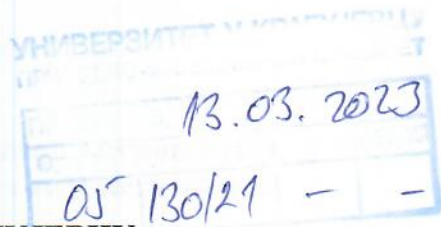


НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ



ВЕЋУ ЗА ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКЕ НАУКЕ  
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Наставно-научног већа Природно-математичког факултета у Крагујевцу одржаној 25. 01. 2023. године, одлуком број 90/VIII-1, и на седници Већа за природно-математичке науке Универзитета у Крагујевцу одржаној 21. 02. 2023. године, одлуком број IV-01-83/12, одређени смо за чланове комисије за писање извештаја о оцени научне заснованости теме и испуњености услова кандидата Михаила Обреновића за израду докторске дисертације под насловом "Учење доменски инваријантних репрезентација хетерогених сликовних података".

ИЗВЕШТАЈ

**1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена крајњег исхода**

У предложеном нацрту докторске дисертације, кандидат је образложио предмете и циљеве рада и истакао значај истраживања у области хетерогене доменске адаптације. Методе дубоког учења су заслужне за велики пробој вештачке интелигенције последњих година. Дубоко учење је данас нашло примену у скоро свим сферама науке и технологије, а једна од најзначајнијих примена је у визуелном препознавању, односно рачунарском виду. Међутим, ове методе захтевају велику количину означених података за обучавање, а означавање је тежак и скуп процес. Због тога је развијање метода доменске адаптације веома важно јер омогућава примену знања из једног означеног домена на други неозначени домен. Осим тога, у областима попут даљинске детекције је изузетно значајно омогућити рад са хетерогеним подацима јер сателити могу имати различите сензоре који снимају слике различитих резолуција и различитог броја канала, зависно од тога на којим опсезима таласних дужина се врши мерење.

Кандидат је анализирао постојеће методе хетерогене доменске адаптације и утврдио да се оне углавном фокусирају на адаптирање векторских података, док малобројне методе за матричне сликовне податке имају бројна ограничења у смислу формата слика и задатака за које се методе обучавају. Анализом доступне литературе, кандидат је направио план истраживања који ће решити поменуте недостатке.

Централни део докторске дисертације представља развијање метода хетерогене доменске адаптације за издвајање доменски инваријантних својстава из хетерогених сликовних података у циљу решавања проблема класификације. Развијени метод треба да буде флексибилан, да има могућност рада са сликама различитих димензија и са мало или нимало лабела у циљном домену. Метод ће бити евалуиран на сликама различитих сензора, како сателитским, тако и на једном проблему из области роботике – адаптацији између RGB слика и дубинских мапа. Очекује се значајно унапређење у односу на резултате постојећих метода, уз превазилажење њихових ограничења и већу флексибилност.

## 2. Образложење предмета, метода и циља који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке

### Предмет, циљеви и хипотезе дисертације

Сателити свакодневно генеришу велике количине података. Ти подаци се најчешће означавају ручно, што је спор и скуп процес. Да проблем буде још већи, једном направљене лабеле се не могу поново искористити за будуће слике зато што се Земљина површина константно мења. Различита годишња доба доносе различиту вегетацију. Насеља се константно шире. Све ово чини процес означавања изузетно тешким. Због тога се појавила идеја да се за неозначене податке искористи знање из сличних означених скупова података. За ову сврху су развијене бројне методе доменске адаптације. Доменска адаптација се бави обучавањем модела над подацима из једног домена који називамо изворни домен и за који имамо довољно лабела и њиховом применом на други домен који називамо циљни домен и који има различиту расподелу вероватноће података, али је на неки начин повезан са изворним доменом.

Код доменске адаптације за визуелно препознавање, најчешће се у оба домена налазе RGB слике истих димензија. Међутим, код сателитских слика, различити сателити имају различите сензоре и слике које снимају могу имати различит број канала, зависно од тога на којим опсезима таласних дужина се врши мерење, и тада говоримо о хетерогеним подацима. Слике такође могу имати и различиту резолуцију, где један пиксел може приказивати већу или мању површину. Класичне методе доменске адаптације не могу решити овакве проблеме.

Циљ ове докторске дисертације је развијање метода хетерогене доменске адаптације који ће моћи да буде примењен на слике снимљене различитим сензорима, на сателитске али и друге врсте хетерогених слика. Метод треба да буде заснован на принципу издвајања доменски инваријантних атрибута, односно својстава (енг. *features*) из хетерогених сликовних података и да омогући обучавање за решавање проблема класификације слика на једном домену и примену на другом, различитом, али блиском домену. Развијени метод треба да буде флексибилан, да захтева постојање мало или нимало лабела у циљном домену, и да не захтева постојање парова повезаних слика у различитим доменима.

Ово је први рад уопште који се бави хетерогеном доменском адаптацијом над два сликовна домена са различитим бројем канала са циљем да реши проблем класификације. Ово је такође и први рад уопште о учењу доменски инваријантних репрезентација два хетерогена сликовна домена.

Развој метода из дисертације је веома значајан за поље даљинске детекције, где сателити за снимање слика користе мноштво различитих сензора као што су RGB, мултиспектрални (велики број канала), хиперспектрални (још већи број канала), SAR (радарски), LiDAR, панхроматски и сл. Међутим, поље примене није ограничено само на даљинску детекцију, циљ је да метод буде могуће применити и у другим областима као што је роботика, где би се вршила адаптација између RGB слика и дубинских мапа, или медицина, где би се омогућио истовремени рад са нпр. сликама компјутеризоване томографије (СТ), магнетне резонанце (MRI) и сл.

Постојеће методе хетерогене доменске адаптације (ХДА) везане за визуелно препознавање се углавном фокусирају на адаптирање сликовних и текстуалних података, или ако и раде над два сликовна домена, адаптацију врше између репрезентација слика као што су SURF и DeCAF, што су заправо векторски, а не матрични сликовни подаци. Постоји и неколико метода које могу радити директно са сликама, али уз бројна ограничења. Они који су намењени за класификацију слика, иако дозвољавају коришћење различитих сензора, захтевају да број канала буде исти. Са друге стране, постоји и приступ који омогућава коришћење слика са различитим бројем канала, али је ограничен искључиво на решавање проблема семантичке сегментације и захтева постојање лабела за сваки пиксел и у изворном и у циљном домену, које је често веома скупо прибавити и чије поседовање није увек реалистична претпоставка. Насупрот томе, ова дисертација ће се бавити развијањем нових метода за ХДА за класификацију слика које ће моћи

да раде директно над сликама које имају различит број канала и/или различиту резолуцију и где ће потреба за постојањем лабела у циљном домену бити мала или никаква.

Постојеће метода за ХДА су већином засноване на превођењу података из једног домена у други. Превођење се најчешће врши у простору пиксела, а може бити изведено и у простору научених репрезентација. Међутим, модели тренирани на овај начин имају своја ограничења – примењиви су само на један домен, па самим тим морају или да изгубе постојеће или да измисле дотада непостојеће информације приликом превођења да би се циљна расподела података поклопила са изворном. Још један проблем лежи у томе што су архитектуре превођења слика веома велике, због чега је њихово тренирање процесорски веома захтевно када је резолуција слика висока, а превођење се ради на нивоу пиксела. Насупрот методама превођења, ова дисертација ће се бавити методама које издвајају доменски инваријантна својства. Издвојене репрезентације овде нису ни у простору изворних, ни у простору циљних података, већ у наученом заједничком латентном простору. Хипотеза од које се полази је да најбољи могући заједнички простор за оба домена није ни простор изворног, ни простор циљног домена, већ латентни простор између њих који садржи информације из оба домена.

Учење доменски инваријантних репрезентација се већ успешно користи у хомогеној доменској адаптацији. Међутим, до сада није било могуће применити их на слике са различитим бројем канала због фиксног броја улазних неурона који спречава коришћење слика различитих димензија. Ова дисертација се бави налажењем начина примене доменски инваријантне парадигме на хетерогене податке.

## **Методе истраживања**

Модели у оквиру тезе ће бити развијани као дубоке конволуционе неуронске мреже. Биће коришћени елементи различитих техника доменске адаптације. Издвајање доменски инваријантних својстава ће бити изведено смањивањем растојања између расподела вероватноће у новом простору научених репрезентација. Архитектура ће бити заснована на учењу сучељавањем (енг. *adversarial learning*). Да би технички било могуће да мрежа ради са хетерогеним подацима, потребно је модификовати архитектуре постојећих доменски инваријантних метода за хомогену доменску адаптацију, за шта ће бити искоришћен приступ раздвајања на две улазне гране, једну за изворне и другу за циљне податке. Недостатак лабела у циљном домену ће бити надомештен техникама псеудо-означавања. Такође, пошто присуство само неколико лабела у циљном домену већ може значајно да побољша резултате, биће омогућено и коришћење циљних лабела када су доступне, по угледу на полунадгледане методе доменске адаптације.

Метод ће бити евалуиран на сателитским сликама различитих сензора (RGB и мултиспектралне слике), као и на једном често коришћеном скупу података за тестирање перформанси у доменској адаптацији из области роботике (RGB слике и дубинске мапе). Резултати ће бити упоређени са резултатима метода заснованих на превођењу података.

## **Оквирни садржај докторске дисертације**

### **➤ Увод**

- Проблеми означавања података
- Доменска адаптација
- Хетерогени подаци
- Значај у даљинској детекцији

### **➤ Преглед литературе**

- Методе засноване на доменски инваријантним репрезентацијама
  - Хомогена доменска адаптација
  - Хетерогена доменска адаптација
- Методе засноване на превођењу података

- Оптимални транспорт
- Превођење на нивоу научених репрезентација
- Превођење на нивоу пиксела
- Примена у даљинској детекцији
- **Полунадгледана хетерогена доменска адаптација за сликовне податке**
- Методологија
  - Учење сучељавањем
  - Растојање између расподела података репрезентација
  - Раздвајање екстрактора атрибута
- Резултати
  - Протокол извођења експеримената
  - Опис података
  - Експериментални резултати
  - Анализа резултата
- **Ненадгледана хетерогена доменска адаптација за сликовне податке**
- Методологија
  - Утицај некорисне лабела на процес учења
  - Проблеми ненадгледане доменске адаптације у даљинској детекцији
  - Псеудо-означавање
  - Комбиновање са методама превођења
- Резултати из области даљинске детекције
  - Протокол извођења експеримената
  - Експериментални резултати
  - Анализа резултата
- Резултати из области роботике
  - Протокол извођења експеримената
  - Опис података
  - Експериментални резултати
  - Анализа резултата
- **Закључак и будући рад**

### 3. Образложење теме за израду докторске дисертације

Предложена тема докторске дисертације **Учење доменски инваријантних репрезентација хетерогених сликовних података** се бави значајним актуелним проблемом у пољу вештачке интелигенције и дубоког учења, а то је недостатак лабела за надгледано обучавање великих вештачких неуронских мрежа са многобројним слојевима. Количине података потребне за обучавање дубоких мрежа су веома велике, а процес означавања, односно лабеловања, је веома спор и скуп. Ова дисертација се бави *доменском адаптацијом*, која омогућава коришћење знања из једног скупа података, односно домена, за обучавање над другим, неозначеним доменом различите расподеле вероватноће података, али повезаним на неки начин са првим доменом.

Код доменске адаптације за визуелно препознавање, најчешће се у оба домена налазе RGB слике истих димензија. Међутим, код сателитских слика, различити сателити имају различите сензоре и слике које снимају могу имати различит број канала, и тада говоримо о *хетерогеним подацима*. Циљ ове дисертације је развијање метода дубоког учења за издвајање доменски инваријантних својстава из хетерогених сликовних података. Развијена метода хетерогене доменске адаптације ће моћи да буде примењена на слике снимљене различитим сензорима, на сателитске, али и друге врсте хетерогених слика.

#### **4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложених хипотеза, извора података, метода анализе са критеријумима науке и поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације**

Кандидат је у пријави теме докторске дисертације испоштовао основне критеријуме науке, научне методе и циљеве, употребом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања. Служио се одговарајућом терминологијом из научних области којима докторска дисертација припада. Кандидат је изабрао савремене доступне чланке из часописа, конференција и других извора и показао способност анализе научних радова и дефинисање хипотеза за даља теоријска и практична истраживања у области хетерогене доменске адаптације. На основу утврђених хипотеза, кандидат је предложио смерове истраживања који ће довести до конкретних научних резултата. Комисија истиче да постоји усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложених хипотеза са критеријумима науке, уз поштовање научних принципа.

#### **5. Научна област дисертације**

Предложена тема докторске дисертације припада области **рачунарских наука**. Ужа научна област према правилнику Универзитета у Крагујевцу којој дисертација припада је **методологије рачунарства**, док према АСМ (Association for Computing Machinery) класификацији припада областима: **вештачка интелигенција, рачунарски вид, репрезентације слика, препознавање објеката, машинско учење, учење трансфера, неуронске мреже**.

#### **6. Кратка биографија кандидата**

Михаило Обреновић је рођен у Крагујевцу 1990. године где је завршио основну школу "Ђура Јакшић", а затим Прву крагујевачку гимназију, природно-математички смер. Основне студије из области информатике на Природно-математичком факултету у Крагујевцу завршио је 2013. године са просечном оценом 9,92. Мастер студије из области информатике на Природно-математичком факултету у Крагујевцу завршио је 2014. године са просечном оценом 10,00. Након тога је уписао докторске студије из области информатике у коменторству на Природно-математичком факултету Универзитета у Крагујевцу и на Докторској школи математике, рачунарских наука и инжењерства Универзитета у Стразбуру у Француској као добитник Стипендије Француске владе за коменторске докторске студије у Србији и Француској. Током студија, био је и стипендиста Фонда за младе таленте, Министарства просвете Републике Србије, Фонда "Академик Драгослав Срејовић", Фондације "Задужбина Студеница", Фондације Хемофарм и Универзитета у Крагујевцу.

На Институту за математику и информатику Природно-математичком факултету је био запослен од 2014. до 2021. године, најпре у звању сарадника у настави, а потом као асистент, где је изводио вежбе из предмета: Интелигентни системи 1, Базе података 2, Алгоритамске стратегије, Оперативни системи 1, Клијентске Веб технологије, Софтверски алати 1, Софтверски алати 2, Основи програмирања, Практикум из програмирања 1. Такође је изводио и вежбе из предмета Примена рачунара на Институту за биологију и екологију. Михаило Обреновић је изводио вежбе и на Универзитету у Стразбуру, и то из предмета: Примењена вештачка интелигенција, Радионица машинског учења, Одабрана поглавља вештачке интелигенције.

Од 2014. до 2016. године је био запослен у Првој крагујевачкој гимназији као професор на предмету "Програмирање и програмски језици" на одељењу за обдарене ученике рачунарске гимназије. Учествовао је у припреми ученика средње школе за такмичења из програмирања.

Од 2018. до 2019. године је био учесник пројекта Министарства просвете и науке Републике Србије, под називом *Нови прилози техникама криптологије, процесирања слика и алгебарске топологије за информациону безбедност*, #174008. Такође је био и учесник међународног пројекта: *Stock monitoring and recognition* у партнерству са *Quantip* лабораторијом, Стразбур, Француска, као и пројекта билатералне научно-технолошке сарадње између Републике Србије и Републике Словачке под називом *Adaptation of parallel WoBinGO system for protection of cloud and grid systems by computational intelligence*.

Његова три научна рада су презентована на међународним конференцијама, а један научни рад је тренутно у процесу ревизије у часопису са SCI листе.

## 7. Преглед научно-истраживачког рада кандидата

Кандидат Михаило Обреновић се бави научно-истраживачким радом у области рачунарских наука. Учествовао је на три међународне конференције из уже научне области теме дисертације.

- [1] **M. Obrenović**, T. Lampert, F. Monde-Kossi, P. Gančarski, SS-HIDA: Semi-Supervised Heterogeneous Image Domain Adaptation, In MACLEAN: MACHine Learning for EArth ObservatioN Workshop co-located with the European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases (ECML/PKDD), 2021, (ISSN 1613-0073, **M33**)
- [2] B. Arsić, **M. Obrenović**, M. Anić, A. Tsuda, N. Filipović, Image segmentation of the pulmonary acinus imaged by synchrotron X-ray tomography. In 19th IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE), pp. 525-531, IEEE, 2019, Athens, Greece, (ISSN 2471-7819, **M33**)
- [3] **M. Obrenović**, J. Vasiljević, V. Simić, M. Ivanović, Parameter Optimization of SVM Based Classification System for Hyperspectral Remote Sensing Images, 6th Biennial International Scientific Conference Applied Natural Sciences (ANS), 2017, Jasna, Slovakia, (**M33**)

Још један рад је тренутно у процесу ревизије у часопису са SCI листе.

## 8. Предложени ментор докторске дисертације

Веће Института за математику и информатику Природно-математичког факултета у Крагујевцу је предложило др Милоша Ивановића, ванредног професора Природно-математичког факултета у Крагујевцу, за ментора ове дисертације. Ужа научна област професора Ивановића су Методологије рачунарства. Објавио је преко 20 научних радова у часописима од међународног значаја, од којих се бројни радови баве тематиком машинског учења и вештачке интелигенције. Списак радова који припадају ужој научној области теме дисертације је приказан у наставку.

### Списак референци ментора

- [1] **Ivanović, M.**, Kaplarević-Mališić, A., Stojanović, B., Svičević, M., & Mijailovich, S. M. (2019). Machine learned domain decomposition scheme applied to parallel multi-scale muscle simulation. *The International Journal of High Performance Computing Applications*, 1094342019833151 (ISSN 1094-3420, **M22**)
- [2] **Ivanovic, Milos**, and Visnja Simic. "Efficient evolutionary optimization using predictive auto-scaling in containerized environment." *Applied Soft Computing* (2022): 109610 (ISSN 1568-4946, **M21**)

- [3] Nikolić, Srđan, Nenad Stevanović, and **Miloš Ivanović**. "Optimizing parallel particle tracking in Brownian motion using machine learning." *The International Journal of High Performance Computing Applications* (2020): 1094342020936019 (ISSN 1094-3420, **M22**).
- [4] Simic, V., Stojanovic, B., **Ivanovic, M.** (2019). Optimizing the performance of optimization in the cloud environment—An intelligent auto-scaling approach. *Future Generation Computer Systems* (ISSN 0167-739X, **M21a**).
- [5] **Milos Ivanovic**, Visnja Simic, Boban Stojanovic, Ana Kaplarevic-Malisic, Branko Marovic, Elastic grid resource provisioning with WoBinGO: A parallel framework for genetic algorithm based optimization, *Future Generation Computer Systems*, Vol. 42, 44–54 (2015) (ISSN 0167-739X, **M21**)

## 9. Научна област чланова комисије

др Бранко Арсић, доцент, Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу, ужа научна област: Примењено рачунарство.

др Милош Ивановић, ванредни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу, ужа научна област: Методологије рачунарства.

др Душан Јаковетић, ванредни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду, ужа научна област: Математичко моделирање.

## ЗАКЉУЧАК

Из свега наведеног, комисија констатује да је предложена тема докторске дисертације актуелна, садржајно квалитетна и да може дати конкретне научне резултате. Кандидат Михаило Обреновић, мастер информатичар, испуњава све предвиђене услове за одобрење израде докторске дисертације. Очекивани резултати докторске дисертације представљају оригинални научни допринос у хетерогеној доменској адаптацији. Комисија предлаже да Наставно-научно веће Природно-математичког факултета у Крагујевцу одобри кандидату Михаилу Обреновићу израду докторске дисертације под називом: "Учење доменски инваријантних репрезентација хетерогених сликовних података". За ментора дисертације се предлаже проф. др Милош Ивановић.

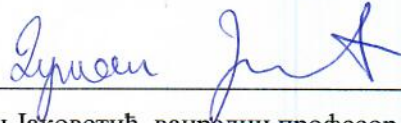
У Новом Саду и Крагујевцу 27. 02. 2023. год.



др Бранко Арсић, доцент (председник)  
Природно-математички факултет  
Универзитет у Крагујевцу  
(Ужа научна област: Примењено рачунарство)



др Милош Ивановић, ванредни професор (члан)  
Природно-математички факултет  
Универзитет у Крагујевцу  
(Ужа научна област: Методологије рачунарства)



др Душан Јаковетић, ванредни професор (члан)  
Природно-математички факултет  
Универзитет у Новом Саду  
(Ужа научна област: Математичко моделирање)





**Већу катедре Института за математику и информатику**  
**Наставно-научном већу Природно-математичког факултета у**  
**Крагујевцу**


**Предмет:** Мишљење руководиоца ДАС Рачунарских наука о Извештају Комисије за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата и предложеног ментора за израду докторске дисертације

На основу увида у садржај Извештаја Комисије о оцени научне заснованости теме и испуњености услова кандидата **Михаила Обреновића** за израду докторске дисертације под радним насловом **Учење доменски инваријантних репрезентација хетерогених сликовних података** и предложеног ментора **проф. др Милоша Ивановића**, дајем **позитивно мишљење** на садржај Извештаја.

У Крагујевцу,

13.03.2023. год.

за Руководиоца ДАС Рачунарских наука

  
проф. др Александар Остојић  
Председник Савета докторских студија