

SEGMENTACIJA IZOLATORA NA TERMALNIM SLIKAMA UPOTREBOM METODA MAŠINSKOG UČENJA

Apstrakt: Infrastruktura elektromreža, koje pokrivaju široke teritorije uključujući i nepristupačna područja, zahtevaju redovno održavanje kako bi se osigurao njihov pravilan rad, sigurnost i neprekidan dotok struje. Tradicionalne metode inspekcije zahtevaju fizičko prisustvo timova na terenu, skupe su i opasne. Zbog toga se sve više koristi automatizovana inspekcija, u koju spada i upotreba dronova za snimanje dalekovoda iz teško pristupačnih uglova i različitih spektralnih opsega (vidljivi i termalni). Dobijene slike se dalje analiziraju koristeći algoritme mašinskog učenja kojima se detektuju oštećenja ili kvarovi delova dalekovoda. Cilj upotrebe veštačke inteligencije je da se unapredi i optimizuje inspekcija, čime bi se uvećala bezbednost, smanjili troškovi i unapredila efikasnost održavanja elektromreža. Napredne tehnike mašinskog učenja koriste se u cilju precizne detekcije delova opreme (izolatora, provodnika, spojne i ovesne opreme) i defekata na njima što se postiže analizom RGB i termalnih snimaka dobijenih dronom. U ovom radu opisana je segmentacija izolatora na termalnoj slici pomoću PCNN (Pulse-Coupled Neural Network) algoritma. Segmentacija se prvo vrši na isečcima, koji su detektovani Yolov8 arhitekturom, podešavanjem parametara PCNN algoritma i dodatnim post-procesiranjem kako bi se što više eliminisala pozadina. Algoritam je dalje proširen tako da kao ulaz prima termalnu sliku, koordinate regiona interesa za izolator, granične vrednosti i parametre. Rezultat je generisana binarna maska dimenzija termalne slike na kojoj je segmentiran izolator. Detektovani izolator se dalje može koristiti kao deo šire termalne analize, kojom se prati temperatura stanja opreme kako bi se u slučaju nepravilnosti aktivirao alarm.

Ključne reči: elektromreža, mašinsko učenje, termalne slike, segmentacija izolatora, binarna maska

1 Istraživačko-razvojni institut za veštačku inteligenciju Srbije, jelena.petkovic@ivi.ac.rs

2 Machine Wise, isidora.jankov@machinewise.io

INSULATOR SEGMENTATION IN THERMAL IMAGES USING MACHINE LEARNING METHODS

Abstract: The infrastructure of power grids, which cover vast territories including inaccessible areas, requires regular maintenance to ensure their proper functioning, safety, and continuous power supply. Traditional inspection methods require the presence of teams on-site, they are costly and dangerous. Therefore, automated inspection is being used increasingly, including the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) that capture images of power lines from hard-to-reach angles and different spectral ranges (visible and thermal). The obtained images are then analyzed using machine learning algorithms that detect defects or faults in power line components. The goal of using artificial intelligence is to improve and optimize inspections, thereby increase safety, reduce costs, and enhance the efficiency of power grid maintenance. Advanced machine learning techniques are used for the precise detection of equipment parts (insulators, conductors, connectors, and suspension equipment) and defects on them, which is achieved by analyzing RGB and thermal images obtained by UAVs. This paper describes the segmentation of insulators in thermal images using the PCNN (Pulse-Coupled Neural Network) algorithm. The segmentation is first performed on bounding boxes detected by the YOLOv8 architecture, adjusting the parameters of the PCNN algorithm and by further post-processing that minimizes the background noise. The algorithm is then extended so that it takes as input the thermal image, the coordinates of the region of interest for the insulator, threshold values and parameters. The result is a generated binary mask of the thermal image's dimensions on which the insulator is segmented. The detected insulator can then be used as part of a broader thermal analysis, which monitors the temperature of the equipment so that, in case of irregularities an alarm is triggered.

Keywords: power grid, machine learning, thermal images, insulator segmentation, binary mask

1. UVOD

Infrastruktura elektromreža zahteva redovno održavanje kako bi se obezbedio njen neometan rad i dotok struje. Tradicionalne metode inspekcije podrazumevaju izlazak timova na terene koji su često nepristupačni, te su ove metode skupe i opasne. Osim toga, infrastrukture elektromreža pokrivaju i do nekoliko desetina hiljada kilometara čime se dodatno javlja potreba za automatizacijom procesa inspekcije. Jedan od načina automatizacije inspekcije jeste i upotreba dronova za snimanje dalekovoda iz nepristupačnih uglova. Taj metod je bezbedan i jeftin. U zavisnosti od proizvođača i modela drona, moguće je dobiti slike u različitim spektralnim opsezima. Razvoj veštačke inteligencije, konkretno kompjuterske vizije, omogućio je da se slike visoke rezolucije dalje obrađuju u cilju precizne detekcije defekata na delovima stuba dalekovoda (izolatorima, provodnicima, spojnoj i ovesnoj opremi). Najpre se deo opreme čiju ispravnost proveravamo detektuje na slici izabranim algoritmom za detekciju objekata. Na taj način dobijamo isečak (eng. bounding box) u kojem se nalazi naš objekat od interesa. Međutim, dobijeni isečak često obuhvata i pozadinu koja nije deo objekta. Recimo da želimo da odredimo temperaturu objekta, na primer izolatora, koristeći termalne slike. Ako bismo uzeli prosečnu temperaturu piksela obuhvaćenih isečkom za temperaturu izolatora postojala bi mogućnost da objekti u pozadini, na primer krovovi kuća, značajno povećaju prosečnu temperaturu. Tada bi se moglo desiti da neopravdano podignemo alarm koji bi obavestio da je izolator pregrejan. Ovo je primer potrebe za segmentacijom objekata unutar isečka. Segmentacija izolatora podrazumeva kreiranje binarne maske, gde pikseli koji pripadaju izolatoru imaju vrednost 255, dok svi ostali pikseli imaju vrednost 0. Na taj način izdvajamo beo izolator na crnoj pozadini.

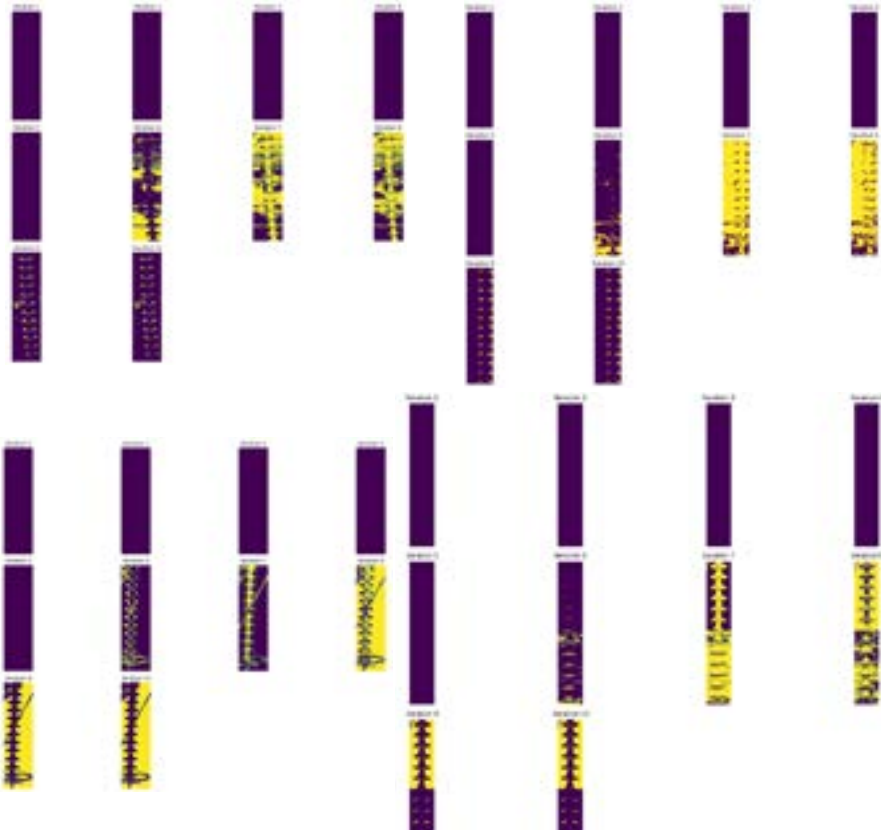
2. METODOLOGIJA

2.1. Detekcija izolatora

Kao što smo naveli u uvodu, prvi korak jeste detekcija izolatora. Za detekciju izolatora korišćena je YOLOv8 arhitektura [1] trenirana na skupu podataka od oko 3000 RGB (*red green blue*) slika većinom iz javno dostupnog skupa podataka obeleženih izolatora InsPLAD [2]. Radi poboljšanja prediktivne moći modela, YOLO arhitektura je trenirana na isečcima slika visoke rezolucije kako bi se zadržalo što više detalja o samim izolatorima, a istovremeno održala efikasnost, tj. brzina predikcija. Nakon treniranja, u režimu izvođenja zaključka (eng. *inference*), koristi se metod predikcije pomoću kliznog prozora (eng. *sliding-window inference*), gde model vrši predikcije na manjim isečcima originalne slike i sve dobijene detekcije konsoliduje pomoću SAHI biblioteke [3]. Ovako treniran model postiže visoku preciznost i odziv (92%) na validacionom skupu podataka. Izlaz ovog modela su koordinate isečka koji sadrže izolatore u referentnom sistemu RGB slike. RGB slike su korišćene za detekciju izolatora umesto termalnih slika jer imaju daleko veću rezoluciju te su izolatori na njima opisani sa većim nivoom detalja. Takođe, prisustvo 3 kanala (slika u boji) nam pruža dodatni izvor detalja. Dalje, potrebno je preslikati koordinate iz referentnog sistema RGB slika u referentni sistem termalnih slika. To se postiže homografskim transformacijama. One omogućavaju efikasan prenos detekcija izolatora sa RGB slika na termalne tako da uspešno dobijamo koordinate isečka izolatora na termalnim slikama. Sledeći korak jeste još preciznija segmentacija siluete izolatora.

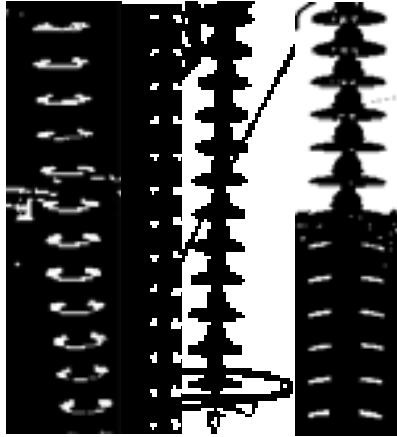
2.1. Segmentacija izolatora

U ovom delu radimo segmentaciju izolatora na isečcima dobijenim u prethodnom koraku. Ovaj korak obuhvata upotrebu PCNN (Pulse-Coupled Neural Network) algoritma, definisanog u [4], podešavanje njegovih parametara i dodatno post-procesiranje kako bi se eliminisala pozadina što više. PCNN je tip neuronske mreže motivisan vizuelnim sistemom sisara tj. načinom na koji grupe neurona reaguju na slične vizuelne stimulanse prenoseći signale u vidu impulsa odnosno sinhronim "pucaњem" u neurona u mozgu sisara. Na Slici 1 vidimo kako se segmentacija izolatora upotrebom PCNN-a poboljšava kroz iteracije. To je postignuto podešavanjem njegovih parametara. Konkretno, vrednost jačine veze (eng. *link strength*) je postavljena na 0.01, parametar opadanja (eng. *decay*) podešen je na 0.399, skala praga (eng. *threshold scale*) je podešena na 3, a skala veze (eng. *link scale*) na 2.5. Sprovedeno je ukupno 25 iteracija, međutim, rezultati su konzistentni već posle 10 iteracija te njih i prikazujemo. Parametri su podešavani tako da se postigne optimalan balans između tačnosti segmentacije i eliminacije pozadine.



Slika 1: Segmentacija izolatora upotrebom PCNN-a kroz iteracije

Na Slici 2 date su binarne maske izolatora dobijene kao rezultat PCNN-a.



Slika 2: Binarne maske izolatora kao rezultat PCNN-a

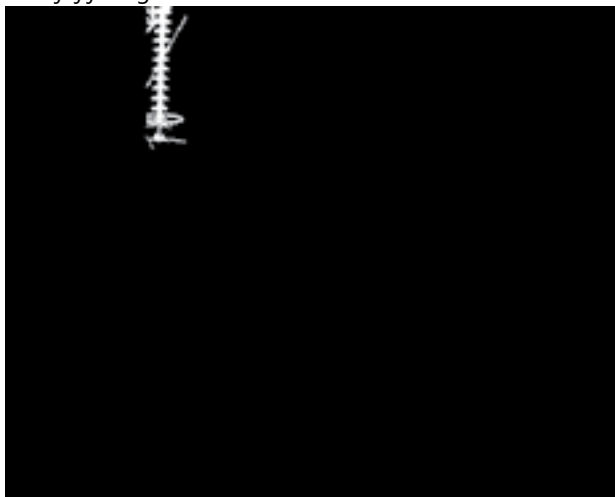
Na prva dva isečka (levo) izolator je pravilno izdvojen – beo na crnoj pozadini. Na trećem isečku to nije slučaj, međutim, to lako rešavamo invertovanjem maske tj. invertovanjem vrednosti piksela. Drugi problem je šum (eng. *noise*) u pozadini, pogotovo prisutan na poslednjem isečku gde je detektovano nebo.

Za filtriranje velikih regija u pozadini koristili smo CLAHE algoritam. Podešavanjem parametra za maksimalnu veličinu regije (eng. *max area*) koju zadržavamo u maski možemo da eliminišemo pozadinsku buku. Maksimalna veličina regije je dinamički izračunavana na osnovu veličine tj. površine slike i CLAHE praga. Rezultat invertovanja binarne maske i upotrebe CLAHE algoritma dat je na Slici 3.



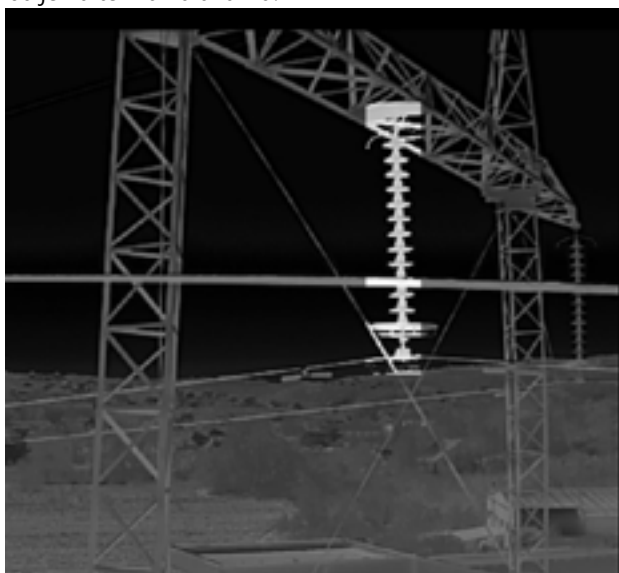
Slika 3: Binarne maske izolatora nakon invertovanja vrednosti piksela i obrade CLAHE algoritmom

Sledeći korak je da proširimo algoritam tako da ulaz nisu samo iseći izolatora, već cele termalne slike zajedno sa koordinatama isečaka u termalnom referentnom sistemu i potrebnim vrednostima parametara. Izlaz algoritma je maska veličine termalne slike na kojoj je segmentiran izolator i može se videti na Slici 4.



Slika 4: Maska dimenzije termalne slike sa segmentiranim izolatorom

Ovako dobijene maske zatim možemo preklopiti sa termalnim slikama (Slika 5) i proslediti ih dalje na termalnu analizu.



Slika 5: Termalna slika preklopljena sa binarnom maskom

3. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljena je metoda segmentacije izolatora na termalnim slikama korišćenjem PCNN algoritma. Kombinovanjem YOLOv8 detekcija i PCNN segmentacije omogućeno je preciznije izdvajanje izolatora, uz dodatno post-procesiranje radi eliminacije pozadine. Dobijeni rezultati su pogodni za dalju termalnu analizu stanja opreme čime se postiže cilj - automatizacija inspekcija dalekovoda. Takođe, razvijeni algoritam primenjen na RGB slike može poslužiti i kao deo procesa detekcije oštećenja – nedostajućih kapica (eng. *missing caps*) na izolatorima.

Ovo je jedan od primera uspešne primene veštačke inteligencije u olakšavanju i ubrzavanju skupih i nebezbednih procesa.

BIBLIOGRAFIJA

1. <https://github.com/ultralytics/ultralytics> , pristupljeno 14.03.2025.
2. <https://github.com/andreluizbvs/InsPLAD> , pristupljeno 14.03.2025.
3. Akyon, F. C., Altinuc, S. O., & Temizel, A. (2022). Slicing aided hyper inference and fine-tuning for small object detection. Paper presented at the 2022 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Bordeaux, France, pp. 966-970. <https://doi.org/10.1109/ICIP46576.2022.9897990>
4. Johnson, J. L., & Padgett, M. L. (1999). PCNN models and applications. IEEE Transactions on Neural Networks, 10(3), 480-498. <https://doi.org/10.1109/72.761706>