

Principi prezentacije i prepoznavanje oblika
- Klasifikacija otpada -

Student: Marija Marković IT3/2022

Asistent: Sofija Đorđević

Profesori: Marko Arsenović, Anderla Andraš

Sadržaj

1. Uvod
2. **Pregled literature i postojećih pristupa**
 - 2.1. Istaknuti radovi i trendovi
 - 2.2. Skupovi podataka (datasets) i njihova uloga
3. **Metrike evaluacije i tipični rezultati**
 - 3.1. Osnovne metrike
 - 3.2. Protokol evaluacije
 - 3.3. Tipični rezultati iz literature
4. **Komentar i ideje studenta**
 - 4.1. Razumevanje problema
 - 4.2. Predložen pristup
 - 4.3. Očekivani rezultati (realistični ciljevi)
 - 4.4. Potencijalna unapređenja
5. **Zaključak**
6. **Literatura**

1. Uvod

Klasifikacija je zadatak nadgledanog učenja u kome se za dati ulazni primer x (npr. slika, tekst, signal) predviđa pripadnost jednoj ili više unapred definisanih diskretnih klasa iz skupa Y . Cilj je naučiti funkciju $f_\theta: X \rightarrow Y$ (ili distribuciju verovatnoća $p_\theta(y | x)$) na osnovu obeleženih primera (x, y) tako da se nova, neviđena x pravilno dodeljuju odgovarajućim klasama.

Klasifikacija otpada je sistem koji automatski prepoznaje da li je nešto plastika, staklo, papir, metal ili neka druga vrsta smeća. Zvuči jednostavno, ali u praksi je dosta kompleksnije nego što deluje.

Problem je postao aktuelan jer ljudi proizvode ogromne količine otpada - Svetska banka procenjuje da ćemo do 2050. godine proizvoditi 3,4 milijarde tona godišnje. To je dvostruko više nego sada. Najveći problem je sortiranje otpada za reciklažu, a to je spor, skup i ponekad opasan posao. Zbog toga se pojavljuje ideja da kompjuter nauči da iz slike prepozna šta je šta, kao što mi to automatski radimo.

Ovo je praktično važan problem jer tačnije sortiranje povećava stopu reciklaže, smanjuje troškove obrade i doprinosi zaštiti životne sredine.

Glavni izazovi:

- Vizuelna varijabilnost istog materijala (različite boje, oblici, stanja – zgužvano, polomljeno, prljavo).
- Okruženje i uslovi snimanja (svetlo, pozadina, senke, refleksije).
- Nebalansirane klase (npr. plastika je često zastupljena, a medicinski/e-otpad mnogo ređe).
- Sličnost između nekih klasa (karton vs. papir, aluminijumska limenka vs. drugi metali, providna plastika vs. staklo).

U ovom projektu polazimo od skupa podataka sa 12 klasa otpada. Fokus je na konceptualnom razumevanju problema, standardnih pristupa u literaturi i argumentovanom izboru strategije koju ćemo koristiti u narednim fazama.

2. Pregled literature i postojećih pristupa

Razvoj pristupa klasifikaciji slika (pa samim tim i otpada) ide od tradicionalnih metoda ka CNN i transfer učenju.

Tradicionalne metode (pre 2012): ručno izdvajanje karakteristika (boja, ivice, teksture) + klasifikatori (SVM, Random Forest, KNN). Ograničenja: niža tačnost, od 60-75%, i slabija generalizacija zbog zavisnosti od „ručno“ definisanih osobina. Performanse su često padale kada se promeni osvetljenje, pozadina ili ugao snimanja.

Duboko učenje (posle 2012): CNN automatski uči višeslojne reprezentacije; preciznije i brže uz dostupnost GPU-a. Transfer učenje omogućava da se već istrenirane mreže „preprilagode“ na specifičan zadatak sa manje podataka, što je idealno za domene sa ograničenim ili nebalansiranim skupovima (kao što su specifične klase otpada). Time se postižu rezultati 90–97% u kontrolisanim uslovima i 85–92% u realnim scenarijima, u zavisnosti od kvaliteta podataka i obima augmentacije .

2.1 Istaknuti radovi i trendovi:

- **Transfer učenje (ResNet, EfficientNet, Inception, MobileNet) kao standard:** Radovi pokazuju da zamrzavanje ranih slojeva (koji hvataju opšte vizuelne obrasce) i obuka novog klasifikacionog „head“-a donosi brzu konvergenciju. Fine-tuning gornjih blokova dodatno podiže tačnost za 1–3 p.p. EfficientNet (B0–B3) često daje najbolji odnos tačnost/efikasnost, dok ResNet-50/101 ostaje pouzdan izbor za jake GPU konfiguracije [1], [3], [5], [6].
- **Hibridni modeli (CNN + LSTM):** Koriste se kada ulaz dolazi kao sekvenca (npr. video sa pokretne trake). CNN izvlači prostorne osobine iz svakog frejma, a LSTM modelira vremenski tok. Dobici su u situacijama kada je kontekst kroz vreme bitan (npr. rotacija objekta koja otkriva relevantnu teksturu/oblik) [4].
- **Ensemble pristupi:** Kombinacije (npr. EfficientNet + ResNet + MobileNet) preko soft-votinga ili stacking-a daju stabilniji učinak i tipično +1–3% tačnosti u odnosu na najbolji pojedinačni model. Ensemble je posebno koristan kada se pojedinačni modeli „zbunjuju“ na različitim podskupovima klasa [1].
- **Pojava lakih i „edge-friendly“ modela:** MobileNetV2/V3, EfficientNet-Lite i slični arhitekturalni kompromisi omogućavaju real-time rad na CPU/edge

uređajima (npr. pametne kante), uz žrtvovanje nekoliko procentnih poena tačnosti u odnosu na „teže“ modele [5], [6].

- **Transformers/ViT (noviji trend):** Iako manje zastupljeni u radovima striktno fokusiranim na otpad, Vision Transformers postaju relevantni za fine-grained razlikovanja i kada postoji dovoljno podataka ili se koristi self-supervised/MAE pretreniranje. U domenu otpada i dalje dominiraju CNN-ovi, ali se beleže pilot-primene ViT-a uz poredivu ili bolju tačnost u odnosu na CNN baseline.

2.2 Skupovi podataka (datasets) i njihova uloga

- **TrashNet (6 klasa):** Kontrolisano okruženje (bela pozadina, uniformno svetlo), ~2.5k slika. Odličan za baseline i didaktiku, ali ograničeno reprezentativan za realan svet. Na njemu se lako postiže 93–97% uz transfer učenje, što ne garantuje isti učinak na terenskim podacima [7].
- **TACO (realni ambijent):** Slike iz „prirode“ (ulice, plaže, parkovi) sa COCO anotacijama (detekcija/segmentacija), 28+ kategorija. Teži je, ali realističniji; dobar za evaluaciju robustnosti i prelazak sa klasifikacije cele slike ka detekciji pojedinačnih predmeta otpada [8].
- **Kaggle varijante sa 12+ klasa:** Veći, balansirani i raznovrsniji skupovi podataka, često kombinovani iz više izvora. Omogućavaju bolji balans i obim za obuku i validaciju. Tipične tačnosti 90–96% uz transfer učenje, uz zavisnost od balansa i kvaliteta slika [2].

3. Metrike evaluacije i tipični rezultati

U višeklasnoj klasifikaciji (12 klasa) važno je koristiti skup metrika koji pokriva i ukupnu tačnost i performanse po pojedinačnim klasama, naročito kada su klase nebalansirane.

3.1 Osnovne metrike

- **Accuracy** (udeo tačno klasifikovanih uzoraka u odnosu na ukupan broj): jednostavna, ali može biti varljiva uz nebalansirane klase tj. model može „favorizovati“ dominantne klase.
- **Precision/Recall**: odlično za uvid u retke/teške klase.
- **Confusion matrix**: prikazuje za svaku stvarnu klasu kako je model raspodelio predikcije po klasama. Pokazuje koje klase se najčešće „mešaju“ (npr. papir vs. karton, providna plastika vs. staklo).
- **Macro/Weighted F1**: makro prosek (svaka klasa jednako važna) ili ponderisan prosek (prema veličini klase).

3.2 Protokol evaluacije

- Podela podataka
- Augmentacija i TTA - Augmentacija (rotacija, pomeranje, zumiranje, horizontalno okretanje) se koristi kako bi se povećala raznolikost skupa podataka i smanjio overfitting. Ovo je posebno korisno kod nebalansiranih dataset-ova kao što je ovaj.
- Izveštavanje
- Statistička pouzdanost
- Metrike za primenu (deployment)

3.3 Tipični rezultati iz literature

- Kontrolisani uslovi (čiste pozadine, uniformno svetlo, dobro iscentrovani objekti):
 - Top-1 Accuracy: ~93–97%
 - Macro-F1: ~0.92–0.96
 - Najčešće greške: „srodni“ parovi (papir–karton, plastika–staklo)
 - Literatura: [1], [3], [5]
- Realni uslovi (kompleksne pozadine, prljavština, varijabilno svetlo):
 - Top-1 Accuracy: ~85–92%
 - Macro-F1: ~0.83–0.90

- Veća varijansa po klasama, posebno za retke (baterije, medicinski, e-otpad)
 - Literatura: [8]
- Efekti tehnika poboljšanja:
 - Snažnija augmentacija (jitter, random erasing, mixup): +1–2 p.p. i bolja generalizacija.
 - Class weights/oversampling kod nebalansa: značajan porast Macro-F1 i po-klasnog Recall-a za retke klase (često bez velikog rasta ukupnog accuracy-ja).
 - TTA/Ensemble: dodatnih +0.5–2 p.p. na accuracy i/ili F1.

4. Komentar i ideje studenta

Polazeći od zahteva kursa i cilja CP1, predlažem sledeći pristup za dataset sa 12 klasa:

4.1 Razumevanje problema

Klasifikacija otpada sa 12 klasa predstavlja izazov zbog sličnosti između pojedinih kategorija (npr. različite vrste stakla ili slične teksture kod papira i kartona). Pored toga, analiza dataset-a je pokazala značajnu nebalansiranost klasa, gde su neke kategorije znatno zastupljenije (npr. *clothes*), dok su druge manje zastupljene (*white-glass*, *green-glass*, *trash*). Zbog toga je važno pratiti ne samo ukupnu tačnost, već i **F1-score po klasama**, jer accuracy može biti previše optimističan u nebalansiranim skupovima. Takođe, dataset sadrži slike različitih dimenzija i formata, što zahteva standardizaciju ulaza.

4.2 Predloženi pristup

U narednoj fazi (CP2) planira se detaljna analiza dataset-a, uključujući:

- vizualizaciju distribucije klasa (bar-diagram),
- proveru dimenzija i kvaliteta slika,
- identifikaciju eventualnih nedostataka.

Nakon toga će se izvršiti pretprocesiranje:

- resize slika na standardnu dimenziju (npr. 224×224),
- normalizacija piksela u opseg [0,1],
- podela podataka na trening i validaciju (npr. 80/20 ili 70/15/15),

2) Model –**baseline CNN**

U CP2 plan je da se implementira jednostavan CNN model sa konvolucionim slojevima. Rezultati će biti praćeni kroz accuracy, F1-score i matricu konfuzije.

3) Trening strategija (CP2 → CP3):

4) Evaluacija:

- Confusion matrix
- F1-score po klasama
- Ukupna tačnost na validacionom skupu

4.3 Očekivani rezultati (realistični ciljevi)

- CP2: 70–80% accuracy; macro-F1 0.75–0.79.
- CP3: 80–95% accuracy; macro-F1 0.85–0.90.
- Uz TTA/ensemble: dodatnih ~1% ukupne tačnosti.

4.4 Potencijalna unapređenja

- **Balansiranje dataset-a** kroz weighted loss ili oversampling kako bi se poboljšale performanse slabijih klasa.
- **Napredna augmentacija** (npr. mixup, cutout) za bolje generalizovanje modela.
- **Analiza grešaka** kroz confusion matrix i eventualna primena ensemble pristupa.

5. Zaključak

Klasifikacija otpada sa 12 klasa je zrela i praktično važna oblast u koju se duboko učenje prirodno uklapa. Savremena literatura snažno favorizuje transfer učenje sa modelima poput EfficientNet i ResNet, uz pažljivo sprovedene augmentacije i balansiranje klasa. U kontrolisanim uslovima postižu se vrlo visoke tačnosti (93–97%), dok u realnim scenarijima rezultati zavise od kvaliteta podataka i složenosti obuke (85–92%).

Za projekat, plan je da se u CP2 izgradi bazni rezultat, a u CP3 postigne značajno poboljšanje kroz fine-tuning, dodatne tehnike augmentacije i pažljivo birane hiperparametre. Fokus evaluacije biće na F1-score po klasama i confusion matrici, kako bi se objektivno prikazale prednosti i ograničenja rešenja.

6. Literatura

- [1] "Solid Waste Classification using Deep Neural Network: A Transfer Learning Approach," Earth Science Informatics, Springer, 2025. Dostupno: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12145-025-01743-x>
- [2] Kaggle, "Garbage Classification datasets (12 classes)," 2024. Dostupno: <https://www.kaggle.com/datasets/>
- [3] "A CNN-Based Image Classification Model for Efficient Waste Management," IJRPR, Vol. 6, Issue 4, 2025. Dostupno: <https://ijrpr.com/uploads/V6ISSUE4/IJRPR43852.pdf>
- [4] R. Damasevicius, et al., "A smart waste classification model using hybrid CNN-LSTM with transfer learning for sustainable environment," ResearchGate, 2023. Dostupno: <https://www.researchgate.net/publication/373916788>
- [5] "Improving the Performance of CNN by Transfer Learning for Waste Classification," AIP Conference Proceedings, 2025. Dostupno: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article/3211/1/030009>
- [6] "Efficient Waste Classification using Deep Learning: A Case Study with EfficientNet," IEEE Xplore, 2024. Dostupno: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10863966>
- [7] G. Thung, M. Yang, "TrashNet Dataset," GitHub, 2016. Dostupno: <https://github.com/garythung/trashnet>
- [8] P. F. Proença, P. Simões, "TACO: Trash Annotations in Context," arXiv:2003.06975, 2020. Sajt: <http://tacodataset.org/>