

**OBRADA I ANALIZA SATELITSKIH VIDEO SNIMAKA
PROCESSING AND ANALYSIS OF SATELLITE VIDEOS***Ana Rašić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIČKO I RAČUNARSKO
INŽENJERSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je razmatrana analiza i obrada video snimaka Zemljine površine načinjenih sa senzorima slike postavljenim na satelitskim platformama. Korišćene su video sekvence sa Jilin-1 satelita na kojima postoji značajna dinamika scene u vidu pokretnih objekata kao što su vozila, brodovi i avioni. Na primeru takvih snimaka analizirane su mogućnosti modela za praćenje pokretnih objekata koji se oslanjaju na arhitekturu sijamskih neuronskih mreža. Isti model za praćenje objekata kvalitativno je testiran, bez prethodnog prilagođavanja, i na lokalnim video sekvencama načinjenim sa dronom i ručnim kamerama.

Ključne reči: Daljinska detekcija, satelitsko osmatranje, video signal, praćenje pokretnih objekata

Abstract – The paper discusses analysis and processing of video recordings of the Earth's surface made with image sensors placed on satellite platforms. Video sequences made with Jilin-1 satellite which contain significant scene dynamics in the form of moving objects such as vehicles, ships and planes were used. On the example of such recordings, the capabilities of models for tracking moving objects based on the architecture of Siamese neural networks were analyzed. The same object tracking model, without prior adjustment, was also qualitatively tested on local traffic video sequences made with drone and handheld cameras.

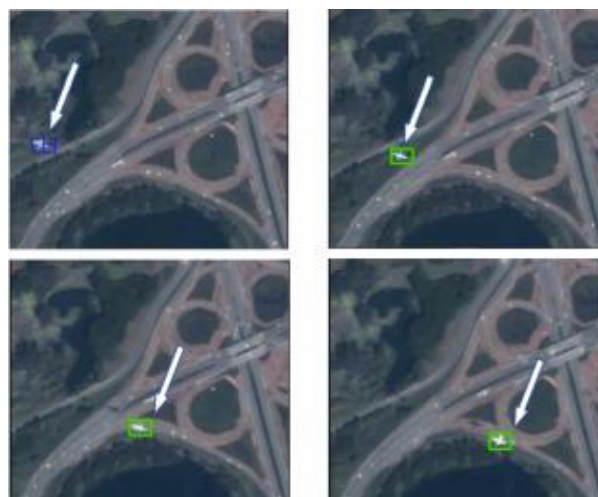
Keywords: Remote sensing, satellite imaging, video signal, tracking of moving objects

1. UVOD

Daljinska detekcija poslednjih godina pokazuje značajno prisustvo u različitim domenima i ima veoma važnu ulogu u praćenju prirodnih katastrofa (uragana, šumskih požara i poplava), u meteorologiji za potrebe vremenske prognoze, i različitim geološkim istraživanjima [1]. Koristi se tokom planiranja infrastrukturnih objekata kao što su putevi, železnička pruga, ili gasovod, ali i generalno u rešavanju brojnih društvenih i ekonomskih izazova. Posebnu oblast interesovanja predstavlja domen satelitskih video snimaka. Ovakvi signali poseduju jedinstvene karakteristike i zbog toga zahtevaju prilagođenu metodologiju za obradu i analizu u cilju skladištenja, prenosa, i izdvajanja korisnih informacija. U radu će biti prikazane neke od tehnika kompjuterske vizije koje se koriste u te svrhe. Svi sistemi daljinske detekcije generalno razmatraju sledećih sedam

elemenata: 1) izvor energije ili osvetljenja (za pasivne instrumente to je obično Sunce ili neki drugi prirodni izvor zračenja, dok je za aktivne instrumente to sam senzor koji emituje zračenje); 2) uticaj okruženja na propagaciju zračenja; 3) interakciju zračenja sa objektom; 4) način akvizicije reflektovane energije; 5) prenos, prijem i obradu snimljenih signala; 6) interpretaciju i analizu slike; 7) primenu izdvojenih informacija u cilju rešavanja određenog zadatka, u zavisnosti od primene. Brojnost i raznovrsnost satelitskih sistema namenjenih snimanju znatno se povećala, ali i dalje možemo da ih podelimo u nekoliko kategorija u zavisnosti od toga koje senzore koriste i kakva je njihova rezolucija.

Prvu grupu čine sistemi nalik Landsat sistemu projektovani za postizanje široke geografske pokrivenosti sa umerenim nivoima detalja. Podaci iz ovih sistema korišćeni su u različite svrhe, a najviše u istraživanju i praćenju zemljišnih i vodnih resursa. U drugu grupu spadaju sistemi dizajnirani za prikupljanje slika veoma širokih razmera u grubim rezolucijama. Treću grupu čine sateliti koji pružaju fine detalje u malim regionima i čiji podaci se npr. koriste u urbanističkom planiranju. Iako je ova kategorizacija nesavršena, ona nam pomaže da razumemo mogućnosti satelitskih snimaka koji su trenutno dostupni. Sa druge strane, oblast satelitskih video signala je potpuno novi modalitet satelitskih informacija koji generiše video sekvence sa relativno malom vremenskom rezolucijom do desetak sličica u sekundi. Međutim, za razliku analiza promena na vremenskoj razmeri od nekoliko sati, do nekoliko dana ili godina, satelitski video snimci uključuju i analize karakteristične za kompjutersku viziju, kao što je praćenje pokretnih objekata u sceni, Slika 1.



Slika 1. Uspešno praćenje aviona u letu na satelitskom video snimku

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Branko Brkljač, vanr. prof.

2. SATELITSKI VIDEO SNIMCI

Obrada i analiza satelitskih video snimaka postaje značajan pravac istraživanja u oblasti daljinske detekcije. Jedan od glavnih izazova analize predstavlja detekcija i praćenje objekata u pokretu. Snimci obezbeđuju kontinuirani prikaz velikih površina i dinamičko praćenje objekata u realnom vremenu [2]. Međutim, praćenje predstavlja izazovan zadatak [3]. Pored toga, efekti pseudo-pokreta uzrokovani kretanjem kamere i okluzijom objekta ometaju preciznu detekciju i na taj način inicijalizaciju trekera. Promena uslova osvetljenja predstavlja dodatne poteškoće. Proteklih godina predloženo je dosta metoda za praćenje objekta koje su se pokazale dobro kada je reč o standardnim video snimcima. Međutim, praćenje objekta u satelitskim video snimcima nailazi na mnogo izazova, uključujući:

- Veličinu objekata, tj. prostornu rezoluciju, koja je veoma mala. U konvencionalnim video snimcima objekti su uglavnom relativno veliki i lako se razlikuju od ostatka scene, ali u satelitskim video snimcima objekti koji su u pokretu obično se sastoje od svega nekoliko piksela bez karakterističnih boja i teksture i čine veoma mali deo celokupne veličine videa. Nizak nivo detalja takođe otežava dobijanje određenih karakteristika objekata značajnih za analizu, što otežava odlučivanje.
- Objekte je lako zakloniti. Video sateliti često koriste pogled iz ptičije perspektive, mnogi objekti na satelitskim video snimcima su delimično ili potpuno zaklonjeni što otežava detekciju ili praćenje.
- Pozadina je previše složena. Zbog velikog vidnog polja satelitskih video snimaka, oni mogu da snimaju najrazličitije površine i objekte, poput puteva, vodenih površina, zgrada, vegetacije, itd. Sve ovo utiče na to da je pozadina veoma složena, heterogena i otežava izdvajanje prednjeg plana (sićušnih, pokretnih objekata), Slika 2.



Slika 2. Nivo detalja vozila na satelitskim video snimcima

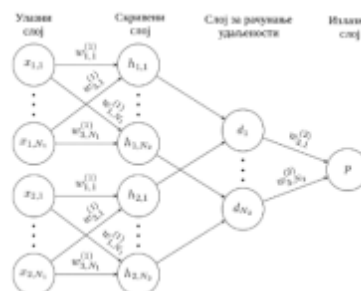
3. PROBLEMI DETEKCIJE I PRAĆENJA

U domenu daljinske detekcije termin „objekat“ ima dosta apstraktnije i šire značenja u poređenju sa istim terminom u oblasti kompjuterske vizije [4]. Dok se u kompjuterskoj viziji termin „objekat“ obično odnosi na tačno određen, specifičan entitet ili stvar na slici, u oblasti daljinske detekcije „objekat“ se odnosi na vidljive karakteristike i entitete, ali unutar većih scena snimljenih određenim satelitom. Prostorna rezolucija u daljinskoj detekciji definiše najmanji objekat koji se može uočiti senzorom, što dovodi do dve različite metode klasifikacije: analize zasnovane na pikselima i objektno orijentisane analize slike (engl. OBIA). Osnovni cilj detekcije objekta jeste da se napravi računarski model koji će pružiti neophodne informacije – da li je objekat određene kategorije na slici (detekcija) i gde se nalazi (lokalizacija). Detekcija objekta može se realizovati korišćenjem osnovnih tehnika obrade slike (korišćenjem „klizajućih prozora“, engl. sliding window) ko-

je su jednostavnije, ali i računarski zahtevnije, ili korišćenjem dubokih neuronskih mreža, koje detekciju i lokalizaciju svode na regresioni problem. U tom smislu, postoje dve vrste detektora: jednostepeni i dvostepeni. Dvostepeni prate tradicionalni pristup sa odbojenom lokalizacijom i klasifikacijom objekta, dok jednostepeni detektori posmatraju zadatak detekcije kao regresioni problem. Odlučivanje se najčešće zasniva na naučenim obeležjima, korišćenjem konvolucionih neuronskih mreža (engl. Convolutional Neural Network, CNN). Što se tiče praćenja, postoje različite tehnike i algoritmi koji pokušavaju da reše probleme koji nastaju prilikom praćenja objekata na različite načine, ali većina se oslanja na dve ključne stvari: model pokreta, koji predviđa buduću poziciju objekta na osnovu njegovog dinamičkog ponašanja, i model vizuelnog izgleda, neophodan za razlikovanje objekata od pozadine. Proces praćenja uključuje inicijalizaciju cilja, modelovanje izgleda, procenu kretanja i pozicioniranje mete. U oblasti koja se bavi satelitskim snimcima, većina metoda je proizašla iz istraživanja u domenu dnevnih video snimaka koji se inače koriste u ove svrhe. Osnovne metode praćenja zasnivale su se na metodama kao što su Kalmanov filter, filter čestica i optički tok, koje međutim nailaze na ograničenja u vidu striktnih parametara ili jednostavnih scenarija. Međutim, u skorije vreme metode praćenja značajno su poboljšane korišćenjem sijamske arhitekture neuronskih mreža u kombinaciji sa dubokim učenjem.

4. SIJAMSKE MREŽE

Sijamske mreže prvi put su predstavljene početkom devedesetih godina prošlog veka u cilju rešavanja problema verifikacije svojeručnih potpisa. Uopšteno gledano, ovakve strukture se sastoje od najmanje dve identične mreže koje su spojene na izlazu. Kada se kaže identične, misli se na mreže koje imaju iste parametre i težine. Korekcije težina tokom obuke imaju za cilj da omoguće formiranje nelinearne funkcije rastojanja između dve ulazne slike, referentnog signala i upita za koji je potrebno odrediti u kojoj meri se poklapa sa referentnim signalom. Jedan primer ovakve strukture sa N1 ulaznih i N2 potpuno povezanih neurona prikazan je na Slici 3. Nakon sloja za računanje rastojanja, sledi izlazni sloj p koji se sastoji od jednog neurona. Pošto su unutar dve podmreže težine identične, dve veoma slične slike ne bi trebalo da budu mapirane na različite lokacije u prostoru obeležja, tako da ni njihova udaljenost ne može biti velika. U poređenju sa uobičajenim modelima u nadgledanom učenju, sijamske mreže imaju određene prednosti. Tako prilikom unosa novih kategorija ili referentnih signala u sistem nije potrebno obučavati ceo model ispočetka, ili ažurirati parametre. Takođe, prilikom obuke najčešće ne zahtevaju skupove podataka sa velikim brojem instanci.



Slika 3. Ilustracija strukture sijamske mreže

Sijamske mreže su privukle pažnju u vizuelnom praćenju zbog svoje uravnoteženosti između tačnosti i brzine izvršavanja [5]. Međutim, korišćenje plitkih struktura za izdvajanje obeležja u sijamskim mrežama, poput AlexNet, predstavljalo je problem. Takođe, u [5] su analizirane i mreže poput VGG, Inception i ResNet. Međutim u slučaju pokretnih objekata u satelitskim video snimcima nisu donele značajna poboljšanja, a pokazano je da mogu i da izazovu pad performansi kada se dubina i širina mreže povećaju [5]. Ovaj fenomen je u suprotnosti sa dokazima da je povećanje dubine i širine mreže korisno za poboljšanje modela. Autori rada [5] analizirali su arhitekturu sijamske mreže modifikujući strukture mreža kako bi se razumeo uticaj pojedinačnih faktora, komponenata ili elemenata unutar modela. Ova studija je pokazala da trekeri bazirani na sijamskim neuronskim mrežama preferiraju da receptivno polje izlaznih obeležja bude podešeno na osnovu njegovog odnosa prema rezoluciji detalja slike koja se koristi kao uzorak. Korak mreže, receptivno polje i veličina izlaznih karakteristika treba uzeti u obzir kao celinu kada se kreira arhitektura mreže zato što ova tri faktora nisu nezavisna jedan od drugog. Zajedničko razmatranje sva tri faktora može pomoći mreži da izdvoji više diskriminativnih obeležja. Kako bi se prevazišao problem plitkih mreža, nastala je SiamDW arhitektura koja donosi dublje i šire mreže slaganjem CIR jedinica [6]. U sveobuhvatnoj studiji [5] pokazano je da upravo SiamDW arhitektura ima najuravnoteženije performanse u odnosu na više razmatranih kriterijuma za merenje uspešnosti praćenja pokretnih objekata u satelitskim video snimcima. Iz tog razloga, ovakav model je usvojen kao najbolji i za kvalitativne eksperimente razmatrane u ovom radu.

5. REZULTATI I DISKUSIJA

5.1 Baza podataka

Baza podataka korišćena u ovom radu je SV248S, prikupljena putem Jilin-1 satelita kompanije Chang Guang Satellite Technology Co. Ltd. [7]. Rezolucija videa je oko 0.92 metra. Video snimak koji je snimio satelit ima vremensku rezoluciju od 10 frejmova u sekundi, ali su video sekvence korišćene u eksperimentima interpolirane pomoću VFI (engl. Video Frame Interpolation) metode na 25 sličica u sekundi. Kako bi se prilikom razmatranja karakteristika trekera što više izbegao loš uticaj opisane interpolacije na ciljne piksele (delove vozila, brodova i aviona), odabrano je 248 dobrih meta iz 6 video snimaka različitih područja, na koje VFI najmanje utiče. Ova baza podataka uključuje 4 kategorije objekata: vozila, velika vozila, brodove i avione. Vozila predstavljaju najčešće mete, a zbog veličine predstavljaju scenarije praćenja koji se smatraju izazovnijim od drugih objekata. Ovaj skup podataka se uglavnom fokusira na male mete jer su ovakvi objekti najteži za praćenje u satelitskim video snimcima. Takođe, uvedeni su i atributi koji označavaju poteškoće koje se javljaju u video snimcima, pa se tako razlikuju INV, NOR i OCC stanja objekata. INV (engl. Invisible) je stanje kada je objekat nestao bez ikakve okluzije ili se usled prevelike sličnosti utopio sa pozadinom. NOR (engl. Normal Visible) je stanje kada je vozilo vidljivo i lako se može uočiti. OCC (engl. Occlusion) predstavlja stanje okluzije kada je vozilo u senci neke zgrade ili iza nekog drugog objekta, poput mostova ili visokih građevina.

5.2 Praćenje pokretnih objekta

U svim eksperimentima korišćena je implementacija SiamDW modela [8]. Pored opisane baze satelitskih video snimaka, rešenje je testirano i na video sekvencama dobijenim snimanjem iz drona i korišćenjem ručnih kamera. Takođe, razmatrana je osetljivost modela na promenu modaliteta signala, tako što su umesto standardnih snimaka u boji korišćene i pseudo kolor slike dobijene kombinovanjem vidljivog i infracrvenog dela spektra. Cilj dodatnih eksperimenata bio je da se ustanovi robusnost trekera na promene rezolucije slike, razmere objekata, prisustvo perspektivnih transformacija i značajne promene izgleda u slučaju promene modaliteta snimanja. Neki od rezultata kvalitativnih analiza ilustrovani su na Slikama 4-10. U nastavku će biti predstavljeni rezultati SiamDW trekera u vidu isečaka iz različitih satelitskih snimaka koji traju 31 sekundu, snimljenih u 3 različita grada sa jedinstvenim karakteristikama:

1) Derna, Libija: veliki broje slabo naseljenih površina sa niskim kućama, otvorene ulice, vodena površina i minimalne prepreke, uz nizak kvalitet slike. U ovakvim uslovima, treker se istakao u preciznom praćenju obeleženih vozila, Slika 4.



Slika 4. Prikaz praćenja na ulicama Derna

2) Adana, Turska: pored manjih vozila na videu se nalaze i veći objekti poput kamiona, manje prepreke i dugačak pravac. Treker je bez problema pratio i male i velike objekte, što ukazuje na njegovu sposobnost prilagođavanja različitim veličinama i tipovima objekata unutar kadra. I u ovom primeru, kvalitet slike nije na zavidnom nivou.

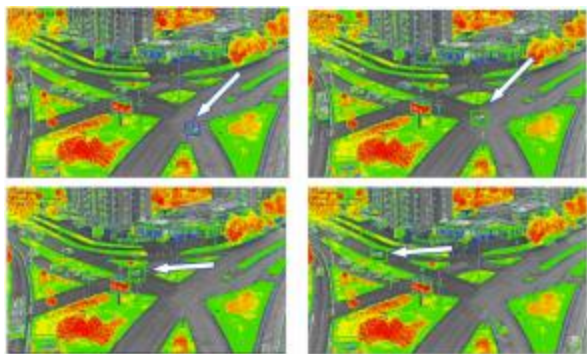


Slika 5. Prikaz praćenja na ulicama Adana

3) Mineapolis, SAD: ovaj video prikazuje široke puteve, gust saobraćaj, ali i poteškoće u vidu gustog drveća i nadvožnjaka koji mogu praviti problem usled okluzije prilikom prolaska vozila. Pored vozila, pojavljuje se i avion, koji treker takođe uspešno prati, Slika 6 i Slika 1.



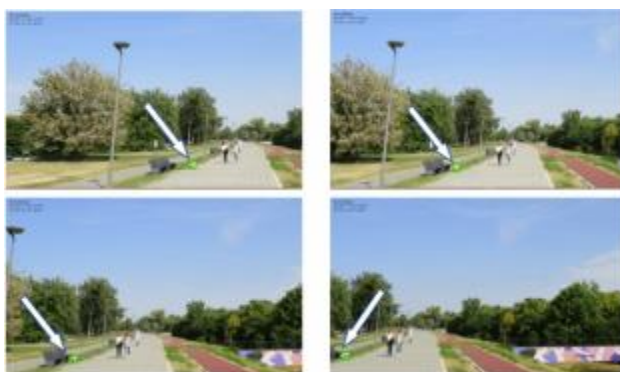
Slika 6. Prikaz praćenja velikog vozila i aviona



Slika 7. Uspešnost praćenja objekta kada se isti treker koristi na signalima značajno drugačijeg modaliteta



Slika 8. Primer greške praćenja (preuzimanje) bicikliste usled kratkotrajne okluzije, preklapanja sa pešakom



Slika 9. Uspešnost praćenja u video signalu visoke rezolucije, pri relativnom kretanju kamere u odnosu na objekat manjih dimenzija



Slika 10. Uspešno praćenje pešaka pri delimičnoj okluziji usled semafora

6. ZAKLJUČAK

Kvalitativnom analizom utvrđeno je da razmatrani model veoma uspešno prati objekte na snimcima različitog nivoa detalja, modaliteta i razmere objekata. Eksperimenti su takođe pokazali da se uspešno praćenje može realizovati samo pod uslovom da je moguća pravilna inicijalizacija trekera, a po potrebi i rešavanje problema okluzije, koja u slučaju satelitskih video snimaka, ali i snimanja iz drona, može nastati zbog različitih uticaja. U tom smislu, unapređenja ovakvih rešenja su moguća radom na dva odvojena, ali komplementarna pravca istraživanja. Ovakvi ciljevi se ne razlikuju od uobičajenih zahteva u razvoju sistema za praćenje objekata u videu, ali zbog specifičnosti satelitskih platformi, odgovarajuća rešenja iziskuju dodatni stepen prilagođavanja i razumevanja. Navedeno potvrđuju i razmatrani eksperimenti u literaturi, gde su autori [5] konstatovali da rešenja koja se smatraju uspešnijim u slučaju standardnih video snimaka ne moraju ispoljiti isti nivo kvaliteta i u slučaju satelitskih video snimaka.

7. LITERATURA

- [1] Zhao, Q., Yu, L., Du, Z., Peng, D., Hao, P., Zhang, Y., Gong, P. (2022). An overview of the applications of earth observation satellite data: impacts and future trends. *Remote Sensing*, 14(8), 1863.
- [2] Zhang, Z., Wang, C., J., & Xu, Y. (2022). Object Tracking based on satellite videos: A literature review. *Remote Sensing*, 14(15), 3674.
- [3] Chen R, Ferreira G, Li X. Detecting Moving Vehicles from Satellite-Based Videos by Tracklet Feature Classification. *Remote Sensing*. 2023; 15(1):34.
- [4] H. G, T. Blaschke, D. Marceau and A. Bouchard, A comparison of three image object methods for the multiscale analysis of landscape structure., *International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 57, pp. 327-345, 2003.
- [5] Li, Y., Jiao, L., Huang, Z., Zhang, X., Zhang, R., Song, X., & Li, L. (2022). Deep learning-based object tracking in satellite videos: A comprehensive survey with a new dataset. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 10(4), 181-212.
- [6] Zhang, Z., & Peng, H. (2019). Deeper and wider Siamese networks for real-time visual tracking. *CVPR* (pp. 4591-4600).
- [7] xdai-dlgvv/SV248S, opensource satellite video datasets for object tracking: <https://github.com/xdai-dlgvv/SV248S>
- [8] SiamDW/siamese_tracking: https://github.com/researchm/SiamDW/tree/master/siamese_tracking

ZAHVALNICA

Zahvaljujemo se kolegama sa Univerziteta Xidian u Kini, članovima Intelligent Perception and Image Understanding laboratorije, a posebno Yuxuan Li na podršci istraživanju u obliku korišćenog skupa SV248S.

Kratka biografija:

Ana Rašić rođena je u Jagodini 1998. godine. Osnovne akademske studije Biomedicinskog inženjerstva na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu završila je 2021. god. Na istom fakultetu, 2023. godine završava master studije Energetike, elektronike i telekomunikacija, modul Obrada signala.