

ANALIZA SATELITSKIH SNIMAKA PRIMENOM PYTHON BIBLIOTEKA I METODA SPEKTRALNE MEŠAVINE**ANALYSIS OF SATELLITE IMAGES USING PYTHON LIBRARIES AND SPECTRAL MIXTURE METHODS**

Sebastijan Ristić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GEODEZIJA I GEOMATIKA

Kratak sadržaj – U radu je izvršena analiza modela spektralnih smeša (SMA) nad satelitskim snimcima Sentinel-2 platforme, u cilju klasifikacije setvenih kultura na užem području Bačkog okruga. Za obradu snimaka korišćen je Python programski jezik i njegove biblioteke.

Ključne reči: Daljinska detekcija, Python, SMA, klasifikacija

Abstract – The paper presents an analysis of spectral mixture models (SMA) on satellite images from the Sentinel-2 platform, aimed at classifying crop types in specific area of Bačka district. The processing of the images was carried out using Python programming language and its libraries.

Keywords: Remote sensing, Python, SMA, classification

1. UVOD

Zbog velikog broja satelitskih podataka koji su dostupni danas, postavlja se pitanje kako na efikasan način prikupiti, analizirati i interpretirati ove informacije. Iz ovog razloga, potrebno je usmeriti pažnju ka primeni Python programskom jeziku, koji svojim bibliotekama predstavlja izuzetno rešenje za obradu i analizu satelitskih snimaka.

Izrada ovog master rada, bazira se na obradi Sentinel – 2 satelitskih snimaka primenom različitih Python biblioteka za potrebu klasifikacije useva na području u Bačkom okrugu. Kroz ovaj rad su prikazane neophodne faze pripremnih radnji, razvoja metoda, obrade, prikaza i analize dobijenih rezultata, a sve sa ciljem klasifikacije useva primenom Spectral mixture analysis modela, odnosno modela spektralnih smeša, kao i ograničenja koja se javljaju prilikom primene ovih modela.

Takođe, ovim master radom obuhvaćena je analiza zastupljenosti poljoprivrednih kultura: graška, pšenice, kukuruza, suncokreta, soje i ječma, na posmatranom području i uticaj fenoloških faza na rezultat klasifikacije.

2. PYTHON BIBLIOTEKE

Python programski jezik je postao rasprostranjen za mnoge primene u oblastima nauke i radu sa podacima. Ovaj programski jezik kombinuje snagu programskih jezika opšte namene sa jednostavnošću skript jezika

Python programski jezik je postao rasprostranjen za mnoge primene u oblastima nauke i radu sa podacima. Ovaj programski jezik kombinuje snagu programskih jezika opšte namene sa jednostavnošću skript jezika specifičnih za određene oblasti kao što su MATLAB ili R programski jezik. Python raspolaže bibliotekama za učitavanje podataka, vizualizaciju, statistiku, obradu prirodnog jezika, obradu slika i mnoge druge oblasti. Ovaj bogat alatni set pruža širok spektar funkcionalnosti opšte namene i specifičnih funkcionalnosti. Jedna od glavnih prednosti korišćenja Python-a je mogućnost direktne interakcije sa kodom, kroz terminal ili druge alate poput Jupyter Notebook.

Za ove procese je od suštinskog značaja imati alate koji omogućavaju brzu i jednostavnu interakciju. Kao jezik opšte namene, Python takođe omogućava kreiranje kompleksnih grafičkih interfejsa (GUI) i web servisa, kao i integraciju u postojeće sisteme [2].

Python programski jezik ima obimnu kolekciju biblioteka koje svoju primenu nisu pronašle isključivo u daljinskoj detekciji, već se one koriste i u različitim naučnim oblastima, kao i pri obradi velikih skupova podataka. Na osnovu same rasprostranjenosti primene, jasno je da ove biblioteke predstavljaju moćne alate za manipulaciju i analizu podataka, vizualizaciju, kao i za potrebe mašinskog učenja.

3. PRIPREMA PODATAKA

Osnovni cilj ovog master rada jeste formiranje i primena modela za klasifikaciju geoprostornih podataka, odnosno primena matematičkog modela koji se koristi za razdvajanje i grupisanje spektralnih vrednosti različitih vegetacionih pokrivača koji su prisutni na slici. Matematički model koji se analizira jeste Spectral Mixture Analysis, kojim je objašnjeno kako se na osnovu ulaznih rasterskih podataka i obučavajućih skupova dobijaju nove informacije, odnosno konačan rezultat klasifikacije. Na ovaj način se krajnjem korisniku na osnovu ulaznih podataka, koji u osnovi predstavljaju polazne parametre klasifikacije, omogućava da kao rezultat realizuje klasifikovano područje od interesa.

3.1. Područje analize

Ovaj master rad fokusira se na klasifikaciji zemljišta u centralnom delu Bačkog okruga u Srbiji. Centralni deo Bačkog okruga predstavlja ključnu regiju u Srbiji u kojoj se javljaju najčešće promene u upotrebi zemljišta, posebno u sferi poljoprivrede, urbanizma i ekoloških promena. Cilj ove analize se zasniva na dubljem razumevanju načina na

NAPOMENA: Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Dušan Jovanović.

koji se zemljište u ovom delu Srbije koristi, kroz klasifikaciju različitih poljoprivrednih kultura i analizi njihove zastupljenosti.

Jedan od razloga za izbor ovog područja za analizu (Slika 1), odnosno klasifikaciju, jeste njegova ekonomska i društveno-privredna vrednost. Bački okrug je poznat po raznolikom korišćenju zemljišnih resursa i njegovom uticaju na prehrambenu industriju u Srbiji. Analizom klasifikacije zemljišta na ovom području se može bolje razumeti koje poljoprivredne kulture prednjače u proizvodnji.



Slika 1. Oblast analize - centralna Bačka

3.2. Vektorski ulazni podaci

Skup vektorskih podataka, koji u prirodi predstavlja skup katastarskih parcela sa poznatim tipom vegetacije koja je uzgajana na njima u 2018. godini, predstavlja obučavajući skup. Među ovim parcelama, postoje i parcele na kojima je uzgajano dve ili više kulture istovremeno, kao što su kukuruz i kromir, tritikale i kukuruz. Međutim, ove parcele neće se koristiti u daljem postupku klasifikacije, jer one predstavljaju izrazito mali broj parcela koje se na ovaj način koriste u prirodi.

Izuzimanjem ovih marginalnih slučajeva, preostaje ukupno 27 katastarskih parcela i one definišu kulture prikazane u Tabeli 1. Ove kulture ujedno predstavljaju klase na osnovu kojih se vrši klasifikacija i analiza zastupljenosti navedenih kultura na posmatranom području.

Naziv klase	Broj obučavajućih skupova
grašak	2
pšenica	5
suncokret	1
kukuruz	12
soja	5
ječam	2

Tabela 1. Broj obučavajućih skupova za svaku klasu

3.3. Rasterski ulazni podaci

Za grupu rasterskih ulaznih podataka odabrani su satelitski snimci *Sentinel - 2* misije, koji su kompatibilni sa vektorskim ulaznim podacima. Vektorski podaci su definisani za useve na katastarskim parcelama u 2018. godini, te je shodno tome neophodno da i rasterski podaci, odnosno satelitski snimci budu iz istog perioda.

Kulture koje se klasifikuju; grašak, pšenica, kukuruz, suncokret, soja i ječam, imaju međusobno različite periode u kojim dostižu maksimalan intenzitet vegetacije, kao i različit period ubiranja plodova. Shodno tome, kao i

potrebi za praćenjem kvaliteta i konzistentnosti rezultata algoritama, neophodno je uzeti u obzir više satelitskih snimaka u toku jedne godine. Za potrebe ovog rada, je izabran po jedan satelitski snimak za mesec: april, maj i avgust.

5. SPEKTRALNA SMEŠA PIKSELA

Kada senzor, kao što je senzor na satelitu, snima slike Zemljine površine, svakim pikselom na slici je predstavljena spektralna mešavina više različitih materijala, jer je retko da piksel sadrži samo jedan materijal. Modeli spektralnih mešavina pokušavaju da razdvoje ovu mešavinu u osnovne komponente, odnosno "endmembere", koji predstavljaju čiste spektralne potpise svakog materijala u pikselu.

S obzirom da, u zavisnosti od prostorne rezolucije satelitskog snimka, jednim pikselom može se predstaviti veća ili manja površina Zemlje (Slika 2), metodom *SMA* se viši analiza i klasifikacija sa ciljem određivanja koji element i u kojem udelu je zastupljen na sceni koja je predstavljena pikselom.

Slika 2. Teren na nivou 3x3 piksela



Na osnovu prethodno navedenog, odnosno ako se pretpostavi da je ukupna radijacija zabeležena za dati piksel linearna kombinacija radijacija njegovih sastojaka, proces se može matematički razviti kao u izrazu 1.

$$R_i = \sum_{k=1}^n f_k A_{ik} + \varepsilon_i \quad (1)$$

5.1. Potpuno ograničeni model spektralnih smeša

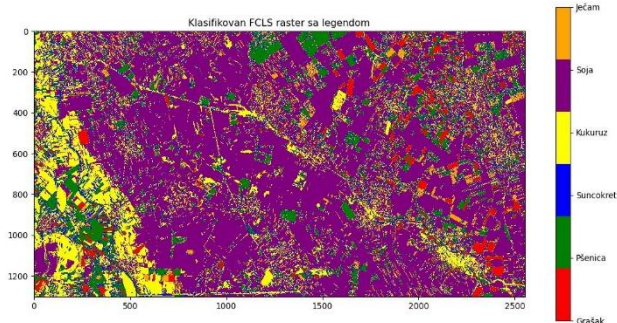
Model se zasniva na postojanju dve vrste ograničenja koja se moraju zadovoljiti. Prvim ograničenjem je definisano da vrednost udela unutar piksela moraju biti pozitivne i manje ili jednake jedan, dok je drugim ograničenjem definisano da suma svih udela mora biti jednaka jedan (Израз 2 [3]).

$$0 \leq f_k \leq 1 \quad \text{i} \quad \sum_{k=1}^n f_k = 1 \quad (2)$$

6. KLASIFIKACIJA REZULTATA

Na osnovu prethodno realizovanog potpuno ograničenog modela spektralnih smeša, koji je proizveo matematički logične rezultate, na osnovu kojih se može ustanoviti zastupljenost setvene kulture u svakom pikselu, potrebno je izvršiti klasifikaciju dobijenih vrednosti za svaki piksel analiziranog područja.

U prilogu *klasifikacija.py* može se videti način na koji je izvršena primena numpy i matplotlib biblioteka za klasifikaciju područja od interesa, a rezultat je prikazan na slici 3.



Slika 3. Rezultata klasifikacije vrednosti FCLS modela za mesec april

Napred priloženom slikom 3 su prikazani kvalitetni rezultati klasifikacije na nivou celokupnog područja, ali ukoliko se detaljnije pogleda rezultat klasifikacije, odnosno na nivou jedne ili više parcela (Slika 4), rezultat je malo drugačiji.



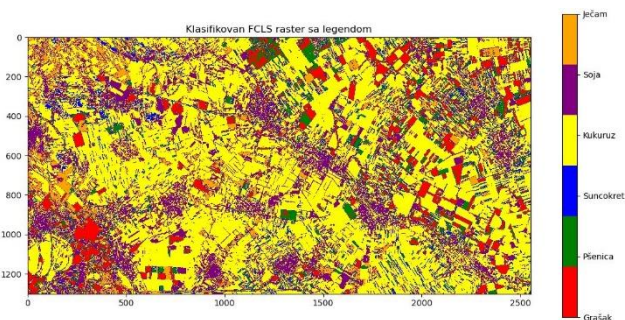
Slika 4. Rezultat klasifikacije na nivou parcele kukuruza

Uočljivo je da poligon, odnosno parcela, koja je korišćena kao jedan od obučavajućih skupova za klasu kukuruza, nakon klasifikacije ne sadrži samo klasu kukuruza (žuta boja), već u značajnoj meri i klasu soje (ljubičasta boja).

6.1. Klasifikacioni model tokom vremena

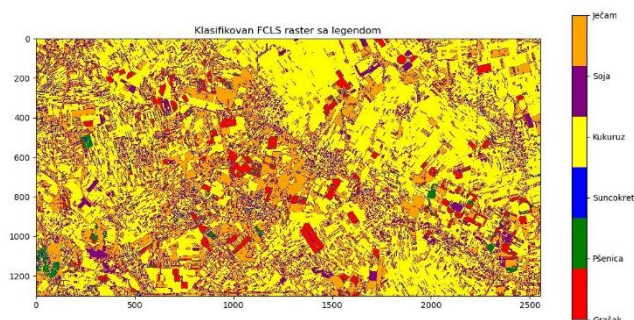
Razmatranje modela klasifikacije i proizvedenih rezultata u prethodnoj fazi ovog naučnog rada, izvršeno je za april mesec. Količina biomase, kao što su broj listova, stepen prokljalosti odnosno razvijenosti biljke, varira među poljoprivrednim kulturama posmatranim u aprilu mesecu i značajno utiče na rezultat klasifikacije. Kulture koje su obuhvaćene ovom analizom, odnosno: kukuruz, pšenica, soja, grašak, suncokret i ječam, nalaze se u različitim fazama rasta, što značajno može uticati na njihove spektralne karakteristike.

Prema tome, rezultat klasifikacije u prethodnoj analizi u velikoj meri nije merodavan usled slabe razvijenosti kulture kukuruza, soje, graška i suncokreta, pa se shodno tome prate promene nastale primenom potpuno ograničenog modela spektralnih smeša i klasifikacionog modela na satelitski snimak iz maja i avgusta meseca 2018. godine.



Slika 5. Klasifikovano područje za mesec maj pomoću FCLS modela

Nakon jasno uočljivih razlika između rezultata klasifikacije sprovedene za april i maj mesec, na isti način se pristupa klasifikaciji satelitskog snimka od 28. avgusta 2018. godine, a rezultat je prikazan na slici 6.



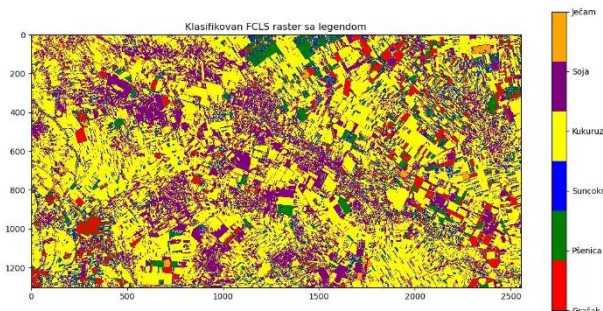
Slika 6. Klasifikovano područje za mesec avgust pomoću FCLS modela

S obzirom da ovaj snimak datira iz poslednjih dana avgusta, odnosno iz perioda kada na njivama više nisu prisutne neke od kultura, niti zelena biomasa, već samo suva biomasa spremna za žetvu, koja dovodi do značajne varijabilnosti u modelu spektralnih smeša i klasifikacije, može se smatrati da klase koje su u svojim završnim fazama jesu lakše prepoznatljive, ali se preklapanjem suvih ostataka može smanjiti tačnost, pa tako rezultati sa slike 6 imaju najmanju merodavnost za sve klase osim za klasu kukuruza.

Na osnovu navedenog, jasno je da rezultati koji su dobijeni klasifikacijom FCLS metodom za sva tri pojedinačno analizirana meseca, opterećena sezonskim promenama u vegetaciji, osvetljenju, atmosferi i drugim faktorima koji mogu uticati na rezultate FCLS modela.

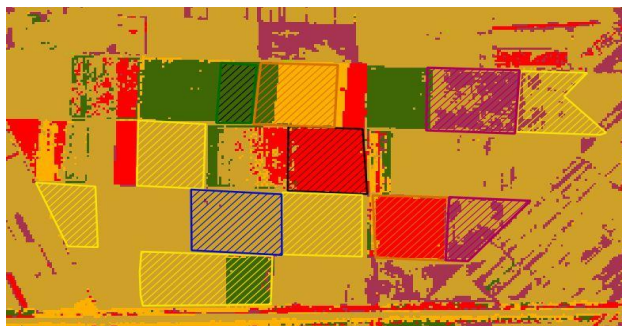
Formiranjem rastera srednjih vrednosti (slika 7) na osnovu FCLS metode za rezultate iz aprila, maja i avgusta meseca, načinjen je značajan korak u analizi i obradi podataka. Ovaj postupak je omogućio smanjenje sezonskih varijacija koje mogu da utiču na rezultate, jer su vegetacija, atmosferski uslovi i osvetljenje skloni promenama tokom godine.

Analizirajući celokupno područje, jasno je uočljivo da je kukuruz i dalje dominantna kultura, što ukazuje na veliku zastupljenost ove kulture tokom meseci koji su obuhvaćeni srednjim vrednostima. Pored toga, soja, pšenica i grašak su takođe značajno prisutne, ali u manjem obimu. Takođe, primetno je da manji regioni sa specifičnim kulturama koje se izdvajaju, kao što su suncokret i ječam, se pojavljuju u ograničenim delovima. Rezultat ovog rastera je omogućio bolji uvid u prostornu dinamiku useva na celokupnom području.



Slika 7. Klasifikovano područje srednjih vrednosti FCLS modela za mesece april, maj i avgust

Međutim, fokusiranjem na deo područja analize na kojem se nalaze parcele, odnosno poligoni, koji su predstavljali obučavajuće skupove za svaku od analiziranih klasa (slika 8), vizuelnom analizom se može ustanoviti kvalitet dobijenih rezultata. Parcele su prikazane bojom koja odgovara klasi koju predstavljaju, osim parcele graška koja je prikazana crnom bojom i pšenice koja je prikazana zelenim poligonom i crnom šrafurom, radi bolje prepoznatljivosti.



Slika 8. Poređenje klasifikacije i parcela analiziranih klasa

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu, primenom različitih Python biblioteka, kao i funkcija koje one nude, analiziran je razvoj modela spektralnih smeša i njegova primena za klasifikaciju poljoprivrednih kultura u različitim mesecima. Paralelno sa realizacijom modela spektralnih smeša su identifikovani ključni izazovi i prednosti ove metode. Analiza rezultata pokazala je da su spektralne karakteristike, fenološke faze posmatranih kultura i vreme snimanja područja od interesa, značajno uticale na preciznost klasifikacije i postizanje merodavnih rezultata.

Python biblioteka, poput *NumPy*, *SciPy*, *rasterio* i *Matplotlib*, bile su neophodne za implementaciju i analizu modela spektralnih smeša. Biblioteke *NumPy* i *SciPy*, omogućile su matematičke operacije i funkcije za razdvajanje spektralnih komponenti piksela, dok je *rasterio* biblioteka korišćena za unos i obradu podataka, uz primenu *Matplotlib* biblioteke za prikaz rezultata.

Potpuno ograničeni model spektralnih smeša, kao konačan i jedini model koji je proizveo merodavne rezultate, u aprilu mesecu je zbog početnih faza rasta i vrlo niskog stepena zelene biomase, proizveo rezultate koji su vrlo male pouzdanosti.

Analizom rezultata iz maja meseca, uočljivo je značajno poboljšanje rezultata klasifikacije za sve kulture zbog

intenzivnog vegetativnog rasta i jasnije izraženih spektralnih svojstava. Fenološke faze poput cvetanja i formiranja ploda, pružile su dodatne spektralne informacije, koje su primenom numeričkih alata iz *SciPy* biblioteke poboljšale optimizaciju rezultata.

Klasifikacija rezultata za avgust mesec pokazala je da promena spektralnih karakteristika, usled sušenja i žetve, unosi kompleksnost među rezultatima, pa tako kukuruz koji se nalazi u fazi zrenja, poseduje visoku spektralnu refleksiju i lako prepoznatljive spektralne osobine, dok druge klase poput pšenice i ječma, koje su već požnjene, pokazuju izraženu spektralnu varijabilnost. *Matplotlib* biblioteka omogućila je lako uočavanje ovih promena, što je ključno za interpretaciju rezultata.

Formiranjem rastera srednjih vrednosti na osnovu FCLS metode predstavlja praktično i efikasno rešenje za analizu podataka kroz duži vremenski period. Ovaj pristup je pružio dublji uvid u konačan rezultat klasifikacije, te je ujedno otklonio problem sezonskih varijacija koje mogu da utiču na rezultate, jer su vegetacija, atmosferski uslovi i osvetljenje skloni promenama tokom godine.

Python biblioteke su ključne za primenu modela spektralnih smeša i klasifikaciju po maksimalnoj vrednosti. Primenom ovih alata ostvarena je efikasna obrada velikih setova podataka i precizna analiza rezultata. Takođe je prikazano da Python jezik i detaljna dokumentacija za svaku od biblioteka, omogućava da se apstraktne matematičke ideje primene u konkretnim proračunima i analizama, te je shodno tome opravdano jedan od vodećih programskih jezika u nauci.

8. LITERATURA

- [1] *SentinelHub*, <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/bands/> (pristupljeno 19.09.2023.)
- [2] Andreas C. Muller, Sarah Guido, "Introduction to Machine Learning with Python" 1st edition, Доступно на: [https://www.nrigrupindia.com/e-book/Introduction%20to%20Machine%20Learning%20with%20Python%20\(%20PDFDrive.com%20\)-min.pdf](https://www.nrigrupindia.com/e-book/Introduction%20to%20Machine%20Learning%20with%20Python%20(%20PDFDrive.com%20)-min.pdf), 5-7, (pristupljeno 17.09.2023.)
- [3] John A. Richards, *Remote Sensing Digital Image Analysis – Fifth edition*; Berlin – Heidelberg, 2013, 424-426

Kratka biografija:

Sebastijan Ristić rođen je u Kikindi 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Geodezije i geomatike odbranio je 2024.god. kontakt: sebaristic@gmail.com