



Univerzitet Crne Gore

Univerzitet Crne Gore
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

81000 Podgorica, Dž. Vašingtona bb, tel. (020) 245 839, fax: (020) 245 873
Ž.R. 510-255-51, PIB: 02016702 302, PDV: 30/31-03951-6



Broj: 02/1-408/1
Datum: 08.04.2022.

UNIVERZITET CRNE GORE

- Odboru za doktorske studije -

- Senatu -

O V D J E

U prilogu dostavljamo Odluku Vijeća Elektrotehničkog fakulteta sa sjednice od 06.04.2022. godine i **obrazac D1**, sa pratećom dokumentacijom, za kandidata MSc **Nikolu Bulatovića**, na dalje postupanje.



DEKAN,

Prof. dr Saša Mujović





Univerzitet Crne Gore

Univerzitet Crne Gore
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

81000 Podgorica, Dž. Vašingtona bb, tel. (020) 245 839, fax: (020) 245 873
Ž.R. 510-255-51, PIB: 02016702 302, PDV: 30/31-03951-6



Broj: 02/1-408
Datum: 06.04.2022

Na osnovu člana 64 Statuta Univerziteta Crne Gore, u vezi sa članom 35 Pravila doktorskih studija, Vijeće Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici, na sjednici od 06.04.2022. godine, donijelo je

ODLUKU

Daje se pozitivno mišljenje i prihvata Izvještaj Komisije za ocjenu prijave doktorske disertacije: „**Metode za akustičnu detekciju i procjenu brzine vozila zasnovane na mašinskom učenju**“, kandidata MSc Nikole Bulatovića.

-VIJEĆE ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA-



DEKAN,

Prof. dr Saša Mujović

Dostavljeno:

- Odboru za doktorske studije,
- Senatu,
- u dosije,
- a/a.



OCJENA PODOBNOSTI DOKTORSKE TEZE I KANDIDATA

OPŠTI PODACI O DOKTORANDU	
Titula, ime i prezime	MSc Nikola Bulatović
Fakultet	Elektrotehnički fakultet
Studijski program	Doktorske studije elektrotehnike
Broj indeksa	06/13
Podaci o magistarskom radu	Naziv MSc rada: „Razvoj skenirajućih metoda za istraživanje novih materijala i nanostrukture“ Naučna oblast: Elektronika Institucija: Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet MSc studije završene u julu 2014., sa prosječnom ocjenom 10.
NASLOV PREDLOŽENE TEME	
Na službenom jeziku	Metode za akustičnu detekciju i procjenu brzine vozila zasnovane na mašinskom učenju
Na engleskom jeziku	Methods for acoustic vehicle detection and speed estimation based on machine learning
Datum prihvatanja teme i kandidata na sjednici Vijeća organizacione jedinice	06. 04. 2022. GOD.
Naučna oblast doktorske disertacije	Mašinsko učenje Digitalna obrada signala
Za navedenu oblast matični su sljedeći fakulteti	
Elektrotehnički fakultet (Mašinsko učenje i Digitalna obrada signala)	
Prirodno-matematički fakultet (Mašinsko učenje)	
A. IZVJEŠTAJ SA JAVNE ODBRANE POLAZNIH ISTRAŽIVANJA DOKTORSKE DISERTACIJE	
<p>Javna odbrana polaznih istraživanja doktorske disertacije radnog naslova „Metode za akustičnu detekciju i procjenu brzine vozila zasnovane na mašinskom učenju“ kandidata MSc Nikole Bulatovića održana je 18. marta 2022. u Svečanoj sali Elektrotehničkog fakulteta u terminu od 9h do 10.30h, pred komisijom u sastavu:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Prof. dr Igor Đurović, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore (predsjednik Komisije) 2. Prof. dr Slobodan Đukanović, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore (mentor) 3. Prof. dr Vesna Popović-Bugarin, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore (član Komisije) <p>Komisija je imenovana Odlukom Senata Univerziteta Crne Gore broj 03-284/1 od 9. marta 2022.</p> <p>Kandidat je na adekvatan način obrazložio temu, cilj i hipoteze istraživanja. Opisao je skup podataka koji se koristi za razvoj, validaciju i testiranje modela mašinskog učenja za akustičnu detekciju i procjenu brzine vozila. Predstavio je metode i ostvarene rezultate do sada sprovedenih istraživanja. Takođe, kandidat je Komisiji predočio planove i ciljeve daljeg istraživanja.</p> <p>Nakon izlaganja prezentacije od strane kandidata, članovi Komisije su komentarisali temu i ciljeve istraživanja, kao i rezultate do sada sprovedenih istraživanja. Nakon toga, članovi</p>	

Komisije su postavljali pitanja, na koja je kandidat uspješno odgovorio. Odbrana polaznih istraživanja završena je kroz diskusiju u okviru koje su članovi Komisije ukazali kandidatu na dodatne pravce budućeg istraživanja, kao i odgovarajuće potencijalne dobiti.

B. OCJENA PODOBNOSTI TEME DOKTORSKE DISERTACIJE

B1. Obrazloženje teme

Pouzdana, konstantno i automatsko mjerenje parametara kretanja vozila u saobraćaju (detekcija vozila i procjena njegove brzine), važno je za adekvatno i pravovremeno sprovođenje saobraćajnih zakona u većini zemalja svijeta, a smatra se i važnim sredstvom za smanjenje saobraćajnih nesreća.

Procjena parametara vozila u saobraćaju najčešće se sprovodi korišćenjem specijalizovanih sistema sa kamerama. Iako ovi sistemi daju dobre rezultate, kompleksni su, skupi, zavise od brojnih faktora okolne sredine (lošije performanse u slučaju smanjene vidljivosti, odsjaja itd.), te stoga nemaju opštu upotrebu. U ovom kontekstu, zvuk predstavlja alternativu slici i pruža niz prednosti u odnosu na nju. Mikrofonu su jeftiniji, troše manje energije i zahtijevaju manji prostor za skladištenje podataka od kamera. Na njih ne utiču vizuelne prepreke i pogoršani uslovi osvjjetljenja okoline. Lakše se instaliraju i održavaju i sporije se troše tokom vremena. Takođe, mikrofoni manje utiču na ometanje vozača u saobraćaju, tj. promjenu njihovog ponašanja.

U posljednjoj deceniji došlo je do postepenog prelaska sa algoritama dizajniranih od strane stručnjaka (ekspertnih sistema) na pristupe bazirane na učenju iz podataka. Usljed složenosti zvučnog signala i raznovrsnosti njegovih frekvencijskih komponenti, pokazalo se da metode mašinskog učenja (eng. Machine Learning - ML), a posebno duboke neuralne mreže (eng. Deep Neural Networks - DNNs), nadmašuju tradicionalne pristupe digitalne obrade signala u velikom broju zadataka, uključujući audio klasifikaciju, razdvajanje izvora zvuka, poboljšanje i analizu audio sadržaja, prepoznavanje zvučnih događaja, automatsko prepoznavanje govora. Tako je i automatska procjena parametara vozila u saobraćaju, koristeći algoritme mašinskog učenja nad zvučnim signalima, dobila na popularnosti kao relativno nov istraživački pravac.

U sklopu teze, biće predloženi i implementirani algoritmi mašinskog učenja za automatsku detekciju vozila i procjenu brzine vozila u saobraćaju. Predloženi algoritmi će biti bazirani na jednokanalnim zvučnim signalima. Analiziraće se različite reprezentacije zvučnih signala - vremenske, frekvencijske i vremensko-frekvencijske. Na osnovu predloženih reprezentacija, biće implementirani algoritmi mašinskog učenja sa nadgledanjem, za detekciju vozila i procjenu njihove brzine. Posebna pažnja biće posvećena analizi performansi predloženih algoritama, sa ciljem unapređenja rezultata u odnosu na aktuelne metode mašinskog učenja u oblasti akustične detekcije vozila i procjene brzine njihovog kretanja.

Jedan od glavnih izazova u detekciji i procjeni brzine vozila, na osnovu jednokanalnih zvučnih signala, je nedostatak pouzdanih, sadržajnih i kvalitetno označenih skupova podataka za primjenu algoritama mašinskog učenja sa nadgledanjem. Stoga je jedan od ciljeva i doprinosa disertacije prikupljanje, obrada, označavanje i proširenje (augmentacija) skupa zvučnih mjerenja, koji će biti osnova za razvoj, validaciju i testiranje predloženih algoritama.

B2. Cilj i hipoteze

Ciljevi doktorske disertacije su:

- razvoj metode mašinskog učenja za preciznu detekciju vozila (procjenu trenutka prolaska vozila pored zvučnog senzora - mikrofona) na osnovu zvuka koje vozilo proizvodi,

- razvoj metoda mašinskog učenja za procjenu brzine kretanja vozila na osnovu zvuka,
- prikupljanje, označavanje i proširenje skupa zvučnih podataka nad kojima će biti primijenjene predložene metode,
- razvoj novih reprezentacija zvučnih signala, odnosno karakteristika (eng. features), na osnovu kojih će se moći izvršiti precizna detekcija i procjena brzine vozila.

Rezultati predloženih metoda će biti upoređeni sa aktuelnim metodama mašinskog učenja u ovoj oblasti i biće istaknute njihove prednosti i mane.

Hipoteze:

- Jednokanalni zvuk se može iskoristiti za preciznu detekciju vozila, tj. procjenu trenutka prolaska vozila pored zvučnog senzora.
- Jednokanalni zvuk se može iskoristiti za preciznu procjenu brzine vozila.
- Predloženi metod za procjenu brzine vozila može postići srednju grešku procjene brzine ispod 7 km/h.
- Povećanje skupa audio podataka, bilo dodavanjem novih snimaka ili modifikacijom postojećih, korišćenih za razvoj i validaciju predloženih modela mašinskog učenja, unaprijediće generalizaciju ovih modela i poboljšaće tačnost procjene brzine vozila.

B3. Metode i plan istraživanja

Istraživanje će biti podijeljeno u nekoliko faza. Prvi dio istraživanja će biti posvećen mjerenju, pripremi i označavanju novog skupa audio podataka koji će služiti kao nadogradnja postojećeg skupa, na kojem su realizovane metode u polaznim istraživanjima. Novi skup podataka će doprinijeti kvalitetnijem procesu validacije i testiranja u predloženim modelima mašinskog učenja. Analiziraće se pristupi za proširenje (augmentaciju) postojećih skupova podataka, kako bi se unaprijedila generalizacija predloženih metoda.

U narednoj fazi, fokus će biti na analizi transformacionih domena audio signala koji mogu poslužiti kao osnov za akustičnu detekciju vozila i procjenu njihove brzine. Eksperimenti u polaznim istraživanjima pokazuju da se najbolje performanse dobijaju primjenom kratkotrajnog spektra snage signala. Ova faza će se baviti i analizom drugih vremenskih i frekvencijskih transformacija audio signala koje mogu doprinijeti poboljšanju rezultata predloženih metoda.

Detekcija vozila, tj. precizna procjena trenutka prolaska vozila pored mikrofona, veoma je važan korak od kojeg značajno zavisi naredna faza procjene brzine. Procjena trenutka prolaska vozila formulisaće se kao regresioni problem. Minimum procijenjene funkcije udaljenosti (eng. Clipped Vehicle-to-Microphone Distance – CVMD) uzima se kao trenutak prolaska vozila pored mikrofona.

U istraživanju će biti predloženo više algoritama za procjenu brzine vozila. U prvom pristupu, procjena brzine vršiće se direktno iz MS, LMS i MFCC reprezentacija zvučnog signala, u okolini procijenjenog trenutka prolaska vozila. Trenutak prolaska će biti određen minimizacijom procijenjene CVMD reprezentacije signala. Rezultati ovog pristupa biće upoređeni za sve tri predložene reprezentacije (MS, LMS i MFCC).

U tezi će biti predložena nova karakteristika zvučnog signala, koja će analitički zavisiti od brzine vozila. Sa tim u vezi, implementiraće se posebne ML modele za regresiju predložene karakteristike, na osnovu LMS transformacionog domena. Biće sprovedena komparativna analiza metoda regresije sa jednom DNN, sa više DNN i pomoću metode potpornih vektora. Dobijena, procijenjena karakteristika signala, biće iskorišćena u novom algoritmu za procjenu brzine. S obzirom da signal u LMS domenu zadržava vremensku dimenziju, posebna pažnja će biti posvećena segmentu LMS reprezentacije u okolini procijenjenog trenutka prolaska vozila pored

mikrofona. Procjena brzine se može posmatrati i kao klasifikacioni problem, sa diskretizovanim opsegom brzina, od najmanje do najveće iz skupa mjerenja. Analiziraće se klasifikacija sa promjenljivim korakom diskretizacije.

Kao mjera tačnosti predloženih metoda, razmatraće se kvadratni korijen srednje kvadratne greške procijenjene brzine. Kada problem procjene brzine posmatramo kao klasifikacioni problem, tačnost klasifikacije brzine će biti prikazana kao vjerovatnoća procjene klase kojoj brzina pripada. Kako bi se obezbijedile pouzdanost i mogućnost reprodukcije dobijenih rezultata, trening ML modela regresije i klasifikacije će biti ponovljen u više iteracija, i prikazaće se usrednjeni rezultati.

Vremenski trenutak prolaska vozila pored mikrofona je ručno označen ulazni parametar algoritma. Ovaj trenutak odgovara video frejmu kad vozilo počinje da napušta kadar, što približno odgovara trenutku minimalnog rastojanja vozila i mikrofona. Preciznost izbora ovog parametra se pokazala kao veoma važna u procesu odabira skupa transformacionih koeficijenata zvučnog signala koji se koriste za regresiju/klasifikaciju brzine vozila. Eksperimenti su pokazali da maksimum profila procijenjene reprezentacije signala ne odgovara uvijek ručno označenim vrijednostima trenutka prolaska, pa će se razmatrati i modifikacija označenih vrijednosti trenutka prolaska, sa ciljem poboljšanja tačnosti procjene brzine.

U tezi će biti analiziran i uticaj šuma u audio signalima na preciznost detekcije i klasifikacije parametara vozila. Jedan od primjera koji je pokriven u polaznim istraživanjima je negativan uticaj šuma (vjetar, okolni saobraćaj, prirodni zvuci) na rezultate klasifikacije. Stoga, u istraživanju će biti predložene metode za uklanjanje šuma u transformacionom domenu signala.

Eksperimenti, u predloženom planu istraživanja, biće realizovani u Python razvojnom okruženju, sa specijalizovanim programskim paketima za obradu audio signala (Librosa) i linearnu algebru (NumPy). U cilju paralelizacije i ubrzanja treninga dubokih neuralnih mreža sa unakrsnom validacijom (eng. cross validation), koristiće se Tensorflow i Keras biblioteke u Google Colaboratory cloud razvojnom okruženju za mašinsko učenje.

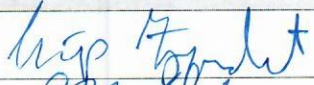

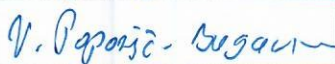

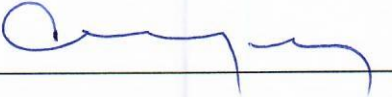
B4. Naučni doprinos

Glavni naučni doprinos ovog istraživanja su nove, originalne metode mašinskog učenja nad jednokanalnim zvučnim signalima, koje se mogu primijeniti u realnim sistemima za automatsku detekciju i procjenu brzine vozila u saobraćaju. Očekivani doprinosi predloženih metoda su precizna procjena trenutka prolaska vozila i procjena njegove brzine, sa srednjom greškom ispod 7 km/h. Bitan doprinos istraživanja će biti prikupljanje, obrada, označavanje i proširenje (augmentacija) skupa jednokanalnih zvučnih signala. Obiman, pouzdan i precizno označen skup zvučnih mjerenja će biti objavljen i javno dostupan naučnoj zajednici. Naučni doprinos teze će biti potvrđen publikovanjem radova u vodećim međunarodnim časopisima i prezentovanjem rezultata istraživanja na međunarodnim i nacionalnim konferencijama.

B5. Finansijska i organizaciona izvodljivost istraživanja

Mišljenje Komisije je da kandidat uz sopstvene napore i podršku Elektrotehničkog fakulteta može obezbijediti odgovarajuće organizacione uslove za izradu ove doktorske disertacije.

U pogledu finansijske izvodljivosti, mentor će podržati ova istraživanja iz svog naučno-istraživačkog fonda, koliko je to moguće. Elektrotehnički fakultet već duži niz godina finansijski podržava naučno-istraživačke aktivnosti svojih zaposlenih.

Mišljenje i prijedlog komisije		
<p>Komisija za ocjenu podobnosti doktorske teze i kandidata je, nakon detaljnog razmatranja prijave teme doktorske disertacije, kvaliteta odbrane polaznih istraživanja i datih odgovora na postavljena pitanja, mišljenja da su polazna istraživanja kandidata MSc Nikole Bulatovića originalan naučni poduhvat koji će dati vrijedan doprinos oblasti akustične detekcije vozila i procjene njihove brzine. Metode i ciljevi istraživanja, kao i problemi koje treba riješiti su precizno definisani. Kandidat će predložiti nove metode za akustičnu detekciju vozila i procjenu njihove brzine zasnovane na mašinskom i dubokom učenju, i time poboljšati trenutne rezultate. Predložena tema je multidisciplinarna, čime dodatno dobija na kvalitetu.</p> <p>Uzimajući u obzir sve navedeno, Komisija smatra da je tema istraživanja aktuelna i da odgovara nivou istraživanja za doktorsku disertaciju. Stoga je komisija jednoglasno donijela odluku da je kandidat uspješno odbranio polazna istraživanja, i predlaže Vijeću Elektrotehničkog fakulteta i Senatu Univerziteta Crne Gore da se odobri nastavak rada na doktorskoj disertaciji kandidata MSc Nikole Bulatovića.</p>		
Prijedlog izmjene naslova		
Prijedlog promjene mentora i/ili imenovanje drugog mentora		
Planirana odbrana doktorske disertacije		
Izdvojeno mišljenje		
Napomena		
ZAKLJUČAK		
Predložena tema po svom sadržaju odgovara nivou doktorskih studija.	DA	
Tema je originalan naučno-istraživački rad koji odgovara međunarodnim kriterijumima kvaliteta disertacije.	DA	
Kandidat može na osnovu sopstvenog akademskog kvaliteta i stečenog znanja da uz adekvatno mentorsko vođenje realizuje postavljeni cilj i dokaže hipoteze.	DA	
Komisija za ocjenu podobnosti teme i kandidata		
Prof. dr Igor Đurović, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore, Crna Gora (predsjednik Komisije)		
Prof. dr Slobodan Đukanović, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore		
Prof. dr Vesna Popović-Bugarin, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore		
DEKAN		
		
U Podgorici, 06.04.2021. god. 		

PRILOG

PITANJA KOMISIJE ZA OCJENU PODOBNOSTI DOKTORSKE TEZE I KANDIDATA	
Prof. dr Igor Đurović, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore	Objasniti metodologiju unakrsne validacije u eksperimentu.
	Kakav je uticaj broja filtera u mel banci filtera na performanse detekcije vozila i procjenu brzine? Da li više utiču filteri niskih ili visokih frekvencija?
	Koji su načini proširenja skupa zvučnih podataka i koji su očekivani rezultati tim načinima?
Prof. dr Slobodan Đukanović, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore	Komentarirati mogućnost proširivanja skupa podataka postojećom bazom za brojanje vozila, gdje brzine vozila nijesu označene.
	Kako uzeti u obzir efekat turbulencije vazduha koji stvara vozilo pri većim brzinama?
	Objasniti način odabira optimalnog vremensko-frekvencijskog prozora kod procjene brzine zasnovane isključivo na MS, LMS i MFCC koeficijentima.
Prof. dr Vesna Popović-Bugarin, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore	Koji su načini eliminisanja uticaja okolnog šuma na tačnost detekcije i procjene brzine vozila?
	Kakvu prednost pruža LMS reprezentacija u odnosu na standardni spektrogram u smislu predloženih metoda?
	Kakva je složenost treniranja predloženih modela mašinskog učenja i kakvu korist donosi paralelizacija?
PITANJA PUBLIKE DATA U PISANOJ FORMI	
ZNAČAJNI KOMENTARI	

Na osnovu člana 33 Zakona o upravnom postupku ("Službeni list CG", br. 56/14, 20/15, 40/16 i 37/17), člana 115 Zakona o visokom obrazovanju ("Službeni list CG", br. 44/14, 52/14, 47/15, 40/16, 42/17, 71/17, 55/18, 3/19, 17/19, 47/19, 72/19, 74/20 104/21) i službene evidencije, a po zahtjevu studenta Bulatović Radoje Nikola, izdaje se

UVJERENJE O POLOŽENIM ISPITIMA

Student **Bulatović Radoje Nikola**, rođen **20-12-1989** godine u mjestu **Podgorica**, opština **Podgorica**, Republika **Crna Gora**, upisan je studijske **2013/2014** godine, u **I** godinu studija, kao student koji se **samofinansira** na **doktorske akademske studije**, studijski program **ELEKTROTEHNIKA**, koji realizuje **ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET - Podgorica** Univerziteta Crne Gore u trajanju od **3 (tri)** godine sa obimom **180** ECTS kredita.

Student je položio ispite iz sljedećih predmeta:

Redni broj	Semestar	Naziv predmeta	Ocjena	Uspjeh	Broj ECTS kredita
1.	1	DIGITALNA OBRADA SIGNALA - NAPREDNI KURS	"A"	(odličan)	8.00
2.	1	DIGITALNA OBRADA SLIKE - NAPREDNI KURS	"A"	(odličan)	8.00
3.	1	EKSPERTNI SISTEMI (NAPREDNI KURS)	"A"	(odličan)	8.00
4.	1	ISTORIJA IDEJA I TEORIJA U ELEKTROTEHNICI	"A"	(odličan)	8.00
5.	1	TEORIJA SLUČAJNIH PROCESA	"A"	(odličan)	8.00

Zaključno sa rednim brojem **5**.

Ostvareni uspjeh u toku dosadašnjih studija je:

- srednja ocjena položenih ispita "A" (**10.00**)
- ukupan broj osvojenih ECTS kredita **40.00** ili **66.67%**
- indeks uspjeha **6.67**.

Uvjerjenje se izdaje na osnovu službene evidencije, a u svrhu ostvarivanja prava na: (dječji dodatak, porodičnu penziju, invalidski dodatak, zdravstvenu legitimaciju, povlašćenu vožnju za gradski saobraćaj, studentski dom, studentski kredit, stipendiju, regulisanje vojne obaveze i slično).

Broj:
Podgorica, 21.12.2021 godine



SEKRETAR,
POUČLASC
Refer. *[Signature]* službe
Slavka [Signature]