

UNIVERZITET U BEOGRADU
Fakultet organizacionih nauka

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata **Milana Dobrote**

Odlukom Nastavno-naučnog veća FON-a br. 3/48-7, od 11.04.2018. imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Milana Dobrote, pod naslovom:

Statistički pristup definisanju zone osetljivosti u metodama daljinskog uzorkovanja

Posle pregleda dostavljene Disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa Kandidatom, Komisija je sačinila sledeći

R E F E R A T

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

Kandidat Milan Dobrota upisao je doktorske studije 2011/2012. godine. Položio je sve planom i programom predviđene ispite i prijavio je Pristupni rad 2016. godine. Komisija za pregled i odbranu pristupnog rada i ocenu naučne zasnovanosti prijavljene doktorske disertacije formirana je odlukom Nastavno-naučnog veća FON-a 05-01 br. 3/34-3 od 02.03.2016. Kandidat je Pristupni rad pod naslovom "Statistički pristup definisanju zone osetljivosti u metodama daljinskog uzorkovanja" odbranio 11.09.2017. godine. Odluka o usvajanju izveštaja Komisije za ocenu naučne zasnovanosti prijavljene doktorske disertacije br. 3/163-14, doneta je 08.11.2017. Veće naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu je na sednici održanoj 27.11.2017. godine, odlukom br. 61206-4830/2-17, odobrilo izradu predložene doktorske disertacije.

Mentor, dr Zoran Radojičić izvestio je 06.04.2018. godine da je doktorska disertacija završena i Nastavno-naučno veće FON-a je odlukom br. 3/48-7, od 11.04.2018. godine, formiralo Komisiju za pregled i ocenu završene doktorske disertacije u sastavu:

1. dr Zoran Radojičić, red. prof. FON-a
2. dr Dušan Starčević, red. prof. FON-a u penziji

3. dr Boris Delibašić, red. prof. FON-a
4. dr Aleksandar Đoković, docent FON-a
5. dr Dušan Surla, profesor emeritus PMF-a, Univerziteta u Novom Sadu

1.2. Naučna oblast disertacije

Doktorska disertacija "Statistički pristup definisanju zone osetljivosti u metodama daljinskog uzorkovanja", po predmetu istraživanja pripada oblasti Tehničkih nauka, užoj naučnoj oblasti Računarska statistika.

U okviru disertacije, razvija se metodologija za određivanje i primenu zone osetljivosti u analizi i klasifikaciji daljinski uzorkovanih podataka u obliku digitalnih fotografija. Zonom osetljivosti utvrđuju se oni entiteti (u našem slučaju pikseli digitalne fotografije) koje ne možemo s određenom sigurnošću klasifikovati u jednu od dve (ili više) kategorija od interesa, čime omogućujemo da ih tretiramo s posebnom pažnjom i dodatnim metodama klasifikacije. U disertaciji se predlaže nov način određivanja zone osetljivosti, primenom metoda multivarijacione statističke analize, za date daljinski uzorkovane podatke. Kao takav, predmet disertacije ima multidisciplinarni karakter iz domena računarske statistike, multivarijacione statističke analize i obrade digitalnih fotografija.

Dr Zoran Radojčić, redovni profesor Fakulteta organizacionih nauka, član je Katedre za operaciona istraživanja i statistiku. Dr Zoran Radojčić doktorirao je 2007-e godine na Fakultetu organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu sa disertacijom pod nazivom "Statistički model ocenjivanja na subjektivno procenjenim karakteristikama", u okviru koje je razvijen model koeficijenta preferencije, merenja i klasifikacije subjektivno procenjenih karakteristika, koji se zasniva na primeni multivarijacione statističke analize.

Na Fakultetu organizacionih nauka, dr Zoran Radojčić angažovan je u nastavi na predmetima Teorija verovatnoće, Statistika, Linearni statistički modeli, i Analiza podataka. Većina navedenih predmeta obrađuje koncepte iz oblasti računarske statistike sa različitih aspekata. Stoga je dr Zoran Radojčić kompetentan za vođenje ove disertacije.

Spisak radova koji kvalifikuju mentora za vođenje doktorske disertacije:

- **Radojčić, Z., & Jeremic, V. (2012).** Quantity or quality: what matters more in ranking higher education institutions? *Current Science*, 103(2), 158-162. ISSN: 0011-3891, **IF (2012) – 0.905**,
- **Radojčić, Z., Isljamovic, S., Petrovic, N., & Jeremic, V. (2012).** A Novel Approach to Evaluating Sustainable Development. *Problemy Ekorozwoju*, 7(1), 81-85. ISSN: 1895-6912, **IF (2011) – 1.980**
- Jeremic, V., Bulajic, M., Martic, M., & **Radojčić, Z. (2011).** A fresh approach to evaluating the academic ranking of world universities. *Scientometrics*, 87(3), 587-596, doi: 10.1007/s11192-011-0361-6. **IF – 1.966**
- Milenkovic, N., Vukmirovic, J., Bulajic, M., & **Radojčić, Z. (2014).** A Multivariate Approach in Measuring Socio-Economic Development of Mena Countries. *Economic Modelling*, 38, 604-608. **IF – 0.736**
- Jeremic, V., Bulajic, M., Martic, M., Markovic, A., Savic, G., Jeremic, D., & **Radojčić, Z. (2012).** An Evaluation of European Countries Health Systems through Distance Based Analysis. *Hippokratia*, 16(2), 170-174. **IF – 0.589**

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Milan Dobrota je rođen 19.07.1981. u Kninu. Osnovno školovanje započinje u Zagrebu a završava u Batajnici, uz Vukovu diplomu. U Beogradu, srednju elektrotehničku školu „Nikola Tesla“ pohađa od 1995. do 1999. godine, kada i upisuje Fakultet organizacionih nauka, smer Informacioni sistemi i tehnologije. Tokom studija bio je angažovan kao demonstrator vežbi na predmetu Principi programiranja, među osnivačima je Udruženja studenata informatike FONIS i bio je član Fudbalske ekipe fakulteta čitavim tokom studija.

Profesionalnu karijeru započinje sa 20 godina, kada je u periodu od 2001. do 2003. bio zaposlen u lokalnom ogranku kanadske kompanije Optiwave Systems Inc. na poslovima softver inženjera za razvoj sistema optičkih komunikacija. Nakon toga, do 2005. nastavlja bavljenjem razvojem softvera kao nezavisni preduzetnik, da bi se 2005. zaposlio u francuskoj kompaniji Interex, balkanskom ogranku francuskog lanca supermarketa Intermarché, na poziciji Analitičar poslovanja u centralnom odeljenju za informacione tehnologije. Godinu dana kasnije, 2006, preuzima funkciju Projektnog vođe u istom sektoru. U januaru 2007. diplomira na Fakultetu organizacionih nauka pod mentorstvom prof. dr Siniše Vlajića, sa prosečnom ocenom studija 8.16 i ocenom 10 na Diplomskom radu. Te godine, 2007, u istoj kompaniji preuzima poziciju direktora Sektora za informacione tehnologije za region Balkana, a od 2009. uzima i ulogu u regionalnom Upravnom odboru kompanije, kao jedini član bez francuskog porekla. Iste godine nastavlja i preduzetničku karijeru kao suosnivač kompanije Golive Information Systems Consulting. Godine 2011. upisuje Doktorske studije na Fakultetu organizacionih nauka u Beogradu, studijski program Informacioni sistemi i menadžment – Menadžment.

Godine 2012. napušta prethodna profesionalna angažovanja da bi osnovao kompaniju LOGIT, koja danas broji 40 inženjera, u kancelarijama u Beogradu, Ploiesti (Rumunija) i Sarajevu (BIH), angažovanih na različitim internacionalnim softverskim, konsultantskim i istraživačko-razvojnim projektima. U kompaniji LOGIT je do danas i zaposlen kao direktor grupe. Početkom 2015. osniva „spin-off“ projekat i poslovni poduhvat, danas poznat pod brendom Agremo, koji se bavi razvojem softverskog rešenja za automatizaciju analiza slika prikupljenih daljinskim uzorkovanjem, prvenstveno pomoću bespilotnih letelica (dronova), za svrhe precizne poljoprivrede i efikasnijeg uzgoja useva. Rešenje je danas prepoznato kao jedno od svetskih lidera inovacije u oblasti analize podataka prikupljenih bespilotnim letelicama u poljoprivredi, na globalnom nivou.

Od 2015. je takođe angažovan i kao konsultant Evropske banke za obnovu i razvoj, u svojstvu samostalnog industrijskog savetnika a od iste godine do kraja 2016. i kao ko-direktor beogradskog ogranka Founder Institute-a, programa obuke preduzetnika i podrške startup kompanijama iz „Silikonske doline“, SAD. Tokom dosadašnje profesionalne karijere učestvovao je na preko 27 velikih projekata, u svojstvu inženjera, menadžera ili konsultanta, od kojih je velika većina internacionalnog karaktera. Tokom dosadašnjeg toka Doktorskih studija u saradnji sa drugim autorima objavio više naučnih radova u zbornicima domaćih i međunarodnih konferencija, te domaćem kao i u vrhunskom međunarodnom naučnom časopisu.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Disertacija je izložena na 211 stranica, sadrži 86 slika, 22 tabele i 2 priloga. U popisu korišćene literature kandidat je naveo 108 referentnih jedinica.

U okviru disertacije materija je prikazana u 9 poglavlja:

1. Uvod
2. Geografski informacioni sistemi (GIS)
3. Daljinsko uzorkovanje
4. Multivarijaciona statistička analiza
5. Metodologija klasifikacije u daljinskom uzorkovanju
6. Statistički pristup definisanju zone osetljivosti
7. Primena zone osetljivosti kod daljinskog uzorkovanja – studije slučaja
8. Zaključak
9. Literatura

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

Uvodno poglavlje sadrži opis predmeta i cilj istraživanja. U njemu su definisani osnovni pojmovi i data su ključna objašnjenja vezana za temu doktorske disertacije. Osnovni predmet istraživanja u disertaciji je analiza metodologija daljinskog uzorkovanja sa aspekta prikupljanja i pripreme podataka u formu pogodnu za obradu, i posebno obrade podataka statističkim metodama u svrhu klasifikacije, sa ciljem identifikacije određenih pojava. Poseban akcenat istraživanja je predlaganje metodologije za definisanje zona osetljivosti pri klasifikaciji pojava, primarno pomoću statističkih metoda multivarijacione analize. U poglavlju se navode polazne hipoteze i metode istraživanja, daje se sadržaj i opis disertacije, uz navođenje ključnih aspekata na koje će se disertacija usmeriti.

U drugom poglavlju definisani su osnovni pojmovi vezani za Geografske informacione sisteme (GIS). Dat je opis GIS-a kao kompjuterskog informacionog sistem koji prikuplja, skladišti, analizira i prikazuje prostorne entitete i njihove atribute, za rešavanje kompleksnih istraživačkih, projektantskih i problema upravljanja (Fischer & Nijkamp, 1992). Iz pogleda korisnika GIS je opisan kao sistem zasnovan na računaru koji pruža mogućnosti za upravljanje georefenciranim podacima: prikupljanje i priprema podataka, upravljanje podacima (uključujući skladištenje i održavanje), manipulacije nad podacima i analize i na kraju prezentovanje podataka. Podaci su činjenice, mere i karakteristike o nečemu od interesa a prostorni se odnose na geografske objekte realnog sveta od značaja, poput ulica, zgrada, jezera, zemalja, sa svojim respektivnim lokacijama. Prostorni podaci opisuju geografske prostorne aspekte fenomena, dok atributski podaci opisuju kvalitete i karakteristike datog fenomena, a njihova integracija je jedna od osnovnih karakteristika GIS-a (Campbell & Shin, 2011; Sutton, Dassau, & Sutton, 2009). Naročito je načinjen osvrt na povezanost GIS-a i daljinskog uzorkovanja, gde je GIS nezaobilazan alat u analizi prostornih podataka.

U trećem poglavlju definisani su osnovni pojmovi vezani za Daljinsko uzorkovanje, koje se, između ostalog, opisuje kao naučna oblast i tehnika za prikupljanje informacija o objektu (najčešće Zemljinoj površini) bez dolaženja u kontakt sa njim (dakle na daljinu, npr. iz letelice, satelita, itd.). Sprovodi se uzorkovanjem (očitanjem) putem beleženja reflektovane ili emitovane energije (elektromagnetno zračenje, akustičnost, itd.) objekta, procesiranjem, analiziranjem i primenom informacija (Khorram, Wiele, Koch, Nelson, & Potts, 2016). Oblasti primene tehnika daljinskog uzorkovanja su brojne, a neke od njih su (Levin, 1999): poljoprivreda, šumarstvo, geologija, hidrologija, morski led, zemljišni pokrivač i upotreba zemljišta, mapiranje, nadzor okeana i obala, itd. Danas, daljinsko uzorkovanje je prepoznata interdisciplinarna oblast širom sveta. Često je uparena sa disciplinama obrade slika i geografskog informacionog sistema (GIS) za široku oblast geospatijalne nauke i tehnologije. Elementi neophodni za izvođenje daljinskog uzorkovanja su navedeni kao: 1) Izvor energije ili osvetljenost; 2) Zračenje i uticaj atmosfere, 3) Interakcija energije (svetlosti) sa objektom, 4) Snimanje energije putem senzora, 5) Emitovanje, prijem i procesiranje energije, 6) Interpretacija i analiza, 7) Primena, dok je u disertaciji od posebnog značaja tačka 6, koja se odnosi na interpretaciju i analizu podataka zabeleženih u formi digitalnih slika, i to njihova interpretacija računarskim putem, odnosno statističkim metodama. Ovde je ključna činjenica da je svaka digitalna slika sastavljena od piksela, koji čine najsitnije komponente jedne slike i koji imaju svako svoju osvetljenost i zabeležni spektar boja, a koje mi u daljem razmatranju možemo smatrati pojedinačnim entitetima statističkog uzorka koji predstavlja sama slika. Većina standardnih funkcija obrade i analize slika se kategorizuju u četiri kategorije: predprocesiranje, poboljšanja, transformacije, i klasifikacija, koja je u disertaciji od posebnog značaja i koristi se da identifikuje i klasifikuje delove ili piksele slike, odnosno podatke. Obično se izvodi na višestrukim skupovima podataka a cilj je dodeljivanje svakog piksela slike određenoj klasi (npr. voda, vrsta šume, kukuruz, pšenica), na osnovu statističkih karakteristika intenziteta i obojenosti piksela (Canada Centre for Remote Sensing, 2007).

U četvrtom poglavlju dati su osnovni koncepti Multivarijacione statističke analize. Termin multivarijaciona analiza se koristi da predstavi višedimenzionalni aspekt analize podataka. Mnogobrojne pojave i fenomeni opisani su većim brojem različitih promenljivih, a to se svakako odnosi i na podatke dobijene daljinskim uzorkovanjem gde je svako piksel tipično predstavljen u tri ili više različitih opsega svetlosnog spektra. Multivarijaciona analiza predstavlja skup statističkih metoda koje simultano analiziraju višedimenzionalna merenja dobijena za svaku jedinicu posmatranja iz skupa objekata koji ispituju. Ovim metodama istovremeno se postiže pojednostavljivanje složene strukture posmatranog fenomena u cilju njegove lakše interpretacije (Kovačić, 1994). U disertaciji naročito su opisane tehnike Analize grupisanja, koja je od manjeg značaja za kasnije predloženi metod, i Diskriminacione analize, koja je u srži predloženog metoda. U poglavlju je takođe posebno opisana Bajesova teorija odlučivanja sa parametarskim i neparametarskim tehnikama procene gustine raspodela, što je takođe od velikog značaja u nastavku disertacije. *Analiza grupisanja* je metoda za redukciju podataka koja je orijentisana ka entitetima (objektima) matrice podataka a tom analizom se kombinuju objekti u grupe relativno homogenih objekata (Kovačić, 1994). *Diskriminaciona analiza* se bavi problemom razdvajanja grupa i alokacijom opservacija u ranije definisane grupe (Kovačić, 1994). Ona ima dva osnovna cilja: Prvi, da utvrdi da li postoji statistički značajna razlika u sredinama dve ili više grupa, a zatim da odredi koja od promenljivih daje najveći doprinos utvrđenoj razlici. Ovaj cilj analize nazivamo diskriminacija ili razdvajanje između grupa. Drugi cilj odnosi se na utvrđivanje postupka za klasifikaciju opservacija na osnovu vrednosti nekoliko promenljivih u dve ili više razdvojenih, unapred definisanih grupa. Ovaj cilj analize nazivamo klasifikacija ili alokacija opservacija (Kovačić, 1994) i ona je

naročito od značaja za istraživanje i predloženi metod u doktorskoj disertaciji. Strateški pristup u diskriminacionoj analizi podređen je nalaženju sredstava za razdvajanje grupa, odnosno pouzdanu klasifikaciju opservacija. S obzirom da klasifikacija pomoću samo jedne od zavisnih promenljivih često dovodi do suviše velikog broja grešaka klasifikacije, želimo da odredimo linearnu kombinaciju nezavisnih promenljivih tako da se minimizira verovatnoća pogrešne klasifikacije opservacija – kombinacija dve ili više promenljivih može doprineti boljoj klasifikaciji (Kovačić, 1994; Duda, Hart, & Stork, 2000; Radojičić, 2001; Webb & Copsey, 2011).

U petom poglavlju dat je pregled tehnika koje se koriste za klasifikaciju u daljniskom uzorkovanju, kao ključnih metoda u doktorskoj disertaciji. U prvom delu poglavlja je napravljen uvod u pojam digitalnih slika, sa teoretskim osnovama, kao i u osnovne tehnike njihove obrade u daljniskom uzorkovanju. Zatim je napravljen pregled standardnih procedura klasifikacije koje se grupišu u dve grupe: Prvu, *Klasifikacija sa nadzorom* ili *nadgledana klasifikacija*: gde analitičar identifikuje delove slike kao reprezentativne uzorke tipova površine (klase informacija), koji se nazivaju oblastima učenja, a na osnovu čijih se spektralnih svojstva piksela algoritam „trenira“ da prepozna spektralno slične oblasti za svaku od klasa. Jedna od oblasti multivarijacione analize koja se bavi ovakvom klasifikacijom je upravo Diskriminaciona analiza. Druga, *Klasifikacija bez nadzora* ili *nenadgledana klasifikacija*, u kom slučaju su spektralne klase prvo grupisane, jedino na osnovu svojih numeričkih podataka, a zatim se analitičar bavi njihovim validiranjem i mapiranjem u klase informacija (ukoliko je moguće). Jedna od oblasti multivarijacione analize koja se bavi ovom vrstom klasifikacije je Analiza grupisanja. Kada je izlaz daljinskog uzorkovanja klasifikovana mapa, od suštinskog je značaja proceniti njenu tačnost. Mapa je zaista nesavršena reprezentacija fenomena kojeg oslikava. Drugim rečima, svaka mapa sadrži greške, i odgovornost je analitičara da okarakteriše te greške pre nego se mapa nađe u daljoj upotrebi. Najprihvaćeniji metod za procenu tačnosti u mapama proisteklim iz daljinskog uzorkovanja je pomoću poređenja sa referentnim podacima (poznatim kao „istina sa tla“, eng. *ground truth*) prikupljenim obilaskom i adekvatnim uzorkovanjem lokacija na licu mesta (Khorram, Wiele, Koch, Nelson, & Potts, 2016). Bez obzira na statistički metod klasifikacije piksela u Klase informacija, jasno je da klasifikaciju treba razmatrati uz određeni nivo preciznosti klasifikovanja. Iz tog razloga ova glava takođe daje pregled tehnika merenja tačnosti klasifikacije. Jedan od ciljeva istraživanja opisanog u disertaciji je upravo razvoj metodologije koja će (korišćenjem zone osetljivosti) pospešiti ukupnu tačnost klasifikovanja, pri čemu će potrebno vreme i resursi za sprovođenje klasifikacije biti smanjeni.

U šestom poglavlju je prvo detaljnije diskutovan problem klasifikacije, određivanje zone osetljivosti i stepena preklapanja, a potom je dat predlog nove metode računanja i primene zone osetljivosti u daljniskom uzorkovanju, kao rezultat istraživačkog rada sprovedenog tokom izrade disertacije. Problem klasifikacije nastaje kada istraživač napravi potreban broj merenja i želi da klasifikuje individue u jednu od nekoliko kategorija na bazi ovih mera. Osnovno pitanje je iz koje populacije potiče navedeni entitet, u našem slučaju piksel, sa određenim merama. U konstrukciji procedure klasifikacije potrebno je minimizirati verovatnoću pogrešne klasifikacije, ili konkretnije, poželjno je minimizirati rezultate loših efekata pogrešne klasifikacije (Radojičić, 2001). Zona osetljivosti predstavlja granične vrednosti kategorija a definiše se u slučajevima kada nismo u mogućnosti da utvrdimo kategoriju entiteta. Osim određivanja kategorija pojava, bitno je odrediti i granice tih pojava, tj. odrediti one oblasti u kojima možemo sa sigurnošću pretpostaviti da entiteti pripadaju definisanoj kategoriji, i one kada to ne možemo pretpostaviti sa sigurnošću. Problem nastaje kada su verovatnoće pripadanja entiteta jednoj ili drugoj kategoriji dosta male i ne

zadovoljavaju nivo poverenja koji želimo da zadržimo. Definisanjem metodologije određivanja zone osetljivosti rešava se problem na način da se identifikuju elementi koji se nalaze u graničnoj oblasti, između dve kategorije, a koju nazivamo zona osetljivosti (Radojičić, 2001). Jedan od ciljeva istraživanja opisanog u disertaciji je upravo iznalaženje pogodne metodologije za određivanje zone osetljivosti kod daljinskog uzorkovanja, koja će na unapređen način piksele u odgovarajuće klase, te je to opisano u ovom poglavlju. Detaljno je, po koracima, opisana metoda za određivanje zone osetljivosti, i istaknute su njene prednosti u odnosu na dosadašnje metode klasifikacije daljinski uzorkovanih podataka. Prednosti se prvenstveno ogledaju u unapređenju tačnosti klasifikacije pri smanjenju ukupnog vremena i računarskih resursa potrebnih za računanje. U predloženoj metodi se klasifikacija sprovodi u dve faze, u prvoj se primenjuje veoma brza metoda određivanja (hiper)ravni podele pomoću diskriminacione analize, zatim se utvrđuju entiteti u zoni osetljivosti i na njih primenjuje u drugom koraku računski zahtevna klasifikacija pomoću metode k -najbližih suseda (kNN). U poglavlju je definisan i način merenja tačnosti klasifikacije.

U sedmom poglavlju prikazane su studije slučaja i mogućnosti primene zone osetljivosti u daljinskom uzorkovanju u preciznoj poljoprivredi. Opisan je problem idvajanja useva od zemljišta (ili korova ili drugih objekata, odnosno svega što ne predstavlja usev – biljke od interesa). Predložena metoda je sprovedena na nekoliko različitih vrsta useva i rezultati su upoređeni sa ostalim metodama klasifikacije upotrebi, SVM i kNN (koja je manje u upotrebi zbog performansi na velikim količinama podataka ali je zbog postignute tačnosti korišćena kao referentna). S obzirom na prirodu podataka nad kojim je vršeno testiranje, naročito je dat doprinos u pogledu mogućnosti analiza slika prikupljenih pomoću bespilotnih letelica, i to pre svega u poljoprivredi u nadzoru jednogodišnjih i višegodišnjih useva sa specifičnostima koje takva primena nosi.

Na kraju je dat zaključak sa odgovorima na pitanja u vezi sa postavljenim ciljem i hipotezama. Data je sistematizacija i pregled naučnih doprinosa koji su proistekli iz rada na doktorskoj disertaciji, skup otvorenih problema i mogućnosti za dalji rad u oblasti.

Literatura korišćena prilikom izrade doktorske disertacije sadrži relevantne reference drugih istraživača.

U prilogu je ukratko opisano realizovano softversko rešenje pomoću kojeg je sprovedeno istraživanje i analiza podataka.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Doktorska disertacija "Statistički pristup definisanju zone osetljivosti u metodama daljinskog uzorkovanja", kandidata Milana Dobrote, bavi se veoma aktuelnom problematikom klasifikacije daljinski uzorkovanih podataka, i to naročito u oblasti primene bespilotnih letelica (dronova) u preciznoj poljoprivredi. Naučna i industrijska oblast daljinskog uzorkovanja ušla je u eru opservacija Zemljine površine s visokim rezolucijama, podaci prikupljeni daljinskim uzorkovanjem doživljavaju eksplozivni rast (Ma, i drugi, 2015). Brz rast količine podataka takođe utiče na povećanje kompleksnosti podataka daljinskog uzorkovanja, kao što su raznovrsnost i visoka dimenzionalnost. Time takvi podaci zahtevaju dodatnu dimenziju razmatranja koje se odnosi na performanse obrade podataka tako velikih

količina podataka. Ova činjenica je uzeta u obzir tokom istraživanja i predloženi metodološki pristup uvažava činjenicu o obimu podataka i performansne aspekte koje takva činjenica nosi. U daljem razvoju tehnika i primena daljinskog uzorkovanja, pored inovacija koje se konstantno dešavaju kod tradicionalne satelitske tehnologije, razvija se i spektar novih platformi za prikupljanje podataka putem daljinskog uzorkovanja. Ovo uključuje nanosatelite, mikrosatelite i posebno bespilotne letelice. Rastuća popularnost bespilotnih letelica i pomeranje granica njihove komercijalne upotrebe ukazuju na dalji rast njihove primene. Paralelno sa napretkom hardverskih platformi, očekuje se dalji napredak algoritama za procesiranje podataka, gde je jedna od ključnih oblasti inovacije razvoj algoritama procesiranja podataka daljinskog uzorkovanja. (Khorram, Wiele, Koch, Nelson, & Potts, 2016). Zbog svega navedenog, oblast kojim se bavi istraživanje sadrži mnogo prostora za unapređenje, pri čemu se očekuje dalja popularizacija daljinskog uzorkovanja kao naučne discipline.

Doktorska disertacija detaljno analizira dosadašnja istraživanja i saznanja iz oblasti analize podataka u daljinskom uzorkovanju. Na osnovu pregleda literature, uočena je potreba za predlogom nove metode klasifikacije podataka koju će karakterisati: (i) manja zahtevnost po pitanju utrošenih resurasa za obradu podataka, naročito vremena, računarskih resurasa, ljudskih resurasa i (ii) veća tačnost klasifikacije u odnosu na metode kojima su performanse primarni kriterijum. Shodno tome razvijen je originalni statistički pristup određivanju i primeni zone osetljivosti: dvofazna klasifikacija daljinski uzorkovanih podataka primenom zone osetljivosti.

Disertacija takođe daje predlog originalnog softverskog rešenja za brzo određivanje ulaznih uzoraka podataka (trening podataka) i za dvofaznu klasifikaciju podataka računanjem zone osetljivosti.

Na osnovu izloženog, može se zaključiti da dobijeni rezultati doktorske disertacije predstavljaju naučni doprinos u odnosu na postojeće stanje, i otvaraju prostor za dalja istraživanja. Značaj teme doktorske disertacije ogleda se i u činjenici da je model primenljiv u praksi na veliki broj slučajeva klasifikacije u daljinskom uzorkovanju.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

Literatura koju je kandidat koristio prilikom pisanja doktorske disertacije, obuhvata 108 referenci. Mnogobrojna istraživanja tematike, kojom se bavi disertacija, publikovana su u časopisima, prezentovana na konferencijama, kao i detaljno predstavljena u drugim literaturnim oblicima.

Kandidat je u doktorskoj disertaciji koristio savremenu i relevantnu literaturu. Literatura obuhvata relevantne autore iz oblasti kojom se disertacija bavi, radove iz relevantnih naučnih časopisa i sa konferencija na kojima su predstavljeni rezultati, koji su u skladu sa temom disertacije. Literatura obuhvata i kritike postojećih metoda klasifikacije u okviru studija slučaja koje su obrađene u disertaciji. Kroz brojne radove izvršen je kritički osvrt na ranije korišćene metodologije klasifikacije u daljinskom uzorkovanju, njihove prednosti i nedostatke.

Najznačajniji referentni navodi su vezani za metodologiju klasifikacije entiteta statističkim tehnikama diskriminacione analize, određivanje zone osetljivosti i opštih tehnika klasifikacije u daljinskom uzorkovanju. Ističu se sledeći referentni navodi:

- Tempfli, K., Kerle, N., Huurneman, G. C., & Janssen, L. L. (2009). Principles of Remote Sensing: An introductory textbook. Enschede: The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC)
- Radojičić, Z. (2001). Statističko merenje intenziteta pojava, Magistarski rad. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka
- Duda, R. O., Hart, P. E., & Stork, D. G. (2000). Pattern Classification (2nd ed.). New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Webb, A. R., & Copsey, K. D. (2011). Statistical Pattern Recognition (3rd ed.). Malvern, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Osnovni metod istraživanja bazira se na postojećim teorijskim osnovama i eksperimentalnom radu u navedenoj oblasti. Takođe se bazira na sakupljanju i proučavanju dostupne literature, analizi i sistematizaciji literature, s ciljem da se pokaže opravdanost i korisnost razvoja nove metodologije klasifikacije u daljinskom uzorkovanju korišćenjem zone osetljivosti.

Radi testiranja postavljenih hipoteza u toku izrade disertacije primenjen je niz naučnih metoda od sistematskog pregleda stanja u oblasti istraživanja, sa adekvatnim klasifikacijama problema, pristupa, metoda i tehnika, navođenjem literature, analize postojećih rezultata i zaključivanjem sa predikcijom budućih pravaca razvoja. U izradi disertacije korišćene su sledeće naučne metode:

- U prvom delu disertacije (poglavlja 1, 2, 3, 4 i 5) korišćene su metode prikupljanja i analize postojećih naučnih rezultata i dostignuća.
- U drugom delu (poglavlje 6), korišćene su metode i tehnike unapređenja postojećih metodologija, i predložen je originalni statistički pristup za određivanje i primenu zone osetljivosti u daljinskom uzorkovanju.
- Treći deo disertacije (poglavlje 7), posvećen je primeni definisanog metoda na nekoliko studija slučaja. U okviru validacije metodologije dvofazne klasifikacije daljinski uzorkovanih podataka primenom zone osetljivosti, primenjene su komparativne analize sa ostalim metodima klasifikacije koje se koriste u oblasti.

Istraživanje ima multidisciplinarni karakter iz domena računarske statistike, multivarijacione statističke analize i obrade digitalnih signala (fotografija). Rad se zasniva na primeni:

- Metoda prikupljanja podataka pomoću daljinskog uzorkovanja
- Metoda predprocesiranja digitalnih slika (spajanje, tagovanje, filtriranje)
- Metoda i tehnika eksplorativne analize podataka
- Projektovanja i implementacije algoritamskih struktura
- Metoda za statističku analizu i obradu podataka
- Multivarijacionih statističkih analiza (primarno diskriminaciona analiza)
- Metoda komparativne analize

Na osnovu analize sadržaja doktorske disertacije, može se zaključiti da primenjene naučne metode i tehnike odgovaraju, po svom značaju i strukturi, temi disertacije i sprovedenom istraživanju.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Rezultati doktorske disertacije imaju praktičnu primenu za široki broj slučajeva iz domena klasifikacije digitalnih fotografija, ne samo u oblasti daljinski uzorkovanih podataka u domenu precizne poljoprivrede. Iako je metodologija prikazana na studijama slučajeva klasifikacije daljinski uzorkovanih podataka u dve klase (usev i ostalo), ona se lako može generalizovati na klasifikaciju u više klasa i za klasifikaciju bilo kojih fenomena sadržanih u podacima. Metodologije obuhvaćene istraživanjem su iz domena nadgledane klasifikacije podataka i time spadaju u tehnike mašinskog učenja. Takođe, iako je metod demonstriran na vazдушnim fotografijama visoke rezolucije (koje su omogućene novijim probojem tehnologije bespilotnih letelica), one se lako mogu primeniti i na satelitske snimke, pri čemu se, zavisno od obima podataka, metod može razraditi u više iteracija i sukcesivnim dolaženjem do cilja klasifikacije svih entiteta – piksela.

Dvofazna klasifikacija daljinski uzorkovanih podataka primenom zone osetljivosti se može praktično primeniti i na druge probleme od interesa, koje karakteriše višedimenziona priroda i velika količina podataka (entiteta) koje je potrebno klasifikovati. Dosadašnje istraživanje ove doktorske disertacije pokazalo je da predložena metodologija klasifikacije optimizuje proces po dva kriterijuma: performanse-brzina obrade i postignuta tačnost, čime unapređuje rasprostranjene metode klasifikacije koje su u upotrebi.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

U toku izrade doktorske disertacije, kandidat Milan Dobrota pokazao je sposobnost da samostalno rešava naučne probleme i da vlada naučnim i istraživačkim metodama, kao i da poseduje potrebna stručna, teorijska i praktična znanja potrebna za samostalni naučni rad.

Kandidat je uočio važne nedostatke i probleme postojećih metoda za klasifikaciju daljinski uzorkovanih podataka, i kreirao originalni metod za dvofaznu klasifikaciju daljinski uzorkovanih podataka primenom zone osetljivosti. Sveobuhvatni i sistematizovani pregled literature iz oblasti istraživanja, pokazuje sposobnost kandidata za samostalno otkrivanje i sagledavanje otvorenih problema istraživanja, kao i kritičku analizu postojećih saznanja.

Na osnovu navedenog, smatramo da kandidat Milan Dobrota poseduje potrebno znanje i iskustvo za samostalan naučni rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Doprinos doktorske disertacije ogleda se u definisanju sistematskog pregleda proučavane oblasti kao i predloga originalnog modela za klasifikaciju daljinski uzorkovanih podataka. Razvijeni model može da se koristi za klasifikaciju daljinski uzorkovanih podataka, kao sredstva za identifikaciju i evaluaciju pojava i fenomena koji se javljaju na zemljinoj površini ili generalno na bilo kom objektu proučavanom daljinskom detekcijom.

Predložena metodologija, nazvana Dvofazna klasifikacija daljinski uzorkovanih podataka primenom zone osetljivosti, potvrđena je kroz veći broj testova izvršenim nad stvarnim podacima, kojima se rešavaju realni problemi iz prakse (npr. brojanje biljaka, analiza zdravstvenog stanja biljaka, identifikacija biljaka zahvaćenih nekim oblikom stresa) i uporednom analizom rezultata koje postižu ostale metode klasifikacije.

Doktorskom disertacijom se predlaže i softversko rešenje za brzo određivanje trening seta podataka, računanje zone osetljivosti klasifikaciju podataka tom metodom, te računanje tačnosti klasifikacije za evaluaciju postignutih rezultata, kojim se ubrzava proces istraživanja i postizanje krajnjih rezultata.

Može se zaključiti da su rezultati, proistekli iz istraživanja u doktorskoj disertaciji, pružili nekoliko različitih doprinosa, među kojima su:

- Celovit prikaz problematike daljinskog uzorkovanja i klasifikacije podataka (slika) i modela koji se primenjuju.
- Predlog originalnog statističkog modela klasifikacije daljinski uzorkovanih podataka koji se zasniva na određivanju zone osetljivosti.
- Unapređenje klasifikacije koje se ogleda u povećanju tačnosti i smanjenom broju resursa.
- Implementacija predloženog modela u konkretnim problemima daljinskog uzorkovanja (s fokusom na preciznu poljoprivredu) i verifikacija dobijenih rezultata kroz praktičnu primenu modela.
- Potvrda postavljenih hipoteza i predstavljanje rezultata dobijenih predloženim modelom klasifikacije daljinski uzorkovanih podataka.
- Multidisciplinarnosti teme istraživanja koja se zasniva na pomenutim statističkim metodama.
- Predlog softverskog rešenja za klasifikaciju podataka pomoću opisanog metoda.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Pregledom literature u oblasti klasifikacije daljinski uzorkovanih podataka, uočeni su nedostaci kod postojećih metodologija. Najviše se ističu problemi u vezi sa velikom količinom podataka i kompromisom između tačnosti i brzine (performansi) klasifikacije, koji se ogledaju u činjenici da se i na tako velikom skupu podataka (entiteta za klasifikaciju) svi podaci tretiraju istim nivoom značajnosti i sa istim nivoom detalja (bilo da je nivo detalja suviše veliki-što dovodi do previše računski zahtevnih operacija ili suviše mali-što dovodi do nedovoljne tačnosti klasifikacije).

Mogućnosti za unapređenje metoda klasifikacije ogledaju se u tome da se predloženi statistički model zasniva na dinamički određenom nivou detalja kojim se tretiraju različite grupe entiteta (piksela u ovom slučaju) za klasifikaciju. Samo manji deo entiteta za koje postoji značajna verovatnoća pogrešne klasifikacije se, predloženim metodom, tretira računski zahtevnim operacijama kako bi se obezbedio kompromis između performansi i tačnosti klasifikacije.

Dalji pravci istraživanja ogledaju se u mogućnostima unapređenja i proširenja predloženog metoda na način da se razrađuje postupak u smislu broja iterativnih koraka primene metoda u zavisnosti od ulaznih parametara i podataka (npr. identifikovanje zone osetljivosti unutar zone osetljivosti, na višem nivou detalja), kao i da se razrade mogućnosti kombinovanja različitih

metoda klasifikacije nad različitim skupovima entiteta identifikovanih predloženim metodom (entiteti koji upadaju i koji su izvan zone osetljivosti).

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Naučni doprinos doktorske disertacije "Statistički pristup definisanju zone osetljivosti u metodama daljinskog uzorkovanja", kandidata Milana Dobrote, verifikovan je sledećim publikacijama koje su rezultat istraživanja u oblasti doktorske disertacije:

Kategorija M20:

1. **Dobrota, M.**, & Dobrota, M. (2016). ARWU Ranking Uncertainty and Sensitivity: What If the Award Factor Was Excluded? *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 67(2), 480-482. DOI: 10.1002/asi.23527. Print ISSN: 2330-1635, Online ISSN: 2330-1643. (Godina: 2016; Kategorija: **M21**; Disciplina: Computer Science, Information Systems; Pozicija: 18/85; Impakt Faktor: 2.322)

Kategorija M30:

2. Mikić, S., Stanisavljević, D., Čarapić, R., Pavičić, N., Mitrović, B., Zorić, M. & **Dobrota, M.** (2016). The application of agriculture remote aerial sensing in Serbia. *Proceedings of the 2nd General Meeting of COST FA1306 – PhenomenAll*, p-5. April 18-20. Copenhagen, Denmark. (**M34**)
3. **Dobrota, M.**, Delibašić, B. & Delias, P. (2015). Process Mining and Clustering for Injury Risk Assessment based on Skiing Patterns. *Proceedings of the 1st EWG-DSS International Conference on Decision Support System Technology on Big Data Analytics for Decision Making (ICDSST 2015)*. May 27-29. Belgrade, Serbia. ISBN 978-86-7680-313-2. (**M34**)
4. **Dobrota, M.**, Macura, D. & Šelmić, M. (2015). Multi-Criteria Decision Making for Distribution Center Location Selection – Serbia Case Study. *Proceedings of the 2nd Logistics International Conference (LOGIC 2015)*, 32-37. May 21-23. Belgrade, Serbia. ISBN 978-86-7395-339-7. (**M33**)

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu pregleda doktorske disertacije pod nazivom "Statistički pristup definisanju zone osetljivosti u metodama daljinskog uzorkovanja", kandidata Milana Dobrote, Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije konstatuje da je urađena doktorska disertacija napisana prema svim standardima u naučno-istraživačkom radu, kao i da ispunjava sve uslove predviđene Zakonom o visokom obrazovanju, standardima i Statutom Fakulteta organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu. Na osnovu rezultata i zaključaka prikazanih u doktorskoj disertaciji, kao i činjenice da je analizirana problematika veoma aktuelna, Komisija konstatuje da je kandidat Milan Dobrota uspešno završio doktorsku disertaciju u skladu sa predviđenim predmetom i postavljenim ciljevima istraživanja.

Kandidat je došao do originalnih rezultata koji su široko primenljivi u oblasti klasifikacije daljinski uzorkovanih podataka. Predloženi model je primenjen na identifikaciju i klasifikaciju nekoliko različitih poljoprivrednih kultura, a primenjiv je i u drugim oblastima daljinskog uzorkovanja. Doktorska disertacija "Statistički pristup definisanju zone osetljivosti u metodama daljinskog uzorkovanja", predstavlja savremen i originalan doprinos naučnom saznanju iz oblasti Tehničkih nauka, uže naučne oblasti Računarska statistika.

Istraživanje je validirano kroz objavljivanje rada u časopisu M21 kategorije. Obzirom na prikazane rezultate, aktuelnost i multidisciplinarnost obrađenih tema, ova disertacija zadovoljava najviše kriterijume i kvalifikuje kandidata Milana Dobrotu za naučno-istraživački rad.

Na osnovu navedenog, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Fakulteta organizacionih nauka, da se doktorska disertacija "**Statistički pristup definisanju zone osetljivosti u metodama daljinskog uzorkovanja**", kandidata **Milana Dobrote**, prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, 21.05.2018. godine

ČLANOVI KOMISIJE

Prof. dr Zoran Radojičić, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Fakulteta organizacionih nauka

Prof. dr Dušan Starčević, redovni profesor u penziji
Univerziteta u Beogradu, Fakulteta organizacionih nauka

Prof. dr Boris Delibašić, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Fakulteta organizacionih nauka

Doc. dr Aleksandar Đoković, docent
Univerziteta u Beogradu, Fakulteta organizacionih nauka

Prof. dr Dušan Surla, profesor emeritus
Univerziteta u Novom Sadu, Prirodno-matematičkog fakulteta