



Poređenje algoritama klasifikacije kod daljinske detekcije pri određivanju površina pod trskom

Milica Ilić^{a*}, Pavel Benka^a, Jasna Grabić^a

^aUniverzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, Novi Sad, Srbija*

Autor za kontakt: milica.ilic@polj.uns.ac.rs

SAŽETAK

Trska (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) predstavlja široko rasprostranjenu vrstu u Vojvodini, koja naseljava močvarna i vlažna staništa. Preterano širenje može ugroziti druge vodene zajednice, te može predstavljati problem na staništima pod režimom zaštite i stoga je važno pratiti njen razvoj. Jedno od potencijalno ugroženih staništa je SRP Ludaško jezero na kojima je već uočeno širenje trske na svim delovima jezera. U okviru ovog rada obrađeni su Sentinel 2 i PlanetScope satelitski snimci područja Ludaškog jezera za period od 2016. do 2020. godine. Korišćenjem geografskog informacionog sistema, testirano je nekoliko algoritama poluautomatskog klasifikovanja površine s ciljem određivanja najpogodnijeg za ovakvu vrstu problema: minimum distance, maximum likelihood i spectral angle mapping. Tačnost klasifikovanja ocenjena je na osnovu matrica konfuzije i Kappa koeficijenta. Najtačniji rezultati klasifikovanja proistekli su iz primene spectral angle mapping algoritma, gde se ukupna tačnost kreće u intervalu od 93 do 99%, sa pripadajućim Kappa koeficijentima od 0,86 do 0,98. Minimum distance pruža približno tačne rezultate kao i spectral angle mapping. Klasifikovanje korišćenjem algoritma maximum likelihood proizvelo je mape sa najmanjom tačnošću, naročito na Sentinel snimcima, dok su u ostalim slučajevima razlike u rezultatima klasifikovanja na Sentinel i Planet snimcima zanemarljive. Daljim istraživanjima potrebno je obuhvatiti ocenu tačnosti istih algoritama na pokrivaču heterogenih karakteristika, kao i primenu automatske klasifikacije i njeno poređenje sa metodama poluautomatskog postupka klasifikovanja. Takođe, potrebno je istražiti moguće kombinacije metoda i algoritama s ciljem dobijanja što pouzdanijih tematskih mapa.

KLJUČNE REČI: Daljinska detekcija, QGIS, Sentinel 2, PlanetScope, Poluautomatska klasifikacija, Trska

Uvod

Trska (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) predstavlja široko rasprostranjenu biljnu vrstu u AP Vojvodini, koja naseljava močvarna i vlažna staništa. Trstici predstavljaju značajno stanište za ptice i imaju bitnu ulogu za kvalitet vode, ali preterano širenje može ugroziti druge vodene zajednice te predstavljaju problem na vodenim staništima koja su pod režimom zaštite. Takav je slučaj na SRP „Ludaško jezero“, na kome je jedan od ključnih faktora ugroženosti konstantan priliv nutrijenata sa okolnih obradivih površina, što dovodi do razvoja eutrofnih procesa i invazije trske. Takođe, prestanak tradicionalnih vidova korišćenja staništa – košenje, ispaša ili seča trske imalo je udela u širenju trske. Ova biljka pokriva veliku površinu plićaka, ne samo u obalnom delu nego i na središnjim delovima jezera gde zasniva brojna ostrva. Usled procesa sedimentacije i zarastanja biljaka, trska migrira na druge delove jezera i širi se ka južnom, najužem delu (Rudić et al., 2018). Stoga je neophodno pratiti širenje trske kako bi se videli efekti koji utiču na ovaj proces, ali i pratila efikasnost mera preduzetih u cilju zaustavljanja širenja.

Daljinsko detektovanje karakteristika zemljine površine i objekata na njoj ima široku višedecenijsku primenu u mnogim sferama ljudske delatnosti, među kojima su i zaštita životne sredine, poljoprivreda, šumarstvo, upravljanje vodnim resursima, praćenje prirodnih nepogoda, razvoj infrastrukture i mnoge druge (Holmgren & Thuresson, 1998; Govender et al., 2007; Naval Gund et al., 2007; Diallo et al., 2009; Zhang et al., 2012; Kumar and Reshmidevi, 2013; Teke et al., 2013). Takođe, daljinska detekcija nalazi važnu primenu i u istraživanju močvarnih područja, kao resursa koji pružaju značajne benefite životnoj sredini, nudeći relevantne informacije za njihovo efikasno upravljanje (Adam et al., 2010; Mahdavi et al., 2018). Termin „daljinska detekcija“ prvi put je upotrebljen pedesetih godina od strane Evelyn Pruitt koji je definisan kao nauka identifikovanja, posmatranja i merenja objekta bez stupanja u direktni kontakt (NASA, 1999) što naročito pogoduje istraživanju močvarnih područja s obzirom na to da je na njima čoveku često ograničen pristup zbog nepristupačnosti, te primena daljinske detekcije predstavlja veoma pogodno rešenje.

Proces daljinske detekcije se generalno svodi na sedam elemenata. Tela zrače elektromagnetnu energiju (elektromagnetne talase određene talasne dužine) koja karakteriše njegove osobine. Energija

može biti sopstvena i reflektovana, saopštena objektu iz prirodnog ili veštačkog izvora. Tu energiju detektuje senzor koji može da bude foto-optički, elektro-optički i mikrotalasni, a nalazi se na nekoj od platformi - terestičkoj, aeroplatformi ili kosmičkoj. Detektovani signal se konvertuje u oblik pogodan za obradu – snimak, i na osnovu njegove analize i interpretacije dolazi se do informacija o objektu istraživanja (Regodić, 2008). Panhromatskim snimcima detektovana je ukupna energija vidljivog dela elektromagnetnog spektra u jednom kanalu, dok su kod multispektralnih snimaka zabeležena zračenja i izvan vidljivog dela što omogućava dobijanje više informacija. Kako bi se bolje i lakše vizuelno interpretiralo područje sa snimka, neophodno je da za različite analize kombinujemo različite spektralne kanale, što je uslovljeno spektralnom rezolucijom, tj. sposobnošću senzora da detektuje različite delove EM spektra. Registrovanje uskih, a istovremeno i većeg broja kanala pogodnije je za klasifikovanje područja interesovanja (Regodić, 2008). Pored spektralne rezolucije, snimke karakteriše i prostorna, vremenska i radiometrijska rezolucija.

Neki satelitski snimci su dostupni besplatno, što je slučaj sa Sentinel-ovim snimcima koji su dostupni na portalu <https://scihub.copernicus.eu/>, dok postoji niz komercijalnih snimaka satelita koje karakteriše visoka prostorna rezolucija. IKONOS je prvi komercijalni satelit, lansiran 1998. godine, dok sada postoji čitav niz koji omogućava detaljnije snimke prostorne rezolucije od 5 m do 30 cm. Neki od njih su PlanetScope, RapidEye (do marta 2020. godine), QuickBird, WorldView 1 – 4, GeoEye 1 (Pilaš et al., 2019). Kombinovanje snimaka dobijenih od više satelita povećava mogućnost dobijanja odgovarajućih podataka - informacija, naročito bez oblaka koji su jedno od najčešćih ograničenja kod satelitskih senzora (Li and Roy, 2017).

Osnovni cilj ovog rada bio je da se korišćenjem geografskog informacionog sistema obrade satelitski snimci Ludaškog jezera i izvrši klasifikovanje površina pod vodom i trskom (na ukupno oko 3,4 km²). Testirano je nekoliko algoritama klasifikovanja na snimcima dobijenim od različitih satelita s ciljem određivanja najpogodnijeg za ovakvu vrstu problema. S obzirom na to da je rezultujuća mapa pojednostavljeni prikaz realnosti, odstupanja su neizbežna i neophodno je bilo proveriti njenu tačnost, tj. podudaranje sa stvarnim uslovima na terenu, što je naročito važno da bi se sprečio nastanak grešaka prilikom manipulisanja dobijenom mapom (Foody, 2002). Ocena tačnosti predstavlja najvažniji korak u procesu klasifikovanja i bez te mere dobijene mape imaju malu vrednost (Abubaker et al., 2013).

Material i metod rada

Za potrebe klasifikovanja područja Ludaškog jezera korišćeni su podaci iz Copernicus programa opažanja Zemlje – satelitski snimci misije Sentinel 2 (A i B), i snimci iz Planet konstelacije satelita – PlanetScope. Obradeni su snimci su iz meseca juna kada je vegetaciona aktivnost najveća, za period od 2016. do 2020. godine. Analiza Sentinel snimaka za 2016. godinu je onemogućena usled prekrivenosti oblacima u periodima snimanja datog područja – svakog petog dana koliko iznosi vremenska rezolucija ovih satelita. Prikaz Ludaškog jezera dat je na slici 1, a napravljen je kombinacijom opsega RGB satelitskog snimka PlanetScope.

Sentinel 2

Evropska svemirska agencija razvila je misije pod nazivom Sentinel, za potrebe Copernicus programa osmatranja Zemlje. Pruža pravovremene i dostupne informacije s ciljem lakšeg i boljeg upravljanja životnom sredinom, ublažavanje efekata klimatskih promena, osiguravanja bezbednosti ljudi i slično. Sentinel 2 je jedan od šest satelita iz „porodice“ Sentinel. Svaka od Sentinel misija je zasnovana na konstelaciji dva satelita postavljena dijametralno suprotno kako bi se ispunio zahtev pokrivenosti površine Zemlje i pružili robusni podaci za potrebe Copernicus programa (www.esa.int/). Sentinel 2 misiju čine 2A i 2B sateliti sa multispektralnim instrumentom (MSI) koji pokriva spektralni opseg od vidljivog do kratkotalasnog infracrvenog zračenja u 13 spektralnih kanala, prostorne rezolucije 10, 20 i 60 m (Gatti and Naud, 2017). Za vizuelnu interpretaciju snimaka potrebno je odabrati odgovarajuću kombinaciju kanala, na osnovu kojih se najbolje mogu uočiti i definisati željene klase na istraživanom području.

PlanetScope

Kompanija Planet upravlja PlanetScope i SkySet konstelacijom satelita, koju sačinjava preko 175 satelita (Helman et al., 2018). PlanetScope čini više od 130 satelita koji pružaju snimke prostorne rezolucije 3,7 m u četiri spektralna kanala: plavi, zeleni, crveni i bliski infracrveni (Planet Lab, 2020).



Slika 1. Ludaško jezero (PlanetScope snimak, jun 2020)
Figure 1. Ludaš Lake (PlanetScope image, June 2020)

Klasifikovanje područja

Klasifikovanje se bazira na tzv. spektralnom potpisu (jedinственom za svaki materijal), koji predstavlja refleksiju u funkciji talasne dužine. Za klasifikovanje površine zemlje i objekata na njoj najčešće se koriste dve metode: automatska klasifikacija (eng. unsupervised classification) i poluautomatska (supervised classification). Automatska klasifikacija je metod pri kom se, određenim algoritmom, na osnovu sličnosti spektralnih potpisa generišu klasteri, nakon čega analitičar definiše klase (Ismail et al., 2020).

Za potrebe klasifikovanja u ovom radu, primenjena je poluautomatska klasifikacija. U odnosu na automatski način klasifikovanja, u ovom slučaju analitičar sam definiše (identifikuje) homogene uzorke snimka koji reprezentuju određenu klasu, što je zasnovano na poznavanju tipova postojećih površina na datom području interesovanja. Prilikom primene poluautomatske klasifikacije, korisnik treba da definiše uzorke svake klase – tzv. „ROIs“ (Regions of Interest), ili „trainig areas“. Na osnovu zadatih delova područja za svaku klasu, tačnije na osnovu spektralnih opsega koji su u njima sadržani, računar prepoznaje spektralno slična područja. Kada softver odredi spektralne potpise klasa, potpis svakog piksela poredi se sa njima i razvrstava u klasu sa kojom ima najviše sličnosti. U QGIS-u, pomoću dodatka poluautomatske klasifikacije (eng. Semi-automatic classification plug-in – SCP) (Congedo, 2016) izvršena je klasifikacija područja na Sentinel i Planet satelitskim snimcima. Ovaj dodatak omogućava kreiranje ulaznih podataka za klasifikovanje tj. identifikovanje uzoraka klasa (training input). Spektralni potpisi uzoraka klasa se mogu automatski izračunati i biti grafički prikazani, a moguće je i uvesti iz nekog drugog (eksternog) izvora. SCP sadrži razne alate za prethodnu obradu snimaka, sam proces klasifikacije, naknadnu obradu itd. Takođe, korišćenjem SCP se pruža mogućnost klasifikovanja snimka određenim algoritmima pri čemu se poredе spektralne karakteristike svakog piksela snimka sa spektralnim karakteristikama zadatih uzoraka klasa. Osnovna tri algoritma koja se najčešće koriste za klasifikovanje nekog područja, a sadržani su u SCP-u su: algoritam zasnovan na minimalnoj udaljenosti (Minimum Distance - MD), maksimalnoj verovatnoći (Maximum Likelihood - ML) i određivanju spektralnog ugla (Spectral Angle Mapping - SAM). MD je algoritam pri kom se računa euklidsko rastojanje između spektralnih potpisa piksela snimka i potpisa datih uzoraka. Na osnovu sračunatog rastojanja svaki piksel se svrstava u klasu spektralnog potpisa kom je najbliži. Postoji i mogućnost definisanja praga vrednosti piksela kako bi se oni koji su manje vrednosti od zadate izuzeli iz klasifikovanja (Congedo, 2016). ML algoritmom se svaki piksel dodeljuje klasi na osnovu najveće posteriorne verovatnoće pripadnosti (Foody and Arora, 1996). Ovaj algoritam je jedan od najčešće primenjivanih u poluautomatskom načinu klasifikovanja (McIver and Friedl, 2002). Ukoliko distribucija podataka nije normalna, ovaj algoritam nije pogodan za primenu (Otakei and Blaschke, 2010). Algoritam SAM određuje spektralnu sličnost poređenjem spektralnog ugla između piksela

snimka i uzoraka. Svaki piksel je dodeljen određenoj klasi prema najmanjem odstupanju vrednosti ugla (Kruse et al., 1993). Prema (Li et al., 2014), većina postojećih algoritama daju kvalitetne rezultate ukoliko su parametri prikladno postavljeni, a uzorci klasa dovoljno reprezentativni. U ovom radu primenjena su sva tri algoritma, s ciljem određivanja najpogodnijeg za primenu na ovakvom tipu problema.

Ocena tačnosti klasifikovanja najčešće se određuje putem matrice konfuzije i Kappa koeficijenta. Ocena je izvršena u QGIS-u, pomoću dodatka AcATaMa (Accuracy Assessment of Thematic Maps), u okviru koga je generisano ukupno 99 slučajnih uzoraka (proporcionalno stratifikovanih), sa očekivanom standardnom greškom od 0,01. Dobijene su matrice konfuzije u kojoj svaka klasa dobija po jednu vrstu i jednu kolonu matrice. U vrsti je predstavljen broj piksela koji su prema klasifikatoru dodeljeni, a u koloni oni koji u stvari pripadaju toj klasi, dok elementi koji se nalaze na dijagonali predstavljaju broj ispravno klasifikovanih piksela (slika 2). Na osnovu toga, tačnost može da se posmatra iz dva ugla. Prvo, tačnost iz ugla korisnika (eng. User's Accuracy - UA), što se može definisati kao pouzdanost mape, a predstavlja procenat tačno alociranih piksela od broja piksela uzorka te klase. S druge strane, može se reći da se bazira se na tzv. grešci pogrešne akcije koja označava broj piksela koji su svrstani u neku klasu kojoj u stvari ne pripadaju. Ova mera tačnosti može odgovoriti na pitanje koliko piksela na mapi je zaista ono za šta su predstavljeni. U matrici konfuzije ovo se posmatra po vrsti matrice. Druga mera tačnosti (posmatrana po koloni matrice) je sa aspekta onoga ko pravi mapu (eng. Producer's Accuracy - PA), što se bazira na broju piksela koji nisu svrstani u klasu kojoj zaista pripadaju, a to se naziva greškom propusta. Pored toga, računa se ukupna tačnost (Overall Accuracy - OA) koja predstavlja odnos tačno dodeljenih piksela (vredosti sa dijagonale matrice) i ukupnog broja iz uzorka. Tačnom mapom definisana je ona čija je ukupna tačnost veća od 85%, sa svakom zasebnom tačnošću ne manjom od 70%. Kappa koeficijent slaganja računat je prema (Rosenfield and Fitzpatrick-Lins, 1986). Ove mere tačnosti detaljno su objašnjene su u mnogim studijama (videti npr. Foody, 2002; Liu et al., 2007; Abubaker et al., 2013).

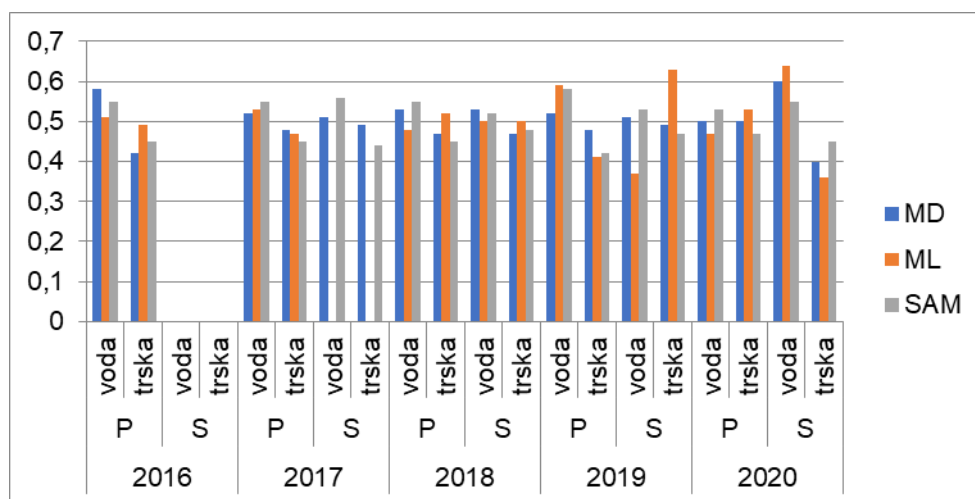
Error matrix (confusion matrix):

		Classified values			User accuracy	Total class area (ha)	Wi
		1 (Voda)	2 (Trska)	Total			
Thematic raster classes	1	48	0	48	1.0	161.9334	0.48412
	2	6	45	51	0.88235	172.5597	0.51588
	total	54	45	99		334.4931	
Producer accuracy		0.88889	1.0		0.93939		

Slika 2. Matirica konfuzije
Figure 2. Confusion Matrix

Rezultati i diskusija

Različitim algoritmima za klasifikovanje istih snimaka, kao i primenom istih algoritama na snimcima različitih satelita dobijene su izvesne razlike u dobijenim površinama klasa iako su ulazni podaci (trainning input) isti. Te razlike u većini slučajeva iznose svega nekoliko procenata (posmatrajući dobijene površine), osim za rezultate dobijene algoritmom ML. Na slici 3, grafički je prikazan dobijeni udeo površina analiziranih klasa za sva tri algoritma na Planet (P) i Sentinel (S) snimcima, na kojoj se mogu uočiti variranja dobijenih rezultata. U tabelama 1 i 2 prikazane su površine klasa u hektarima, njihov udeo u ukupnoj površini (Wi), kao i korisnička tačnost mape (User's Accuracy - UA) i proizvodna (Producer's Accuracy - PA). Rezultati dobijeni primenom ML algoritma u većini slučajeva odstupaju u odnosu na druga dva. Pouzdanost (UA) tako dobijenih rezultata je manja, što je naročito slučaj za klasu Trska.



Slika 3. Udeo površina klasa prema MD, ML i SAM algoritmima

Figure 3. Class area proportion according to MD, ML and SAM algorithms

Tačnost klasifikovanih Planet snimaka je u vrednostima koje ukazuju da su mape pouzdane, dok su klasifikovanjem na Sentinel snimcima dobijene dve mape koje treba proglasiti netačnim, i obe su dobijene primenom ML algoritma, gde PA za klasu Voda iznosi 0,68 (2019. godina), odnosno PA za klasu Trska 0,61 (2020. godina). Generalno, UA i PA su najmanje primenom ML, a najveće na mapama dobijenim algoritmima MD i SAM. U skladu sa tim, ukupna tačnost (OA) (Tabela 3) najveća je primenom algoritma SAM koja se kreće od 0,93 do 0,99, a najmanja primenom ML – od 0,75 do 0,98. Na isto ukazuje i Kappa koeficijent (κ) čije se vrednosti kreću od 0,86 do 0,98 primenom SAM algoritma, a za ML od 0,49 do 0,96 (Tabela 3). MD pruža rezultate približno tačne kao i algoritam SAM, a najmanja ukupna tačnost iznosi 0,92 sa najnižim kappa koeficijentom od 0,84.

Tabela 1

Površine klasa, njihov udeo i korisnička i proizvodna tačnost prema svim algoritmima – Planet 2016. – 2020.

Table 1

Area of classes, its proportion and user's and producer's accuracy according to all algorithms – Planet 2016 – 2020

Godina/ Klasa	Površina (ha)			Wi			UA (%)			PA (%)		
	MD	ML	SAM	MD	ML	SAM	MD	ML	SAM	MD	ML	SAM
2016												
Voda	195,8	171,9	185,1	0,58	0,51	0,55	96	100	100	96	88	93
Trska	142,6	166,5	153,3	0,42	0,49	0,45	95	86	91	95	100	100
2017												
Voda	175,3	178,9	186,8	0,52	0,53	0,55	100	96	100	94	86	98
Trska	163,0	159,5	151,5	0,48	0,47	0,45	94	83	98	100	96	100
2018												
Voda	176,2	161,9	182,7	0,53	0,48	0,55	100	100	100	91	89	88
Trska	158,3	172,6	151,8	0,47	0,52	0,45	89	88	84	100	100	100
2019												
Voda	174,8	198,4	194,6	0,52	0,59	0,58	98	96	96	96	100	100
Trska	163,6	140,0	143,8	0,48	0,41	0,42	96	100	100	98	95	95
2020												
Voda	170,3	159,7	179,7	0,50	0,47	0,53	98	98	100	92	88	100
Trska	168,0	178,6	158,6	0,50	0,53	0,47	92	88	96	98	98	96

Tabela 2

Površine klasa, njihov udeo i korisnička i proizvodna tačnost prema svim algoritmima – Sentinel snimci 2016. – 2020.

Table 2

Area of classes, its proportion and user's and producer's accuracy according to all algorithms – Sentinel images 2016 – 2020

Godina/ Klasa	Površina (ha)			Površina (%)			UA (%)			PA (%)		
	MD	ML	SAM	MD	ML	SAM	MD	ML	SAM	MD	ML	SAM
2017												
Voda	173,8	-	189,9	0,51	-	0,56	98	-	98	100	-	100
Trska	164,8	-	148,7	0,49	-	0,44	100	-	100	98	-	98
2018												
Voda	180,2	170,7	176,3	0,53	0,50	0,52	96	90	98	98	82	94
Trska	158,4	167,9	162,2	0,47	0,50	0,48	98	80	94	96	89	98
2019												
Voda	171,1	124,6	180,4	0,51	0,37	0,53	98	100	100	96	68	98
Trska	167,5	214,0	158,2	0,49	0,63	0,47	96	73	98	98	100	100
2020												
Voda	203,3	217,5	184,9	0,60	0,64	0,55	86	72	100	100	87	98
Trska	135,3	121,1	153,7	0,40	0,36	0,45	100	80	98	83	61	100

Tabela 3

Ukupna tačnost (OA) i Kappa koeficijent (κ)

Table 3

Overall accuracy and Kappa coefficient

		OA (%)			κ		
		MD	ML	SAM	MD	ML	SAM
2016	P	96	93	96	0,92	0,86	0,92
	S	-	-	-	-	-	-
2017	P	97	90	99	0,94	0,80	0,98
	S	99	-	99	0,98	-	0,98
2018	P	95	94	93	0,90	0,88	0,86
	S	97	85	96	0,94	0,70	0,92
2019	P	97	98	98	0,94	0,96	0,96
	S	97	83	99	0,94	0,67	0,98
2020	P	95	93	98	0,90	0,86	0,96
	S	92	75	99	0,84	0,49	0,98

Pojedinačno posmatrajući procenat tačno i pogrešno alociranih uzoraka (piksela) prema sva tri algoritma je u većini slučajeva približna. Međutim, kada sve primenjene pokazatelje posmatramo zajedno, uočava se da su najveća odstupanja i najmanja pouzdanost i tačnost klasifikovanja primenom ML algoritma. Algoritam baziran na maksimalnoj verovatnoći pripadnosti određenoj klasi u ovom slučaju nije pogodan jer je za njegovu primenu potrebno imati uzorke (training input) koji nisu homogeni. S tim u vezi, na jednom snimku (Sentinel 2017. godine) nije bilo moguće izvršiti klasifikovanje primenom ML algoritma. Procenat ukupne tačnosti (Overall Accuracy) kretao se od 75% do 94%, a vrednosti Kappa koeficijenta od 0,49 do 0,96. Algoritam MD proizveo je mape velike tačnosti, gde je minimalni procenat ukupne tačnosti 92% a maksimalni čak 99%, sa Kappa koeficijentom od 0,84 do 0,98. Međutim, u skoro svim slučajevima primenom SAM algoritma dobijeni su najveći svi pojedinačni pokazatelji tačnosti. Prema tome, algoritam koji računa spektralni ugao

između piksela (SAM) može se okarakterisati najpogodnijim za klasifikovanje ovakvog područja – površina pod trskom i vodom.

Zaključak

Na osnovu sprovedenih istraživanja klasifikovanja trske i vode, može se izvesti zaključak da je algoritam zasnovan na računanju spektralnog ugla najpogodniji, što se ograničava na područje koje je tipa Ludaškog jezera, tj. za klasifikovanje relativno homogenih područja. Posmatrajući rezultate ocene tačnosti klasifikovanja na snimcima dobijenim sa različitih satelita, može se zaključiti da je klasifikovanje površine na Sentinel snimcima primenom ML algoritma nepouzđano. U ostalim slučajevima razlike su relativno male, uz to da je tačnost, iako zanemarljivo, ipak veća na Sentinel snimcima. Njih karakteriše bolja spektralna, a manja prostorna rezolucija, u poređenju sa Planet snimcima, što u ovom slučaju nije imalo posebnog uticaja na dobijene rezultate. To predstavlja pogodnost sa aspekta dostupnosti snimaka za obradu, jer su Sentinel snimci dostupni besplatno, dok su Planet komercijalnog tipa.

Klasifikovane površine mogu da služe kao podloga za određivanje trenda rasta trske i uočavanje područja jezera na kome je širenje najveće, i donošenje odluke na kom delu jezera treba da se primene adekvatne mere sprečavanja prekomernog širenja kako bi se doprinelo normalnom funkcionisanju ekosistema. Daljim istraživanjima potrebno je obuhvatiti ocenu tačnosti istih algoritama na pokrivaču heterogenih karakteristika, kao i primenu automatske klasifikacije i njeno poređenje sa metodama poluautomatskog postupka klasifikovanja. Takođe, potrebno je istražiti moguće kombinacije metoda i algoritama s ciljem dobijanja što pouzdanijih tematskih mapa.

Zahvalnica

Sredstva za realizaciju istraživanja obezbeđena su od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije (ugovor 451-03-9/2021-14/200117).

Literatura

- Abubaker, H. M., Elhag, A. M. H., Salih, A. M. 2013. Accuracy Assessment of Land Use and Land Cover Classification (LU/LC) Case study of Shomadi area-Renk County-Upper Nile State, South Sudan. *International journal of scientific and research publications*, 3(5): 1-6.
- Adam, E., Mutanga, O., Rugege, D. 2010. Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review. *Wetlands Ecology and Management*, 18(3): 281-296.
- Congedo, L. (2016). *Semi-Automatic Classification Plugin User Manual*. Technical Report. https://www.researchgate.net/publication/265031337_Semi-Automatic_Classification_Plugin_User_Manual Pristupljeno 03.09.2020.
- Diallo, Y., Hu, G., Wen, X. 2009. Applications of remote sensing in land use/land cover change detection in Puer and Simao Counties, Yunnan Province. *Journal of American Science*, 5(4): 157-166.
- Foody, G. M., Arora, M. K. 1996. Incorporating mixed pixels in the training, allocation and testing stages of supervised classifications. *Pattern Recognition Letters*, 17(13): 1389-1398.
- Foody, G. M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote sensing of environment*, 80(1): 185-201.
- Gatti, A., Naud, C. (2017). Sentinel – 2 products Specification Document. <https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel2+Products+Specification+Document+%28PSD%29/0f7bedeb-9fbb-4b60-91aa-809162de456c> Pristupljeno 21.09.2020.
- Govender, M., Chetty, K., Bulcock, H. 2007. A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies. *Water Sa*, 33(2).
- Helman, D., Bahat, I., Netzer, Y., Ben-Gal, A., Alchanatis, V., Peeters, A., Cohen, Y. 2018. Using time series of high-resolution planet satellite images to monitor grapevine stem water potential in commercial vineyards. *Remote Sensing*, 10(10): 1615.
- Holmgren, P., Thuresson, T. 1998. Satellite remote sensing for forestry planning—a review. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 13(1-4): 90-110.
- Ismail, M. A., Ludin, A. N. M., Hosni, N. (2020, July). Comparative Assessment of the Unsupervised Land Use Classification by Using Proprietary GIS and Open Source Software. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 540, No. 1, p. 012020. IOP Publishing.
- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. W., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J., Goetz, A. F. H. 1993. The spectral image processing system (SIPS)—interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote sensing of environment*, 44(2-3): 145-163.
- Kumar, D. N., Reshmidevi, T. V. 2013. Remote sensing applications in water resources. *Journal of the Indian Institute of Science*, 93(2): 163-188.

- Li, C., Wang, J., Wang, L., Gong, P. 2014. Comparison of classification algorithms and training sample sizes in urban land classification with Landsat thematic mapper imagery. *Remote Sensing*, 6(2): 964-983.
- Li, J., Roy, D. P. 2017. A global analysis of Sentinel-2A, Sentinel-2B and Landsat-8 data revisit intervals and implications for terrestrial monitoring. *Remote Sensing*, 9(9): 902.
- Liu, C., Frazier, P., Kumar, L. 2007. Comparative assessment of the measures of thematic classification accuracy. *Remote sensing of environment*, 107(4): 606-616.
- Mahdavi, S., Salehi, B., Granger, J., Amani, M., Brisco, B., Huang, W. 2018. Remote sensing for wetland classification: A comprehensive review. *GIScience & Remote Sensing*, 55(5): 623-658.
- McIver, D. K., Friedl, M. A. 2002. Using prior probabilities in decision-tree classification of remotely sensed data. *Remote sensing of Environment*, 81(2-3): 253-261.
- NASA (1999). Remote sensing, Introduction and History. <https://earthobservatory.nasa.gov/features/RemoteSensing> Pristupljeno 19.10.2020.
- Navalgund, R. R., Jayaraman, V., Roy, P. S. 2007. Remote sensing applications: An overview. *Current Science* (00113891): 93(12).
- Otukei, J. R., Blaschke, T. 2010. Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, S27-S31.
- Pilaš, I., Gašparović, M., Đodan, M., Balenović, I., Dugački, I. 2019. Mogućnosti korištenja optičkih satelitskih snimaka srednje i visoke rezolucije (Landsat 8, RapidEye) u vizualizaciji i detekciji promjena šumskog pokrova nakon vjetroizvala. *Geodetski list*, 73(3): 261-276.
- Planet Lab (2020). planet imagery product specification. https://assets.planet.com/docs/Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_letter_screen.pdf Pristupljeno 29.09.2020.
- Regodić, M. 2008. Daljinska detekcija kao metod prikupljanja podataka o prostoru. *Vojnotehnički glasnik*, 56(1).
- Rosenfield, G. H., Fitzpatrick-Lins, K. 1986. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 52(2): 223-227.
- Rudic, Z., Vujovic, B., Jovanovic, L., Kikovic, D., Kljujev, I., Bozic, M., Raicevic, V. 2018. Potential and constraints of macrophyte manipulation for shallow lake management. *Advances in Bioremediation and Phytoremediation*, 127-147.
- Teke, M., Deveci, H. S., Haliloğlu, O., Gürbüz, S. Z., Sakarya, U. 2013. A short survey of hyperspectral remote sensing applications in agriculture. 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), Istanbul, 2013, pp. 171-176, doi: 10.1109/RAST.2013.6581194.
- Zhang, B., Wu, D., Zhang, L., Jiao, Q., Li, Q. 2012. Application of hyperspectral remote sensing for environment monitoring in mining areas. *Environmental Earth Sciences*, 65(3): 649-658.

Comparison of classification algorithms in remote sensing for determining the area under the reed

Milica Ilić^{a*}, Pavel Benka^a, Jasna Grabić^a

^aUniversity of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of Water Management, Novi Sad, Serbia

*Corresponding author: milica.ilic@polj.uns.ac.rs

ABSTRACT

Reed (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) is a widespread species in Vojvodina's swamps and wetlands. Excessive expansion can endanger other aquatic communities that can be a problem in habitats under the protection. One of the potentially endangered habitats is SNR Ludaš Lake, where the reed spread has already been detected in all parts of the lake. Within this paper, Sentinel 2 and PlanetScope satellite images of the Ludaš Lake, for the period from 2016 to 2020, were processed. By using a geographic information system, several supervised classification algorithms are tested to determine the most suitable one for this type of problem. Those are minimum distance, maximum likelihood, and spectral angle mapping. The classification accuracy assessment is performed based on the confusion matrices and the Kappa coefficient. The most accurate classification results are provided by the spectral angle mapping algorithm with an overall accuracy from 93 to 99% and Kappa coefficients from 0.86 to 0.98. Minimum distance provides approximately as accurate results as the spectral angle mapping. Classification using the maximum likelihood algorithm produced maps with the lowest accuracy, especially on Sentinel images. In the other cases, the differences in the classification results on Sentinel and Planet images were negligible. Future research should include the accuracy assessment of the same algorithms on the heterogeneous land cover. The unsupervised classification should be performed, as well as its comparison with the supervised classification methods. Also, combinations of both methods and algorithms to obtain the most reliable thematic maps should be identified.

KEY WORDS: Remote sensing, GIS, Sentinel 2, PlanetScope, Supervised classification, Reed

PRIMLJEN: 08.02.2021.

PRIHVAĆEN: 30.05.2021.