

UNIVERZITET CRNE GORE
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET, PODGORICA

Vijeću Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta Crne Gore

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

Vijeće Prirodno-matematičkog fakulteta na sjednici održanoj 26. 9. 2023. godine, donijelo je Odluku o imenovanju komisije za ocjenu magistarskog rada "Optimizovani pristupi kontinuirane registracije digitalnih slika u realnim industrijskim sistemima korišćenjem tradicionalnih i tehnika dubokog učenja" (eng. „Approaches to optimized keypoint extraction in continuous registration of digital images captured in close proximity to sensors“), kandidata Nikole Milovića, u sastavu:

dr Milenko Mosurović, redovni profesor PMF – član;

dr Savo Tomović, redovni profesor PMF – član;

dr Igor Jovančević, docent PMF – mentor.

Kandidat Nikola Milović je dana 20. 3. 2024. 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 Milovića, bečelora računarskih nauka, pod nazivom „Optimizovani pristupi kontinuirane registracije digitalnih slika u realnim industrijskim sistemima korišćenjem tradicionalnih i tehnika dubokog učenja“ ukupno ima 131 stranu 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 tradicionalnih tehnika kao i tehnika dubokog učenja (*engl. deep learning*) na problem registracije slika koje dolaze sa dvije kamere (stereo sistem). Glavni tekst rada je podijeljen u šest osnovnih poglavlja: Uvod, Teorijski pregled korišćenih tehnika

kompjuterske vizije dostupnih u literaturi, Srodni radovi, Pristupi za registraciju digitalnih slika i nove ideje, Eksperimenti i rezultati, Zaključci i dalja istraživanja. Osim osnovnih poglavlja, master rad pruža i dodatak koji opisuje linearni model kamere kao i proces kalibracije kamere za izračunavanje tzv. "intrinsic" parametara.

Rad je prijatan za čitanje, a poglavlja su podijeljena u podpoglavlja tako da svako od njih čini jednu logičku cjelinu.

Problem koji kandidat rješava je softverska automatizacija procesa registracije (spajanja) para digitalnih slika. Slučaj korišćenja koji se koristi za demonstraciju razvijenih metoda je vizuelna inspekcija objekta od interesa (automobilska guma) koji je, dodatno, u pokretu. Svjetlosni uslovi nisu povoljni, a dodatni izazov predstavlja blizina susjednih kamera objektu od interesa kao i nedostatak karakterističnih tačaka na slici. Brzina izvršavanja i funkcionisanje u realnom vremenu su industrijski zahtjevi od značaja, te se rad bavi i tim aspektom.

Rad detaljno obrađuje faze predloženog metoda: detekcija i deskripcija ključnih tačaka, pronalaženje odgovarajućih parova ključnih tačaka za procjenu matrice transformacije tipa homografije, primjena transformacije na jednu od ulaznih slika, postprocesiranje za poboljšanje konačnog rezultata. Uz detaljno prezentovanje dostupnih metoda za prethodno navedene korake, predlažu se poboljšanja za neke od njih.

Dominantno se evaluiraju tradicionalni metodi za ekstrakciju i deskripciju ključnih tačaka, a potom se demonstrira i superiornost metoda dubokog učenja u rješavanju ovog problema. Nakon što je metod baziran na dubokom učenju pokazao najbolju tačnost, pristupilo se prevazilaženju jedine mane tog pristupa a to je predugo vrijeme izvršavanja. To je urađeno konverzijom modela u format tensorRT kao jednom od tehnika optimizacije. Kako bi se dokazala industrijska upotrebljivost sistema, evaluacija je vršena i na ugnježdenom uređaju tipa Nvidia Jetson Orin Nano.

U prvom poglavlju rada detaljno je definisan problem koji će biti tretiran u radu kao i motivacija za njegovo rješavanje. Potom su dati i motiv i ciljevi istraživanja, a navedene su i naučne hipoteze. Iako je predložen pristup generalan i primjenjiv u mnogim sektorima, zahvaljujući industrijskom partneru, norveškoj kompaniji Roadguard AS, automatizacija procesa vizuelne inspekcije guma na vozilima u saobraćaju čini glavni fokus kandidata u ovom radu. Hardversko-mehanički sistem je ilustrovan i istaknuta je potreba za registracijom slika sa više kamera, kako bi se objekat od interesa mogao opažati u cjelosti. Na kraju poglavlja, prema dobroj praksi, najavljena je struktura ostatka rada.

Drugo poglavlje pruža način funkcionisanja tehnika i algoritama poznatih u kompjuterskoj viziji, poput detekcije i deskripcije ključnih tačaka (detektori SIFT i BRISK), estimacije homografije između dvije slike (geometrijski aspekti i RANSAC algoritam za otklanjanje uljeza-outlier), kao i tensorRT format.

Treće poglavlje nudi sadržajan pregled radova na temu registracije slika u industrijskim sistemima za vizuelnu inspekciju. Neke od aplikacija su sistemi za: detekciju pukotina, monitoring mostova, monitoring proizvodne linije. Takođe, ovo poglavlje daje i opis dva metoda dubokog učenja za ekstrakciju ključnih tačaka na slici: D2-Net i RoRD, kao i najsavremenijeg sistema za segmentaciju SAM (Segment Anything Model) koji služi za preprocesiranje, izdvajanje regiona slike koji odgovara gumi. Ovi metodi su vrlo značajni za istraživanje ovog master rada.

Centralno poglavlje koje sadrži i originalne ideje ovog master rada je poglavlje IV. U njemu su predstavljeni glavni doprinosi a to su:

1. režim keširanja - kontinuirana registracija slika kroz estimaciju transformacije (homografije) na više parova istovremeno - pretpostavka je da su objekti od interesa istog tipa; u slučaju ovog rada, to su automobilske gume;
2. optimizacija kroz konverziju u tensorRT format koja ubrzava izvršavanje;
3. inicijalna i obećavajuća ideja za automatsko ocjenjivanje tačnosti registracije, koristeći prostornu distribuciju detektovanih ključnih tačaka na slici;
4. empirijska demonstracija superiornosti tehnika dubokog učenja za ekstrakciju i deskripciju ključnih tačaka u odnosu na tradicionalne metode, na zadatom skupu podataka.

Poglavljje V prezentuje kvantitativne rezultate, i to onim redom kojim se metod razvijao tokom šestomjesečnog rada na ovoj master tezi, zaključujući da najbolje performanse daje sistem koji se oslanja na D2-net detektor, konvertovan u tensorRT format, i koji primjenjuje režim keširanja u radu nazvan V2. Uz rezultate, predstavljen je i skup podataka koji je korišćen za evaluaciju, kao i metrike.

Posljednje, šesto poglavlje efektno sumira urađeno, i predlaže dalje pravce istraživanja. Dodatno, daju se direktne i jasne potvrde hipoteza postavljenih u Prijavi master rada.

Zaključak i predlog

Na osnovu prethodno napisanog, Komisija smatra da je magistarski rad kandidata Nikole Milovića 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 registracije slika u izazovnim uslovima industrijskih sistema kada objekat od interesa nije u potpunosti predstavljen na jednoj digitalnoj slici, zbog uskog ugla kamere (eng. field of view). To je postignuto kroz implementaciju modela dubokog učenja u procesu ekstrakcije i deskripcije ključnih tačaka, umjesto tradicionalnih metoda. Dodatno, predstavljen je originalni pristup keširanja ključnih tačaka u procesu registracije. Ovaj režim

registracije slike postiže još bolje rezultate na posmatranom skupu podataka. Predložen je i obećavajući pristup za automatsko ocjenjivanje tačnosti registracije, koristeći prostornu distribuciju detektovanih ključnih tačaka na slici, i time otvoren prostor za dalje istraživanje.

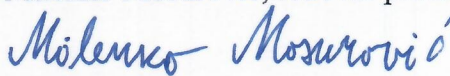
Kandidat je pokazao da odlično poznaje naučnu problematiku, kao i da posjeduje značajan nivo istraživačkih sposobnosti. Dodatno, industrijski partner je izrazio veliko zadovoljstvo postignutim rezultatima, a razmatra se i korišćenje implementiranog sistema u produkciji. Stoga, komisija pozitivno ocjenjuje magistrarski rad "Optimizovani pristupi kontinuirane registracije digitalnih slika u realnim industrijskim sistemima korišćenjem tradicionalnih i tehnika dubokog učenja" (eng. „Approaches to optimized keypoint extraction in continuous registration of digital images captured in close proximity to sensors“), kandidata Nikole Milovića.

Komisija predlaže Vijeću Prirodno-matematičkog fakulteta da rad pod naslovom "Optimizovani pristupi kontinuirane registracije digitalnih slika u realnim industrijskim sistemima korišćenjem tradicionalnih i tehnika dubokog učenja" (eng. „Approaches to optimized keypoint extraction in continuous registration of digital images captured in close proximity to sensors“), kandidata Nikole Milovića prihvati kao magistarski rad i odobri njegovu javnu usmenu odbranu.

U Podgorici, 26.3.2024. godine

KOMISIJA

dr Milenko Mosurović, redovni profesor PMF – član;



dr Savo Tomović, redovni profesor PMF – član;



dr Igor Jovančević, docent PMF – mentor

