

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовао комисију: Декан Факултета техничких наука на основу одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука; Решење број 012-199/19-2021 од дана 27.11.2025.		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1. др Сечујски Милан	редовни професор	Телекомуникације и обрада сигнала, 11.03.2021.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, Р. Србија	председник	
установа у којој је запослен-а	функција у комисији	
2. др Јаковљевић Никша	ванредни професор	Телекомуникације и обрада сигнала, 11.10.2024.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, Р. Србија	члан	
установа у којој је запослен-а	функција у комисији	
3. др Пантовић Јованка	редовни професор	Теоријска и примењена математика, 24.06.2010.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, Р. Србија	члан	
установа у којој је запослен-а	функција у комисији	
4. др Пајић Милош	редовни професор	Пољопривредна техника, 13.12.2022.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду, Београд, Р. Србија	члан	
установа у којој је запослен-а	функција у комисији	
5. др Панић Марко	виши научни сарадник	Информационе технологије, 23.12.2024.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора

Истраживачко-развојни институт за информационе технологије биосистема, БиоСенс, Универзитет у Новом Саду, Р. Србија		ментор
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
6. др Лончар-Турукало Татјана	редовни професор	Телекомуникације и обрада сигнала, 26.04.2022.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, Р. Србија		ментор
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ		
Име, име једног родитеља, презиме: Жељана, Душан, Грбовић Датум рођења, општина, држава: 11.11.1993, Нови Сад, Србија Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Факултет техничких наука, Мастер академске студије, Мастер електротехнике и рачунарства Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2017, Енергетика, електроника и телекомуникације		
III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:		
Семантичка сегментација дубоким неуронским мрежама са применом на сликама различитих модалитета у прецизној пољопривреди (Semantic segmentation using deep neural networks across different image modalities in precision agriculture)		
IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:		
Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл. Дисертација садржи 173 нумерисане странице, 27 табела, 41 слику и 328 референци. Садржај дисертације по поглављима је следећи: 1. Увод 2. Методологија 3. Опис скупова података 4. Резултати 5. Дискусија 6. Закључак		

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

1. Увод

У уводном поглављу дисертације уводи се проблем сегментације као централни истраживачки проблем рада. Сегментација се разматра на семантичком нивоу и на нивоу инстанце, уз развој и примену дубоких неуронских мрежа на сликама различитих модалитета, укључујући RGB и хиперспектралне слике, као и 3D репрезентације засноване на NeRF приступу. Даље, уводи се појам прецизне пољопривреде као релевантне примењене области, уз анализу њених специфичних захтева и изазова, који представљају основну мотивацију за спроведена истраживања. Идентификовани изазови служе као полазна основа за дефинисање две студије случаја које су детаљно разрађене у оквиру дисертације. У уводу се такође разматра допринос у прикупљању података у реалним условима, са посебним освртом на сложеност, реткост и високе трошкове аквизиције квалитетних, аномаличних скупова података у овој области.

2. Методологија

У овом поглављу детаљно је описан методолошки оквир истраживања, који обухвата анализу постојећих приступа сегментацији и развој напредних метода заснованих на дубоком учењу, прилагођених различитим типовима података. Дефинисан је проблем сегментације и извршен преглед постојеће литературе и анализа традиционалних метода обраде слика, уз идентификацију њихових ограничења у условима сложених сцена, варијабилног осветљења и високодимензионалних података, што мотивише примену комплекснијих дубоких неуронских мрежа. Описане су коришћене евалуационе метрике за објективну процену перформанси за семантичку сегментацију и сегментацију на нивоу инстанце. Методологија даље обухвата семантичку сегментацију и сегментацију инстанци, са фокусом на сегментацију класа пшенице у мултимодалним подацима. Дат је преглед релевантних архитектура дубоких неуронских мрежа за семантичку сегментацију (U-Net, Seg-Net) и сегментацију инстанци (Mask RCNN, YOLOv8, RT-DETR), као и анализа постојећих решења овог проблема у литератури. На основу тих увида предложена је нова архитектура за семантичку сегментацију класова пшенице из RGB и термалних слика, под називом Оптимизована потпуно повезана конволуциона неуронска мрежа (engl. Optimised Fully Convolutional Neural Network, oFCN). Предложени приступ је додатно евалуиран на хиперспектралним подацима, уз прилагођавање модела високодимензионалном спектралном простору.

У оквиру методологије разматра се и сегментација на нивоу инстанце, која омогућава појединачно издвајање објеката исте класе. Описани су савремени приступи сегментацији инстанци, са освртом на специфичности примене на хиперспектралним и RGB сликама у пољопривреди. Посебан део методологије посвећен је издвајању латентних спектралних компоненти у хиперспектралним сликама, као начину редукције димензионалности и побољшања дискриминативности у даљој сегментацији.

Поред 2D анализе, методологија обухвата и опис Neural Radiance Fields (NeRF) методе за 3D реконструкцију сцене, која омогућава имплицитно моделовање геометрије и изгледа сцене на основу више 2D пројекција. Описани су основни принципи NeRF приступа, начин тренирања модела и његова примена за реконструкцију комплексних сцена, као и повезивање 3D репрезентације са резултатима сегментације. Описане су коришћене евалуационе метрике за квантитативну анализу квалитета 3D реконструкције. Дат је кратак опис хардверске инфраструктуре коришћене за тренирање и евалуацију модела, са освртом на рачунарске ресурсе неопходне за рад са дубоким неуронским мрежама и великим мултимодалним скуповима података.

3. Опис скупова података

У овом поглављу детаљно су представљени скупови података коришћени у оквиру дисертације, који су прикупљени и анализирани у циљу евалуације предложених метода за сегментацију и 3D реконструкцију. Посебан акценат стављен је на разноврсност модалитета, контролисане и реалне услове аквизиције, као и на изазове везане за квалитет и доступност података.

Први део поглавља односи се на хиперспектрални скуп података намењен анализи морфолошких карактеристика круничних листова парадајза. Описани су услови снимања, спектрални опсег, просторна резолуција и структура података, као и начин на који хиперспектрална информација омогућава издвајање суптилних морфолошких и физиолошких разлика које нису уочљиве у стандардним RGB сликама.

Даље је представљен скуп података за детекцију и бројање класова пшенице, који обухвата више подскупова прилагођених различитим задацима сегментације. Описани су скупови података за семантичку сегментацију класова пшенице у RGB и термалним сликама, као и скупови за сегментацију на нивоу инстанце у RGB подацима, са освртом на начин аотације, просторну и временску варијабилност сцена и сложеност услова на терену.

Посебан део поглавља посвећен је процени квалитета слика у наведеним скуповима података, при чему се анализира утицај фактора као што су осветљење, угао снимања, замућење, преклапање објеката и присуство шума на перформансе алгоритама сегментације. На основу те анализе дефинисане су препоруке и протоколи за оптималну аквизицију слика у пољским условима, са циљем унапређења квалитета података и поузданости резултата.

У завршном делу поглавља описани су лабораторијски RGB скупови података прикупљени у контролисаним условима, који су коришћени за 3D реконструкцију микро-парцела пшенице применом NeRF методе. Наглашена је улога контролисаног окружења у обезбеђивању конзистентних снимака и вишеструких погледа неопходних за квалитетну 3D реконструкцију и даљу анализу просторне структуре биљака.

4. Резултати

У поглављу Резултати приказани су и анализирани експериментални резултати предложених метода за семантичку сегментацију, сегментацију на нивоу инстанце и 3D реконструкцију, на прикупљеним мултимодалним скуповима података. Резултати су организовани кроз две студије случаја, које обухватају примену метода на подацима парадајза и пшенице, уз комбиновање квантитативне евалуације и визуелне анализе.

Први део поглавља посвећен је резултатима семантичке сегментације. У оквиру обе студије случаја анализирани су перформансе предложених модела на различитим типовима података, укључујући RGB, термалне и хиперспектралне слике. Приказани су квантитативни резултати добијени применом стандардних метрика, као и визуелни примери сегментације, што омогућава процену тачности, робусности и способности генерализације модела у реалним условима. Предложена OFCN архитектура показала је боље перформансе постижући F1 скор од 91,59% у поређењу са најчешће коришћеним архитектурама за семантичку сегментацију U-Net (75,23%) и Seg-Net (43,39%) за студију детекције круничних листова парадајза у хиперспектралним сликама. За студију семантичке сегментације класова пшенице у RGB и термалним сликама, иста архитектура постигла је F1 скор 75%, тачност сегментације 92% и прецизност од 85% на нивоу пиксела. Поред тога, важно је истаћи да предложена архитектура надмашује преостале две архитектуре по броју параметара који учествују у обуци мреже, што доприноси ефикаснијој оптимизацији и бржој обуци модела, без негативног утицаја на финалну тачност, прецизност и друге мере перформанси, а истовремено приближава примену модела на уређајима који се користе на терену и чини предложено решење ближим практичној примени.

Други део поглавља односи се на сегментацију на нивоу инстанце. Приказани су резултати за обе студије случаја, са посебним освртом на способност модела да раздвоји појединачне објекте исте класе у условима преклапања и варијабилне морфологије. За сегментацију круничних листова парадајза у хиперспектралним сликама на нивоу инстанце, предложен модел назван NMFMaskFPN, показао је најбоље перформансе, постижући прецизност од $94,05 \pm 3,25\%$ у поређењу са другим примарним модулима Mask R-CNN (енгл. *Mask Region-based Convolutional Neural Network*) архитектуре, поред FPN (C4 и DC5), у комбинацији са другим техникама за издвајање латентних спектралних информација, поред NMF (енгл. *Non-negative Matrix Factorization*), (енгл. *Principal Component Analysis* (PCA), *Independent Component Analysis* (ICA), *Probabilistic Principal Component*

Analysis, PPCA). Осим овог предложеног двостепеног алгорита, у докторској дисертацији предлага се и нови модел назван ConvMaskFPN, који представља целокупан ток обраде хиперспектралних слика и обухвата иницијализацију модела коефицијентима добијеним NMF техником за издвајање латентних хиперспектралних информација и уједно ради сегментацију круничних листова парадајза у хиперспектралним сликама на нивоу инстанце (MaskFPN). Ово унапређење се квантитативно оцењује кроз 1% метрике прецизности, а истовремено отвара могућности за развој оваквих типова адаптивних неуронских мрежа и унапређење обраде и примене комплексних хиперспектралних података у прецизној пољопривреди.

За студију сегментације класова пшенице на нивоу инстанце рађена је анализа 6 модела који су коришћени на отвореном, већ постојећем скупу података енгл. *Global Wheat Head Detection* (GWHD), и обједињеном скупу, заједно са новим додатим скупом података назван Bios-Wheat који је један од главних доприноса ове дисертације. Нови скуп података доприноси у варијабилности 4 нова генотипа, географске локације, као и различитим праксама сејања и већом густином, која значајно утиче на појаву оклузије и преклапања у сликама, што представља један од главних изазова за постизање прецизне сегментације. За анализу доприноса новог скупа и поређење са постојећим скупом података коришћени су модели F-RCNN са ResNet-50, ResNet-101 и ResNeXt-101 32×8d, RetinaNet са ResNet-101, YOLOv8, као и RT-DETR, при чему су резултати представљени кроз метрику прецизности, време обуке и време инференце. RT-DETR постигао је највећу прецизност на оба појединачна скупа, за GWHD $87,47 \pm 0,21\%$, док је за Bios-Wheat, модел постигао $90,1 \pm 0,12\%$. На обједињеном скупу података, исти модел постигао је прецизност од $91,00 \pm 0,41\%$. Добијен резултат на обједињеном скупу података се огледа у побољшању прецизности за 3,53% у односу на постигнуте резултате на GWHD скупу података, наглашавајући способност овог модела да искористи додатну варијабилност у подацима за обуку. Посебно је важно истаћи да Bios-Wheat скуп података уноси агрономски гушће сорте пшенице и сложеније услове на терену карактерисане високом густином сетве, израженим заклањањем и преклапањем класова и повећаном визуелном сложености која су у великој мери били недовољно заступљени у оргиналном GWHD скупу. Додатно је анализирана стабилност перформанси модела за детекцију класова пшенице, укључујући утицај различитих услова снимања и конфигурација модела. Ови експерименти су дизајнирани тако да процене како се најбољи модел понаша под реалним пертурбацијама које се могу јавити приликом мобилне или теренске примене, као што је варијација осветљаја, покретно замућење и компресија. Добијени резултати наглашавају да, иако екстремне пертурбације утичу на перформансе, модел остаје робусан у већини реалних дисторзија слике, са високом прецизношћу, што подржава његову погодност за примену у променљивим условима снимања у реалном окружењу. Такође, на основу резултата сегментације и детекције, демонстрирана је примена предложених метода за аутоматско бројање класова пшенице, као један од практично значајних задатака у прецизној пољопривреди.

Завршни део поглавља посвећен је резултатима 3D реконструкције сцене применом NeRF метода. Приказани су квалитативни и квантитативни резултати реконструкције микро-парцела пшенице, као и анализа добијене 3D репрезентације у смислу геометријске конзистентности, визуелног квалитета и потенцијала за даљу просторну анализу. Ови резултати указују на могућност интеграције 2D сегментационих резултата и 3D имплицитних репрезентација у оквиру јединственог аналитичког оквира.

5. Дискусија

У петом поглављу критички су размотрени резултати добијени применом предложених метода сегментације и 3D реконструкције у контексту прецизне пољопривреде. Посебна пажња посвећена је утицају избора архитектура неуронских мрежа, улози спектралних компоненти и сложености података на стабилност и поузданост предикција.

Сегментација инстанци круничних листова парадајза показала је да NMFMaskFPN архитектура остварује најбоље перформансе и стабилност, што је чини поузданим решењем за овај тип задатка. Увођење ConvMaskFPN модела са иницијализацијом коефицијената заснованом на издвојеним спектралним компонентама помоћу NMF методе омогућило је да се оствари унапређење у тачности предикција, показујући да интеграција издвојених спектралних информација доприноси поузданијим резултатима, нарочито у условима ограничене количине аотираних података. Ово

указује на потенцијал коришћења латентних спектралних компоненти као додатног извора информације за моделе дубоких неуронских мрежа у прецизној пољопривреди.

У сегментацији класова пшенице идентификовани су типични изазови као што су оклузија, преклапање објеката и варијабилност величине класова услед угла снимања и различите резолуције термалних и RGB слика. Допринос генотипске варијабилности и високе густине сетве, као што је представљено у BioS-Wheat подскупу, илуструје како сложена просторна дистрибуција може ограничити перформансе класичних *anchor*-детектора. Насупрот томе, савремене архитектуре као што су RT-DETR и YOLOv8 показале су већу стабилност и бољу генерализацију у овим условима, што указује на предности *anchor-free* или хибридних приступа у комплексним сценама са великим бројем преклапања.

Резултати 3D реконструкције методом NeRF показују да је модел способан да задржи структурну конзистентност и fine текстурне детаље, уз умерену временску стабилност. Иако тренутни резултати указују на задовољавајући ниво верности реконструкције, идентификована су ограничења у погледу временске стабилности и радиометријске конзистентности. Додатна оптимизација кроз побољшање аотираних маске, стабилизоване варијанте NeRF архитектура и бољу контролу услова снимања могла би да унапреди реалистичност и поузданост 3D сцене.

Свеукупно, резултати дисертације показују да предложени методолошки оквир нуди стабилна и поуздана решења за сегментацију и 3D реконструкцију у условима сложених сцена.

6. Закључак

У завршном поглављу износе се закључци добијени из истраживања и анализе презентованих резултата. Истичу се главни доприноси дисертације у вези са прикупљањем комплексних и разноврсних скупова података (термалне, RGB и хиперспектралне слике) у лабораторијским и теренским условима за две биљне културе, развојем нове неуронске мреже за семантичку сегментацију региона од интереса, која је робусна, прецизна и примењива на више модалитета и скупова података, интеграцијом и развој целокупног тока за обраду хиперспектралних слика која омогућава издвајање латентних спектралних компоненти и примену сегментације на нивоу инстанци, уз сачувану информацију и високу тачност.

Резултати показују да предложена дисертација значајно доприноси развоју алгоритама за обраду мултимодалних слика: развијена је нова архитектура за семантичку сегментацију која је успешно примењена на RGB, термалне и хиперспектралне слике; прикупљени подаци представљају нове скупове, где је показана сложеност и изазов доступности аотираних података, што омогућава боље моделирање реалних сценарија; и предложено решење у виду целокупног тока за обраду хиперспектралних слика које интегрише иницијализацију модела NMF коефицијентима са сегментацијом на нивоу инстанце, чиме се постиже ефикасна екстракција латентних карактеристика и директна примена на задатке сегментације. Ови резултати приближавају решење практичној примени и отварају могућности за даљи развој напредних алгоритама компјутерске визије у примени прецизне пољопривреде. Ова дисертација доприноси разумевању и примени ових приступа, пружајући основу за даље истраживање и унапређење техника 3D реконструкције и аутоматизоване анализе слика са применом у прецизној пољопривреди.

*На основу изложеног, Комисија **позитивно оцењује** све делове докторске дисертације.*

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.

Списак резултата M21 - Рад у врхунском међународном часопису

1. **Grbović, Ž.**, Panić, M., Stefanović, D., Brdar, S., Crnojević, V. and Lončar-Turukalo, T., 2025. Transfer learning models for wheat ear detection on multi-source dataset. Scientific Reports, 15(1), p.44740.
2. **Grbović, Ž.**, Panić, M., Filipović, V., Brdar, S., De Villiers, H., Mensink, M., & Chauhan, A. 2025. An efficient encoding spectral information in hyperspectral images for transfer learning of Mask R-CNN for instance segmentation of tomato sepals. IEEE Access.
3. Smajlhodžić-Deljo, M., Hundur Hiyari, M., Gurbeta Pokvić, L., Merdović, N., Bećirović, F., Spahić, L., **Grbović, Ž.**, Stefanović, D., Miličić, I. and Marko, O., 2024. Using Data-Driven Computer Vision Techniques to Improve Wheat Yield Prediction. AgriEngineering, 6(4), 4704-4719.
4. Brdar, S., Panić, M., Hogeveen-van Echtelt, E., Mensink, M., **Grbović, Ž.**, Woltering, E. and Chauhan, A., 2021. Predicting sensitivity of recently harvested tomatoes and tomato sepals to future fungal infections. Scientific Reports, 11(1), p.23109.

Списак резултата M22 - Рад у истакнутом међународном часопису

5. Bertotto, M., de Villiers, H.A., Chauhan, A., Hogeveen-van Echtelt, E., Mensink, M., **Grbović, Ž.**, Stefanović, D., Panic, M. and Brdar, S., 2024. Predicting fungal infection sensitivity of sepals in harvested tomatoes using imaging spectroscopy and partial least squares discriminant analysis. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 32(6), pp.192-206.

Списак резултата M33 - Саопштење са међународног скупа штампано у целини

6. Miličić, I., **Grbović, Ž.**, Buđen, M., Stevanović, N., Stanković, N. and Panić, M., 2024, November. Optimal Selection of Locations for Wheat Ear Smartphone Sampling Using UAV Multispectral Data. In 2024 32nd Telecommunications Forum (TELFOR) (pp. 1-4). IEEE.
7. de Villiers, H.A.C., Chauhan, A., Hogeveen-van Echtelt, E., Mensink, M., **Grbović, Ž.**, Stefanović, D., Panić, M. and Brdar, S., 2023, May. Investigating spectral imaging for predicting tomato sepal sensitivity of recently harvested tomatoes to fungal infections. In VII International Conference Postharvest Unlimited 1396 (pp. 99-106).
8. **Grbović, Ž.**, Panic, M., Marko, O., Brdar, S. and Crnojevic, V., 2019. Wheat ear detection in RGB and thermal images using deep neural networks. environments, 11(12), p.13.

Списак резултата M34 - Саопштење са међународног скупа штампано у изводу

9. Filipovic, V., **Grbović, Ž.**, Chauhan, A., de Villiers, H.A.C., Panić, M. and Brdar, S., 2024. Influence of spatial region selection on infection sensitivity prediction of tomato calyx using hyperspectral imaging. In the 14th International Conference on Information Society and Technology.
10. Filipovic, V., **Grbović, Ž.**, Chauhan, A., de Villiers, H.A.C., Panić, M. and Brdar, S., 2024, December. Analysis of tomato sepal fungal infection using hyperspectral imaging and deep learning. In The 14th IEEE GRSS Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in RemoteSensing (WHISPERS).
11. **Grbović, Ž.**, Panić, M., Brdar, S., Hogeveen-van Echtelt, E.M., Mensink, M.G.J., Woltering, E.J. and Chauhan, A., 2022. Deep learning instance level segmentation of tomato sepals on hyperspectral images. In IPPS 2022 Conference Book (pp. 239-239).
12. **Grbovic, Ž.**, Brkic, M., Panic, M., Brdar, S., Hogeveen-van Echtelt, E.M. and Chauhan, A., 2021, May. Semantic Segmentation of Tomato Sepals on Hyperspectral Images Using Deep Learning. In 13th EFITA International Conference.
13. Brdar, S., Hogeveen-van Echtelt, E., Panic, M., Mensink, M.G.J., **Grbović, Ž.**, El Harchioui, N. and Chauhan, A., 2019, July. A case study on prediction of sensitivity of tomato sepals to fungal infection using hyperspectral imaging. In the Book of Abstracts European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and the Environment (EFITA) 2019 (pp. 42-43).

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

Истраживање је засновано на проблему сегментације у области компјутерске визије и обраде слике. У резултатима докторске дисертације приказани су и анализирани експериментални резултати предложених метода за семантичку сегментацију, сегментацију на нивоу инстанце и 3D реконструкцију сцене, на прикупљеним мултимодалним скуповима података (RGB, термалне и хиперспектралне слике). Резултати су организовани кроз две студије случаја које обухватају примену метода на подацима парадајза и пшенице, уз комбиновање квантитативне евалуације и визуелне анализе.

Први део поглавља посвећен је резултатима семантичке сегментације. Анализиране су перформансе предложених модела на различитим типовима података, укључујући RGB, термалне и хиперспектралне слике. Приказани су квантитативни резултати добијени применом стандардних метрика, као и визуелни примери сегментације, што омогућава процену тачности, робустности и способности генерализације модела у реалним условима. Фокус истраживања је на способности модела да препозна и издвоји релевантне регионе интереса у присуству различитих визуелних и спектралних варијација, што је кључно за примену у прецизној пољопривреди.

Други део поглавља односи се на сегментацију на нивоу инстанце. Приказани су резултати за обе студије случаја, са посебним освртом на способност модела да раздвоји појединачне објекте исте класе у условима преклапања и варијабилне морфологије. Додатно је анализирана стабилност перформанси модела у детекцији класова пшенице, укључујући утицај различитих услова снимања и конфигурација модела. На основу резултата сегментације и детекције демонстрирана је примена предложених метода за аутоматско бројање класова пшенице и идентификацију круничних листова парадајза, као практична примена у контексту прецизне пољопривреде.

Завршни део поглавља посвећен је резултатима 3D реконструкције сцене применом NeRF метода. Приказани су квалитативни и квантитативни резултати реконструкције микро-парцеле пшенице, уз анализу геометријске конзистентности, визуелног квалитета и потенцијала за просторну анализу. Резултати указују на могућност интеграције 2D сегментационих резултата и 3D имплицитних репрезентација у оквиру јединственог аналитичког оквира, што омогућава даљу примену у прецизном моделовању биљних култура и планирању агротехничких мера.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:

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

Резултати истраживања у овој докторској дисертацији су добро описани и систематски приказани. Методе семантичке сегментације, сегментације на нивоу инстанце и 3D реконструкције су јасно представљене, а резултати су поткрепљени визуелним примерима, табелама и графиконима који олакшавају њихово разумевање и тумачење. Анализа резултата је логична, концизна и усмерена ка извођењу закључака, уз поређење са постојећим методама и истраживањима. Такође су дати предлози за даља истраживања и потенцијалну примену у прецизној пољопривреди. Укратко, начин приказа и тумачења резултата истраживања је јасан, добро структуриран и подржан одговарајућим визуелним примерима.

Рад је проверен у софтверу за детекцију плагијаризма *iThenticate*, у Библиотеци ФТН, о чему је комисија извештена путем електронске поште. Подударање је 1%.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE 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:

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

Да, докторска дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Да, дисертација садржи све битне елементе, укључујући наслов, садржину, резултате и тумачење истих, што се захтева од овакве врсте рада.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Оригинални научни доприноси дела докторске дисертације који се бави семантичком сегментацијом дубоким неуронским мрежама са применом на сликама различитих модалитета у прецизној пољопривреди су следећи:

- 1) Поступак аквизиције мултимодалних података (RGB, термалне и хиперспектралне слике) у лабораторијским и теренским условима, њихова предобрада и анотација у сврху обуке модела дубоке неуронске мреже за сегментацију ради прецизне процене фенотипских карактеристика биљних култура (пребројавање класова пшенице и детекција круничних листова плодова парадајза).
- 2) Развој нове архитектуре дубоке неуронске мреже за семантичку сегментацију региона од интереса која показује високу прецизност и робусност на различитим типовима података и задацима детекције. Мрежа омогућава обраду у реалном времену и примену на уређајима смањених рачунарских могућности (тзв. *edge* уређајима), при чему се задржава баланс између тачности и сложености архитектуре. Доказано је њено успешно коришћење на студијама случаја за детекцију и сегментацију класова пшенице и круничних листова парадајза. Даје се анализа перформанси предложених модела кроз квантитативне метрике и визуелне резултате, омогућавајући процену стабилности, генерализације и практичне примене у прецизној пољопривреди.
- 3) Унапређење савремених архитектура неуронских мрежа за детекцију и сегментацију инстанци круничних листова плодова парадајза на основу издвојених значајних латентних спектралних компоненти из хиперспектралних слика.
- 4) Интеграција имплицитне 3D репрезентације сцене класова пшенице са естимираним семантичком маскама класова из RGB слика на основу савремених алгоритама дубоких неуронских мрежа, уз анализу геометријске конзистентности и визуелног квалитета у 3D реконструкцији сцене.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

У дисертацији нису уочени недостаци који би утицали на резултате истраживања.

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, 23.01.2026.

1. др Милан Сечујски, редовни професор

_____, председник

2. др Никша Јаковљевић, ванредни професор

_____, члан

3. др Јованка Пантовић, редовни професор

_____, члан

4. др Милош Пајић, редовни професор

_____, члан

5. др Марко Панић, виши научни сарадник,

_____, ментор

6. др Татјана Лончар-Турукало, редовни 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.