поред тога, дисертација обухвата развој пропратних модула за анализу робусности система и аутоматско генерисање структурираног лекарског извештаја, са циљем примене предложеног решења у реалном клиничком окружењу.

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације научно и стручно оправдана, са јасно дефинисаним предметом и циљевима истраживања, адекватно планираним методама, очекиваним резултатима и научним доприносима, који се заснивају на досадашњем истраживачком раду кандидата и детаљној анализи релевантне научне литературе, те да представља оригиналну истраживачку идеју.

2. Подаци о кандидату

2.1. Име и презиме кандидата:

Анђела Благојевић

2.2. Студијски програм докторских академских студија и година уписа:

Докторске академске студије Електротехнике и рачунарства, година уписа 2021/2022

2.3. Биографија кандидата (до 1500 карактера):

Кандидат је рођен 10.07.1996. године у Крагујевцу, Република Србија. Основне академске студије на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу уписао је 2015. године, а завршио 2019. године на студијском програму Рачунарска техника и софтверско инжењерство са просечном оценом 8,33. Након завршетка основних академских студија, 2019. године уписао је мастер академске студије на истом факултету, на студијском програму Електротехника и рачунарство. Мастер академске студије завршио је 2020. године са просечном оценом 9,83. Докторске академске студије уписао је школске 2021/2022. године на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, на студијском програму Електротехника и рачунарство. Од 2020. године запослен је на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу као истраживач. Током свог истраживачког рада учествовао је на међународним пројектима финансираним од стране Европске уније, конкретно у оквиру програма Хоризонт 2020 на пројекту *SILICOFCM*, као и на пројекту *COVIDAI*, финансираном од стране Централноевропске иницијативе. Такође, био је члан тима на пројекту *INTELHEART*, финансираном од стране Фонда за науку Републике Србије. Коаутор је седам научних радова категорије M20, двадесет конференцијских радова на међународним конференцијама категорије M30 и једног поглавља у монографији категорије M10. Усавршавања је похађао у компанији *Huawei* у Кини (2019) и на Универзитету у Јањини, Грчка (2022).

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

Област истраживања кандидата укључује примену вештачке интелигенције на решавање конкретних проблема, првенствено у области медицине. Самостално или у сарадњи са другим ауторима кандидат је објавио укупно 7 радова у научним часописима категорије M20. Поред тога кандидат има објављено поглавље у монографији категорије M13. Кандидат је активно учествовао или учествује на 2 међународна научна пројекта и на 2 пројекта ресорног министарства.

Поглавља у истакнутим монографијама међународног значаја [M13]:

1. Šušteršič Tijana, **Blagojević Andela**, Artificial intelligence approach toward analysis of COVID-19 development – Personalized and epidemiological model, Cardiovascular and Respiratory Bioengineering, Academic Press, ISBN 9780128239568, pp. 237-269, 2022, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823956-8.00013-4>

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

1. Anđelić Nikola, Baressi Šegota Sandi, Lorencin Ivan, Jurilj Zdravko, Šušteršič Tijana, **Blagojević Andela**, Protić Alen, Ćabov Tomislav, Filipović Nenad, Car Zlatan: Estimation of COVID-19 Epidemiology Curve of the United States Using Genetic Programming Algorithm, International Journal of Environmental Research and Public Health, ISSN 1660-4601, vol. 18, no. 3, pp. 959, 2021, <https://doi.org/10.3390/ijerph18030959>

2. **Blagojević Andela**, Šušteršič Tijana, Lorencin Ivan, Baressi Šegota Sandi, Anđelić Nikola, Milovanović Dragan, Baskić Danijela, Baskić Dejan, Zdravković Petrović Nataša, Sazdanović Predrag, Car Zlatan, Filipović Nenad: 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, ISSN 0010-4825, vol. 138, pp. 104869, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2021.104869>

3. Lorencin Ivan, Baressi Šegota Sandi, Anđelić Nikola, **Blagojević Andela**, Šušteršič Tijana, Protić Alen, Arsenijević Miloš, Ćabov Tomislav, Filipović Nenad, Car Zlatan: Automatic Evaluation of the Lung Condition of COVID-19 Patients Using X-ray Images and Convolutional Neural Networks, Journal of Personalized Medicine, ISSN 2075-4426, vol. 11, no. 1, pp. 28, 2021, <https://doi.org/10.3390/jpm11010028>

4. Musulin Jelena, Baressi Šegota Sandi, Štifanić Daniel, Lorencin Ivan, Anđelić Nikola, Šušteršič Tijana, **Blagojević Andela**, Filipović Nenad, Ćabov Tomislav, Markova-Car Elitza: Application of Artificial Intelligence-Based Regression Methods in the Problem of COVID-19 Spread Prediction: A Systematic Review, International Journal of Environmental Research and Public Health, ISSN 1660-4601, vol. 18, no. 8, pp. 4287, 2021, <https://doi.org/10.3390/ijerph18084287>

5. Šušteršič Tijana, **Blagojević Andela**, Cvetković Danijela, Cvetković Aleksandar, Lorencin Ivan, Baressi Šegota Sandi, Milovanović Dragan, Baskić Dejan, Car Zlatan, Filipović Nenad, Epidemiological Predictive Modeling of COVID-19 Infection: Development, Testing, and Implementation on the Population of the Benelux Union, Frontiers in Public Health, ISSN 22962565, vol. 9, pp. 1567, 2021, <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.727274>

Научни радови публиковани у часописима међународног значаја [M23]:

1. Lazar Dašić, Nikola Radovanović, Tijana Šušteršič, **Andela Blagojević**, Leo Benolić, Nenad Filipović, Patch-based convolutional neural network for atherosclerotic carotid plaque semantic segmentation, IPSI Bgd Transactions on Internet Research, vol. 18, no. 1, pp. 56-61, 2022, <https://doi.org/10.58245/ipsi.tir.22jr.10>

2. Nikola Radovanović, Lazar Dašić, **Andela Blagojević**, Tijana Šušteršič, Nenad Filipović, Carotid Artery Segmentation Using Convolutional Neural Network in Ultrasound Images, IPSI Bgd Transactions on Internet Research, vol. 18, pp. 44-49, 2022, <https://doi.org/10.58245/ipsi.tir.22jr.08>

Учешће на међународним научним пројектима:

1. European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 777204 (SILICOFCM) - <https://silicofcm.eu/>.

2. Central European Initiative - CEI under grand agreement No 305.6019-20 (COVIDAI) - <http://www.covidai.kg.ac.rs/>.

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: Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу - <http://intelheart.kg.ac.rs/sr/>.

2. Пројекат у оквиру програма сарадње у области науке и иновација између Републике Србије и Републике Италије Министарства науке, иновација и технолошког развоја Републике Србије (DCM-modeling), Институција: Универзитет у Крагујевцу - <https://dcm-modeling.kg.ac.rs/>.

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. **Andela Blagojević**, Tijana Šušteršič, Ivan Lorencin, Sandi Baressi Šegota, Nikola Andelić, Dragan Milovanović, Danijela Baskić, Dejan Baskić, Nataša Zdravković Petrović, Predrag Sazdanović, Zlatan Car, Nenad Filipović, 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*. vol. 138, 2021, pp. 104869. <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2021.104869> (M21 – Computer Science, Interdisciplinary Applications)
2. Nikola Radovanović, Lazar Dašić, **Andjela Blagojević**, Tijana Šušteršič, Nenad Filipović, Carotid Artery Segmentation Using Convolutional Neural Network in Ultrasound Images, *IPSI Bgd Transactions on Internet Research*, vol. 18, 2022, 1, pp. 44-49, <https://doi.org/10.58245/ipsi.tir.22jr.08> (M23 – Computer Science, Information Systems)
3. Lazar Dašić, Nikola Radovanović, Tijana Šušteršič, **Andela Blagojević**, Leo Benolić, Nenad Filipović, Patch-based convolutional neural network for atherosclerotic carotid plaque semantic segmentation, *IPSI Bgd Transactions on Internet Research*, vol. 18, 2022, 1, pp. 56-61, <https://doi.org/10.58245/ipsi.tir.22jr.10> (M23 – Computer Science, Information Systems)
4. **Andela Blagojević**, Tijana Geroski, Nenad Filipović, A Review of the Application of Artificial Intelligence in Medicine: From Data to Personalised Models, *Applied Artificial Intelligence: Medicine, Biology, Chemistry, Financial, Games, Engineering*. AAI 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 659, 2023, pp 271–305, https://doi.org/10.1007/978-3-031-29717-5_17 (M33)
5. **Andela Blagojević**, Tijana Šušteršič, Nenad Filipović, Simulation of Atherosclerotic Plaque Development using Agent-based Modelling, *Proceedings of the 12th International Conference on Information Society and Technology*, 2022, pp 55-58, ISBN 978-86-85525-24-7 (M33)
6. Lazar Dašić, Ognjen Pavić, **Andela Blagojević**, Tijana Geroski, Nenad Filipović, Convolutional Neural Network for Atherosclerotic Plaque Multiclass Image Segmentation in Transverse Ultrasound Images of Carotid Artery, In: *Disruptive Information Technologies for a Smart Society*. ICIST 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 872, 2023, pp. 93-101 https://doi.org/10.1007/978-3-031-50755-7_10 (M33)
7. Ognjen Pavić, Lazar Dašić, Tijana Geroski, **Andela Blagojević**, Nenad Filipović, The Importance of Genetic and Clinical Data Features in Risk Stratification of Patients with Hypertrophic

¹ Уколико публикација нема DOI број уписати ISSN и ISBN

Cardiomyopathy, In: Disruptive Information Technologies for a Smart Society. ICIST 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 872, 2023, https://doi.org/10.1007/978-3-031-50755-7_7 (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. Такође, испунио је 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. **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**, Orestis Gkaintes, Aleksandra Vulović, Niketa Ukaj, Jorge Barrasa-Fano, ..., Nenad Filipović, SGABU computational platform for multiscale modeling: Bridging the gap between education and research, Computer methods and programs in biomedicine, vol. 243, 2024, pp. 107935, <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107935> (M21 - Computer Science, Interdisciplinary Applications)
3. Anđela Blagojević, **Tijana Šušteršič**, Ivan Lorencin, Sandi Baressi Šegota, Nikola Anđelić, ..., Nenad Filipović, 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, vol. 138, 2021, pp. 104869, <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2021.104869> (M21 - Computer Science, Interdisciplinary Applications)
4. **Tijana Šušteršič**, Aleksandar Peulić, FPGA Implementation of Expert System for Medical Diagnosis of Disc Hernia Diagnosis Based on Bayes Theorem, Journal of Circuits, Systems and Computers, vol. 32, 2023, no. 3, p. 2350038, <https://doi.org/10.1142/S021812662350038X> (M23 - Engineering, Electrical & Electronic)
5. **Tijana Šušteršič**, Aleksandar Peulić, Implementation of Face Recognition algorithm on Field Programmable Gate Array (FPGA), Journal of Circuits, Systems and Computers, vol. 28, 2019, no. 8, pp. 1950129, <https://doi.org/10.1142/S0218126619501299> (M23 - Engineering, Electrical & Electronic)

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):
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tijana Geroski, Đorđe Jakovljević, Nenad Filipović, Big Data in multiscale modelling: from medical image processing to personalized models, Journal of Big Data, vol. 10, 2023, no. 1, pp. 1-22, https://doi.org/10.1186/s40537-023-00763-y (M21 - Computer Science, Theory & Methods) 2. Tijana Šušteršič, Vesna Ranković, Vladimir Milovanović, Vojin Kovačević, Lukas Rasulić, Nenad Filipović, A Deep Learning Model for Automatic Detection and Classification of Disc Herniation in Magnetic Resonance Images, IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, vol. 26, 2022, no.12, pp. 6036-6046, https://doi.org/10.1109/JBHI.2022.3209585 (M21 - Computer Science, Interdisciplinary Applications) 3. Tijana Šušteršič, Vladimir Milovanović, Vesna Ranković, Nenad Filipović, A comparison of classifiers in biomedical signal processing as a decision support system in disc hernia diagnosis, Computers in Biology and Medicine, vol. 125, 2020, pp. 103978, https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2020.103978 (M21 - Computer Science, Interdisciplinary Applications) 4. Tijana Šušteršič, Vesna Ranković, Miodrag Peulić, Aleksandar Peulić, 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, vol.24, 2020, no.1, pp. 151-159, https://doi.org/10.1109/JBHI.2019.2899665 (M21 - Computer Science, Information Systems)
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 Анђели Благојевић одобри израда докторске дисертације под насловом „Мултимодална интеграција медицинских снимака и клиничких података заснована на дубоком учењу за предвиђање клиничког тока и исхода болести кичменог стуба” 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

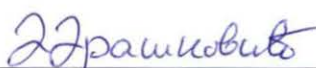


др Милан Чабаркапа, доцент

Факултет инжењерских наука, Универзитет у
Крагујевцу

Електротехничко и рачунарско
инжењерство/Електротехника и рачунарство

Члан комисије



др Дражен Драшковић, ванредни професор
Електротехнички факултет, Универзитет у
Београду

Електротехничко и рачунарско
инжењерство/Рачунарска техника и информатика

Члан комисије



др Војин Ковачевић, ванредни професор
Факултет медицинских наука, Универзитет у
Крагујевцу

Медицинске науке/Хирургија

Члан комисије



др Дубравко Ђулић, редовни професор
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом
Саду

Електротехничко и рачунарско
инжењерство/Информационо-комуникациони
системи

Члан комисије