

**UNIVERZITET CRNE GORE
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET, PODGORICA**

Vijeću Prirodno-matematičkog fakulteta

Predmet: Izvještaj komisije o pregledu i ocjeni magistarskog rada Nikole Pižurice

Vijeće Prirodno-matematičkog fakulteta na sjednici održanoj 29. 3. 2022. godine, donijelo je Odluku o imenovanju komisije za ocjenu magistarskog rada „Razvoj regularizovanih konvolucionih enkoder-dekoder modela dubokog učenja za detekciju površinskih oštećenja proizvoda u industriji na osnovu digitalnih 2D slika“, kandidata Nikole Pižurice, u sastavu:

1. dr Savo Tomović, redovni profesor PMF – član;
2. dr Srđan Kadić, docent PMF – član;
3. dr Igor Jovančević, docent PMF – mentor.

Kandidat Nikola Pižurica je dana 13. 10. 2022. godine predao tekst magistarskog rada na uvid javnosti i ocjenu. Nakon uvida u podneseni materijal, a u vezi sa članom 22 Pravila studiranja na master studijama, podnosimo sljedeći

IZVJEŠTAJ

Magistarski rad kandidata Nikole Pižurice, bečelora računarskih nauka, pod nazivom „Razvoj regularizovanih konvolucionih enkoder-dekoder modela dubokog učenja za detekciju površinskih oštećenja proizvoda u industriji na osnovu digitalnih 2D slika“ ukupno ima 82 strane i ispunjava sve zahtjeve propisane Pravilima studiranja na master studijama.

Rad je iz oblasti računarskih nauka a uža oblast rada je kompjuterska vizija (engl. *computer vision*) - a još preciznije primjena dubokog učenja (engl. *deep learning*) na automatsku vizuelnu inspekciju industrijskih proizvoda. Glavni tekst rada je podijeljen u šest osnovnih poglavlja: Uvod, Pregled modela iz literature, Nove ideje za regularizaciju modela, Eksperimentalni protokol, Pregled eksperimentalnih rezultata, Zaključci i dalja istraživanja. Rad je prijatan za čitanje a poglavlja su podijeljena u podpoglavljja tako da svako od njih čini jednu logičku cjelinu.

Problem koji kandidat rješava je automatizacija procesa vizuelne inspekcije industrijskih proizvoda. Preciznije, nastoji se razviti softver koji na osnovu digitalnih slika može da:

1. binarno klasifikuje slike industrijskih proizvoda na one sa oštećenim proizvodom i one bez oštećenja na proizvodu

2. segmentira oštećenje na slici, ukoliko je oštećenje prisutno na proizvodu

Za rješenje ovog problema predlaže se pristup koji se zasniva na dubokim konvolucionim neuronskim mrežama koje su tipa enkoder-dekoder. Ovo su arhitekture koje se tipično koriste za probleme segmentacije u koje spada i problem definisan ovim radom. Ove se arhitekture zasnivaju na svođenju ulaznog podatka (2D slike) u latentni prostor redukovanih dimenzija. Mreža se trenira da kroz dekoder dio arhitekture na osnovu podataka iz latentnog prostora konstruiše željeni izlaz - u slučaju ovog rada to je binarna segmentaciona maska koja ukazuje na oštećenje ako ga ima. Centralna ideja i naučni doprinos kandidata je razvoj novih metoda regularizacije pomenutih modela. Naime, predlažu se originalne ideje za regularizaciju u latentnom prostoru, a sa ciljem da se omogući lakša klasifikacija slika na one sa i one bez oštećenja na slikanim proizvodima. Regularizacijom se postiže, a rezultati rada to demonstriraju, da latentni vektori bez oštećenja budu udaljeni od vektora sa oštećenjima u smislu Euklidskog rastojanja. Tada se visoka preciznost klasifikacije postiže čak i jednostavnim heuristikama (npr. thresholding na udaljenosti od nule).

U prvom poglavlju rada detaljno je definisan problem koji će biti tretiran u radu kao i motivacija za njegovo rješavanje. Takođe je, prema dobroj praksi, najavljena struktura ostatka rada.

U drugom poglavlju dat je pregled dosadašnjih radova koji predlažu algoritamska rješenja za detekciju defekata na osnovu 2D slika. Počinje se sa tradicionalnim pristupima obrade slike a završava sa metodima dubokog učenja. Uvode se i ključni koncepti poput konvolucionih neuronskih mreža, enkoder-dekoder arhitektura kao i podvrste nazvane autoenkoderi, a na samom kraju čitalac se upoznaje i sa varijacionim i regularizovanim autoenkoderima, koji su bili inspiracija za novi pristup koji će biti izložen.

Treće poglavlje pruža uvid u inovativnu ideju ovog rada koja se sastoji u novim pristupima regularizaciji u latentnom prostoru. Tri verzije ove regularizacije se predlažu a nakon eksperimenata će se pokazati da se jedna izdvaja kao najefikasnija.

Četvrto poglavlje daje pregled eksperimenata, trening procedura kao i nekih korisnih preprocessing tehnika. Eksperimenti su sveobuhvatni. Urađeni su na 4 javna skupa podataka, poznata u naučnoj zajednici i često korišćena za upoređivanje tehnika. Uz to, skupovi podataka su iz različitih industrija: industrija električne opreme, magnetnih ploča, kao i industrija štampanih ploča i čipova.

Peto poglavlje demonstrira dobijene rezultate po dataset-ovima i po poznatim metrikama za oba problema: klasifikaciju i segmentaciju. Dobijeni rezultati pokazuju da predložena metodologija unapređuje neke od postojećih rezultata prijavljenih u literaturi. Neki od dobijenih rezultata su isti kao prijavljeni u literaturi. U svakom slučaju predloženi metod daje komparabilne rezultate pri čemu dozvoljava i da ulazne slike budu različitih dimenzija, što je prednost u odnosu na neke poznate metode. Raznovrsnost domena u testnom skupu kao i veličina dataset-ova potvrđuju da je algoritam generalan i da se može primjenjivati u različitim poljima primjene.

Šesto poglavlje podsjeća na hipotezu rada koja je njime i potvrđena: *moгуće je konstruisati regularizatore koji tokom treninga obezbjeđuju da enkoder-dekoder model uči da razdvaja latentne reprezentacije ispravnih proizvoda od reprezenzacija proizvoda sa oštećenjem. Takvo razdvajanje će omogućiti detekciju oštećenja u latentnom prostoru primjenom jednostavnih heuristika.* Takođe se nagovještava nastavak rada na ovoj temi kroz dva pravca daljeg istraživanja: 1. primjena regularizatora na druge tipove neuronskih mreža pa čak i napuštanje potpuno konvolucionih modela zarad potencijalnog povećanja njihove izražajne moći dodavanjem gustih slojeva i 2. primjena regularizatora na rad sa neuronskim mrežama koje procesuiraju 3D oblake tačaka - ovo je moguće jer su problemi klasifikacije i segmentacije u 3D podacima definisani analogno tim konceptima kod 2D slika. Takođe, istaknut je i doprinos rada u sistemima koji koriste edge uređaje malog kapaciteta. U takvim slučajevima je proces automatske vizuelne inspekcije potrebno što više optimizovati u pogledu vremena izvršavanja i hardverskog opterećenja sistema, a u tome pomaže predloženi pristup. On omogućava binarnu klasifikaciju primjenom jednostavnih heuristika nad izlazom enkodera koji čini samo polovinu ukupnog modela. Druga polovina (dekoder) se koristi samo kod ulaza koji su klasifikovani kao defektni. Na ovaj način se ostvaruje znatna komputaciona ušteda, jer su većina proizvoda ispravni, pa će oni proći samo kroz enkoder, a ne kroz cijeli model.

Zaključak i predlog

Na osnovu prethodno napisanog Komisija smatra da je magistarski rad kandidata Nikole Pižurice napisan jasno i u skladu je sa pravilima izrade naučnog rada i kriterijumima propisanim Pravilima studiranja na master studijama. Kandidat je kroz ovaj rad realizovao sve postavljene ciljeve magistarske teze.

Cilj rada bio je riješiti problem vizuelne inspekcije u proizvodnji na način koji bi unaprijedio postojeće algoritme iz literature. To je postignuto kroz dizajniranje i evaluaciju originalnog (sfernog) regularizatora koji radi u latentnom prostoru dubokih modela enkoder-dekoder tipa. Prvo je predložena jedna enkoder-dekoder arhitektura koja je dala rezultate u nivou najboljih modela iz literature. Zatim su tri inovativna regularizatora predložena i evaluirana na toj arhitekturi. Sveobuhvatni eksperimentalni rezultati potvrđuju da jedna od tri predložene modifikacije (sferni regularizator) čuva ili unapređuje rezultate prijavljene u literaturi, a na dobro poznatim javnim skupovima podataka.

Kandidat je pokazao da odlično poznaje naučnu problematiku, kao i da posjeduje značajan nivo istraživačkih sposobnosti. Stoga, komisija pozitivno ocjenjuje magistarski rad „Razvoj regularizovanih konvolucionih enkoder-dekoder modela dubokog učenja za detekciju površinskih oštećenja proizvoda u industriji na osnovu digitalnih 2D slika“, kandidata Nikole Pižurice. Ovaj rad ima značajnu naučnu kontribuciju i publikovanje rada u jednom od međunarodnih časopisa se planira za naredni period.

Komisija predlaže Vijeću Prirodno-matematičkog fakulteta da rad pod naslovom „Razvoj regularizovanih konvolucionih enkoder-dekoder modela dubokog učenja za detekciju

površinskih oštećenja proizvoda u industriji na osnovu digitalnih 2D slika“ kandidata Nikole Pižurice prihvati kao magistarski rad i odobri njegovu javnu usmenu odbranu.

U Podgorici, ____ .godine

KOMISIJA

dr Savo Tomović, redovni profesor PMF – član;



dr Srđan Kadić, docent PMF – član;



dr Igor Jovančević, docent PMF – mentor

