

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовано комисију: Вршилац дужности декана Факултета на основу одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду од 012-199/19-2023, датум: 25.04.2024.		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1. др Дарко Стефановић	редовни професор	Информационо - комуникациони системи, 15.10.2022.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		председник
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. др Ненад Филиповић	редовни професор	Примењена информатика и рачунарско инжењерство, 27.05.2010.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. др Душан Јовановић	ванредни професор	Геоинформатика, 11.03.2021.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. др Ђорђе Пржуљ	редовни професор	Информационо-комуникациони системи, 24.10.2023.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
5. др Милан Мирковић	редовни професор	Информационо-комуникациони системи, 14.09.2023.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
6. др Андраш Андерла	ванредни професор	Информационо-комуникациони системи, 13.02.2024.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		ментор
установа у којој је запослен-а		функција у комисији

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
1. Име, име једног родитеља, презиме: Марко, Милан, Павловић
2. Датум рођења, општина, држава: 26.04.1986, Нови Сад, Република Србија
3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Инжењерски менаџмент, Мастер инжењер менаџмента
4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2017, Индустијско инжењерство / инжењерски менаџмент
III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Даљинска детекција садржаја органског угљеника у земљишту на бази дубоког учења
IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл. Докторска дисертација Марка Павловића под насловом „Даљинска детекција садржаја органског угљеника у земљишту на бази дубоког учења“ је изложена на 166 страна и садржи 11 поглавља у којима је приказано 50 слика, 11 табела, 7 графикона и 2 прилога. Списак коришћене литературе обухвата укупно 170 референци. Докторска дисертација садржи следећа поглавља: 1. Уводна разматрања, проблем, предмет и циљеви истраживања 2. Преглед литературе и проблеми у процени органског угљеника у земљишту 3. Вештачка интелигенција и машинско учење 4. Дубоко учење 5. Даљинска детекција 6. Органски угљеник у земљишту 7. Предложени приступ процени SOC путем примене дубоких неуронских мрежа и података добијених даљинском детекцијом 8. Резултати истраживања и дискусија 9. Закључна разматрања 10. Литература 11. Прилози

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Наслов дисертације је информативан, јасан и прецизан, захваљујући чему на прави начин описује спроведено истраживање.

Први део дисертације посвећен је уводним разматрањима. Представљени су проблем, предмет и циљеви истраживања. Потреба за овим истраживањем је исказана кроз чињеницу постојања проблема у развоју тачних и робусних модела даљинске детекције за процену садржаја органског угљеника у земљишту (енгл. *Soil Organic Carbon - SOC*) на бази дубоког учења. Традиционалне методе за процењивање органског угљеника у земљишту карактеришу приметна ограничења и неопходност значајне количине физичког рада, као и велики трошкови. У оквиру предмета истраживања стављен је фокус на испитивање потенцијала примене дубоких неуронских мрежа на податке добијене даљинском детекцијом у сврху процењивања садржаја *SOC*. Основни циљ који је дефинисан у оквиру дисертације је да се развије тачан и поуздан модел дубоког учења за процену *SOC* коришћењем података добијених путем даљинске детекције и да се изврши поређење перформанси развијеног модела са другим постојећим моделима. Поред тога дефинисан је и додатни циљ, да се истраживање преведе у комерцијално одржив алат. Алат који доноси развијено и напредно решење за доносиоце прописа, организација које се баве заштитом животне средине, као и заинтересованим странама у пољопривредном сектору у вези са процењивањем органског угљеника у земљишту. У складу са наведеним предметом, потребама и циљем истраживања дефинисане су истраживачке хипотезе, као и посебна истраживачка питања.

Други део дисертације пружа увид у сложеност задатка процене стања *SOC* с обзиром на различите факторе који утичу на величину залиха, попут варијабилности земљишта или начина узорковања тла. Као и на недостатке конвенционалних метода које су радно интензивне, непрактичне и скупе. Даље се пружа исцрпан преглед тренутне литературе и спроводи се идентификација недостатака у методологијама процене *SOC*. Поред тога, у овом поглављу дат је и преглед глобалних и националних иницијатива које су фокусиране на органски угљеник из земљишта.

У трећем делу је изложен кратак приказ историјата развоја вештачке интелигенције (енгл. *Artificial Intelligence - AI*), кључни моменту у развоју *AI*-а, као и осврт на успон метода дубоког учења. Поглавље 3 пружа увид у основне концепте, опште принципе, сам ток машинског учења, као и детаљна објашњења функционисања алгоритама машинског учења. У делу 3.1 описани су основни концепти машинског учења попут врста машинског учења, недовољног и претераног прилагођавања и метрика које се употребљавају приликом евалуације учинка модела машинског учења. У делу 3.2 представљени су општи принципи машинског учења, док је сам ток процеса машинског учења са његовим компонентама представљен у делу 3.3. Део 3.4. пружа детаљан опис одабраних алгоритама машинског учења са објашњењем принципа њиховог функционисања, наведеним предностима и недостацима сваког алгорита, уз графички приказ и навођење математичких основа функционисања сваког алгорита.

Четврти део се фокусира на пружање увида у различите архитектуре дубоког учења, њихов графички приказ, као и њихову примену уз осврт на потенцијалне недостатке сваке архитектуре.

У петом делу дат је историјат развоја поља даљинске детекције. Представљени су принципи технологије даљинске детекције, њене интеракције са Земљином атмосфером и површином, као и различите платформе које се користе за даљинску детекцију. У деловима 5.7 и 5.8 објашњени су индекси даљинске детекције и атрибути терена коришћени у истраживању, као и формуле за њихово израчунавање. Овим се поставља основа за разумевање извора података и методологија коришћених у истраживању.

Шести део разматра утицај угљеника на процесе који се одвијају у животној средини са приказом циклуса кружења угљеника. Посебно се објашњава значај органског угљеника у земљишту за здравље земљишта и његов потенцијал у секвестрацији угљеника. Даје се детаљан преглед стања *SOC*, као и приказ различитих метода за процену промена у залихама *SOC*-а, од директних

мерења до техника даљинског детекције. Делови 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 детаљно описују скупове података коришћених у истраживању попут података добијених из Статистичког истраживања оквира површине употребе/покривача земљишта (енгл. *Land Use/Cover Area Frame Statistical Survey - LUCAS*) и чилеанске базе података о органском угљенику у земљишту (енгл. *Chilean Soil Organic Carbon Database - CHLSOC*).

У седмом делу, који се односи на истраживачки део, представљена је методологија истраживања. Детаљно се описује предложени иновативни приступ који комбинује дубоке неуронске мреже са подацима добијеним путем даљинске детекције за процену SOC-а. У овом поглављу се разрађују специфичности предложене методологије, укључујући изворе података и укључене процесе корак по корак. Детаљно су описане Фаза 1 која подразумева тренирање сегментационог модела за одређивање земљишног покривача из којег се издвајају латетна обележја која се употребљавају као улазни подаци за модел машинског учења који се примењује у Фази 2 за процењивање стања SOC. У поглављу 7.4 дат је свеобухватан приказ начина прикупљања, обраде и чувања сателитских снимака.

Осми део представља дискусију и анализу резултата која је спроведена у складу са постављеним истраживачким хипотезама и сажима кључне резултате истраживања. Поглавље укључује резултате процене класификације земљишног покривача, резултате експеримената 1, 2, 3 процене SOC-а, као и генерисање SOC мапе за регион Тоскане, Италија. Поглавље се завршава дискусијом о резултатима, укључујући ограничења предложеног приступа.

Девети део дисертације је посвећен закључним разматрањима где су сумирани основни циљеви, коришћене методе, резултати истраживања, као и теоријски и практични допринос истраживања. Осим тога, у оквиру закључка предложени су могући правци даљих истраживања.

На самом крају дисертације наведена је литература која је коришћена за потребе истраживања, као и прилози у ком су представљени елементи значајни за истраживање који нису укључени у основни текст дисертације.

Дисертација приказује значајне резултате истраживања које је омогућило да се потврде или допуне битне полазне претпоставке.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

1. **Pavlović M., Ilić S., Ralević N., Antonić N., Warren-Raffa D., Bandecchi M., Ćulibrk D., "A Deep Learning Approach to Estimate Soil Organic Carbon from Remote Sensing", Remote Sensing, 2024, pp. 1-21, ISSN: 2072-4292, Volume 16, Issue 4, <https://doi.org/10.3390/rs16040655> (Remote Sensing,10/34, IF = 5,6), **M21****
2. **Pavlović M., Ilić S., Antonić N., Ćulibrk D., "Monitoring the Impact of Large Transport Infrastructure on Land Use and Environment Using Deep Learning and Satellite Imagery", Remote Sensing, 2022, pp. 1-20, ISSN: 2072-4292, Volume 14, Issue 10, <https://doi.org/10.3390/rs14102494> (Remote Sensing,10/34, IF = 5,6), **M21****
3. **Pavlović M., Ilić S., Ćulibrk D., "Use of Sentinel-2 Remote Sensing Images for Land Use Classification", Second Serbian International Conference on Applied Artificial Intelligence AAI 2023, Kragujevac, Serbia, 2023, pp. 1-7, ISBN - 978-86-81037-71-3, **M34****

4. **Pavlović M., Antonić N., Bosakov G., Ilić S., Ćulibrk D.,** “Remote Sensing for Soil Organic Carbon“, First Serbian International Conference on Applied Artificial Intelligence AAI 2022, 2022, pp. 1-6, ISBN - 978-86-81037-71-3, **M34**

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

Резултати дисертације огледају се у реалним подлогама тачно представљеним чињеницама, а у складу са постављеним хипотезама и циљевима. Резултати су представљени табеларно и графиконима уз јасно текстуално образложење и дискусију резултата.

Дисертација развија нови приступ који је утемељен у две фазе, где почетна фаза укључује софистицирано издвајање обележја помоћу дубоких неуронских мрежа. Почетна фаза користи могућности мултиспектралног снимања са сателита *Sentinel-2*, повезујући ове високодимензионалне податке са аутентичним мапама сегментације како би се проценило коришћење земљишта у циљаним географским областима. Друга фаза модела примењује екстраховане векторе обележја у тренирању низа различитих метода машинског учења у примени процењивања садржаја органског угљеника у земљишту.

На основу резултата овог истраживања потврђена је валидност, поузданост и робустност модела развијених за процењивање органског угљеника у земљишту. Резултати истраживања су показали бољи учинак модела тренираних на латентним обележјима екстрахованих из сегментационе мреже у односу на моделе трениране на 13 опсега *Sentinel-2* сателита. Демонстрирана је вредност укључивања атрибута терена и одабраних индекса даљинске детекције у виду додатних обележја коришћених за тренирање модела. Ефикасност дубоких неуронских мрежа у обради сложених сателитских података је јасно демонстрирана, означавајући значајан напредак у техникама даљинске детекције.

Додатно, продукцијом просторно континуиране *SOC* карте високе резолуције (за регион Тоскане, у северној Италији, показан је потенцијал модела машинског учења у пружању свеобухватних и прецизних процена органског угљеника у земљишту. Овај вид мапирања високе резолуције означава велики корак ка глобално скалабилним, исплативим и даљински управљаним системима за праћење *SOC*-а.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Резултати докторске дисертације су приказани на јасан и прецизан начин. Сви резултати релевантни за истраживање су сумирани кроз приказе слика, табела и графикона уз одговарајући пратећи текст. Резултати истраживања су представљени систематично и прегледно. Добијени резултати су тумачени у складу са претходном литературом, коментаришући нове налазе, као и давањем сугестија за правце будућих истраживања. У складу са претходно наведеним, закључци који су проистекли из ове дисертације су аргументовани, свеобухватни и актуелни.

На основу приказаног, комисија је донела позитивну оцену за начин приказа и тумачења резултата, са закључком да је докторска дисертација оригинално ауторско дело кандидата Марка Павловића.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање. Навести нумеричке податке о резултатима провере оригиналности рада и дати текстуално образложење.

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?
Да, дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?
Да, дисертација садржи све битне и неопходне елементе за позитивну оцену дисертације

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Дисертација уводи иновативну, хибридну методологију која комбинује различите моделе машинског учења, укључујући дубоке неуронске мреже и традиционалне алгоритме за машинско учење, за прецизну процену органског угљеника у земљишту употребом сателитских снимака.

Битно достигнуће представља и стварање просторно континуиране *SOC* карте високе резолуције (10 метара) за регион Тоскане, у северној Италији. Такво мапирање високе резолуције представља значајан скок у могућностима праћења животне средине.

Додатну вредност овог истраживања представља чињеница да не подразумева само академски допринос већ и практичан алат – метод и софтверско решење дизајнирано за ефикасну и тачну процену *SOC*-а. Развијени алат користи моћ дубоких неуронских мрежа и података добијених путем даљинске детекције, нудећи ресурсно ефикаснију алтернативу преовлађујућим методама процене *SOC*.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?
Дисертација нема битних недостатака који би утицали на резултате истраживања.

5. Образложење резултата провере оригиналности рада (нумерички и наративно):

Текст дисертације је проверен у софтверу за детекцију плагијаризма *iThenticate*, који није показао значајно подударње са другим изворима литературе. *Similarity index* је 2%.

X ПРЕДЛОГ:
На основу наведеног, комисија предлаже:
а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана;
б) да се докторска дисертација врати кандидату на дораду (да се допуни односно измени);
в) да се докторска дисертација одбије.

Место и датум: Нови Сад, 04.06.2024.

1. др Дарко Стефановић, редовни професор

_____, председник

2. др Ненад Филиповић, редовни професор

_____, члан

3. др Душан Јовановић, ванредни професор

_____, члан

4. др Ђорђе Пржуљ, редовни професор

_____, члан

5. др Милан Мирковић, редовни професор

_____, члан

6. др Андраш Андерла, ванредни професор

_____, ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.