

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ
-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовао комисију: Решењем декана Факултета техничких наука проф. др Радета Дорословачког под бројем 012-199/27-2012 од дана 26.09.2019. године, у складу са Статутом Факултета техничких наука, именована је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације.</p> <p>2. Састав комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. др Владо Делић, редовни професор, ужа научна област Телекомуникације и обрада сигнала, изабран у звање 28.03.2013, Факултет техничких наука, Нови Сад. 2. др Татјана Грбић, редовни професор, ужа научна област Теоријска и примењена математика, изабрана у звање 19.02.2019, Факултет техничких наука, Нови Сад. 3. др Јелена Николић, доцент, ужа научна област Телекомуникације, изабрана у звање 08.12.2014, Електронски факултет, Ниш. 4. др Никша Јаковљевић, доцент, ужа научна област Телекомуникације и обрада сигнала, изабран у звање 11.10.2014, Факултет техничких наука, Нови Сад. 5. др Бранислав Поповић, научни сарадник, ужа научна област Телекомуникације и обрада сигнала, изабран у звање 26.03.2015, Факултет техничких наука, Нови Сад.
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<ol style="list-style-type: none"> 1. Име, име једног родитеља, презиме: Едвин, Тибор, Пакоци 2. Датум рођења, општина, држава: 14.05.1988, Зрењанин, Србија 3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив: Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Енергетика, електроника и телекомуникације, Мастер инжењер електротехнике и рачунарства 4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2012, Енергетика, електроника и телекомуникације 5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: / 6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: /
III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Утицај морфолошких обележја на моделовање језика применом неуронских мрежа у системима за препознавање говора
IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.
<p>У докторској дисертацији под називом „Утицај морфолошких обележја на моделовање језика применом неуронских мрежа у системима за препознавање говора“ кандидата Едвина Пакоција описана је примена додатних морфолошких обележја у обуци модела српског језика у контексту аутоматског препознавања говора, као и утицај који су ова обележја имала на стопу препознавања речи у експерименталном окружењу.</p> <p>Дисертација је написана на 133 странице (са пратећом документацијом дисертација садржи укупно</p>

151 страницу). Садржај је подељен у 7 поглавља, уз 5 прилога. Дисертација садржи 16 слика, 26 табела и 107 научних референци. На почетку тезе дати су: наслов, кључна документацијска информација на српском и на енглеском језику, сажетак на српском и на енглеском језику, захвалница, садржај рада, попис слика, попис табела и списак скраћеница.

Дисертација обухвата следећих 7 поглавља:

1. Увод у проблематику препознавања говора
2. Моделовање језика
3. Доступни ресурси за обуку српских система за аутоматско препознавање говора
4. Досадашња остварења у развоју српских модела језика
5. Морфолошки модели српског језика
6. Експериментални резултати и дискусија
7. Закључак

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У **уводном поглављу** дефинисан је предмет истраживања. Укратко је описан проблем аутоматског препознавања говора и наведене су кључне дефиниције и формуле. Описана је функција две основне компоненте система за аутоматско препознавање говора – акустичког и језичког модела. Наведено је шта представља обука сваког од ових модела и који предуслови морају бити испуњени. Приказани су начини евалуације обученог система. Дефинисан је предмет истраживања дисертације, описана је мотивација и наведене су хипотезе. Коначно, укратко је наведен садржај дисертације, односно садржај наредних поглавља.

Комисија сматра да су предмет и циљеви истраживања дефинисани јасно и концизно.

У **другом поглављу** приказан је историјат развоја језичких модела, описане су њихове варијанте и актуелно стање у области. Пре свега, наведене су мере којима се могу евалуирати модели језика, након чега следи детаљан опис главних варијанти језичких модела – регуларних граматика, статистичких n -грам модела и модела базираних на неуронским мрежама. Дат је преглед различитих типова неуронских мрежа које се користе у моделовању језика, као и алгоритма за њихову обуку. Описано је стање у области у свету и приказана су актуелна истраживања на ову тему – сложеније врсте неуронских мрежа, начини комбиновања више модела језика, као и поређење различитих модела базираних на неуронским мрежама и n -грамима. На крају су детаљније описани морфолошки модели језика, који су главна тема дисертације.

Комисија сматра да садржај овог поглавља омогућава разумевање теоријских основа истраживања. Описан је историјат моделовања језика, уз навођење предности и недостатака сваког од приступа. Описани алгоритми дају детаљан увид у функционисање модела заснованих на неуронским мрежама. Актуелна истраживања приказана на крају поглавља дају увид у релевантне теме у савременом моделовању језика. Детаљи о морфолошким моделима језика представљени у дисертацији корисни су за разумевање проблема које би такви модели могли да реше, преваходно за групу високо инфлективних језика, у коју спада и српски језик. Литература коришћена у овом поглављу је актуелна и релевантна.

У **трећем поглављу** дат је преглед постојећих ресурса за обуку система за аутоматско препознавање говора за српски језик. Детаљно су представљени аудио ресурси – скупови аудио датотека и пратећих транскрипција за обуку акустичког модела, како на српском, тако и на хрватском језику, који се могу користити комбиновано за ову намену. Описана је и процедура вештачког проширивања аудио база формирањем и додавањем зашумљених аудио датотека. Коначно, описани су доступни текстуални ресурси за обуку модела језика и приказане карактеристике појединих делова текста према преовлађујућем функционалном стилу.

Комисија сматра да су доступни ресурси за обуку акустичког и језичког модела добро описани. Садржај овог поглавља је неопходан да би било јасно на основу чега се актуелни системи за аутоматско препознавање говора за српски језик могу обучити.

У **четвртном поглављу** представљени су досадашњи резултати у примени језичких модела за српски језик на доступним тест базама. На почетку поглавља изложени су најбитнији алати за обуку акустичких и језичких модела који су коришћени за добијање резултата приказаних касније у овом, као и у наредним поглављима. На основу остварене стопе грешке у препознавању речи и перплексивности на датом валидационом скупу, резултати појединих језичких модела међусобно су упоређени. Наведени су најбољи досадашњи резултати са триграм моделима, као и најбољи

резултати добијени помоћу неколико варијанти модела базираних на рекурентним неуронским мрежама.

Комисија сматра да су изложени експерименти представљени на јасан и адекватан начин. Експерименти су спроведени коректно, а резултати интерпретирани објективно. На основу текста у овом поглављу може се јасно испратити ток развоја српских језичких модела претходних година. Добијени резултати служе као основа за поређење са резултатима до којих ће се доћи у наредним поглављима.

У **петом поглављу** представљен је нови метод обуке језичких модела за српски језик. Описан је нови алат који омогућава обуку модела језика на бази неуронских мрежа. Овај алат омогућава убацивање додатних лексичких обележја у модел поред самог идентитета речи. Детаљно је објашњено представљање речи векторима чији су елементи реални бројеви. Приказана је измењена функција циља (у односу на стандардну обуку рекурентних неуронских мрежа). Додатно су описани методи за стабилизацију и убрзање обуке, специфични за коришћен алат. Представљене су и морфолошке категорије речи у српском језику, као и методи којима се оне могу добити на основу задатог текста. Коначно, предложене су нове технике за убацивање добијених морфолошких информација у модел језика, у контексту коришћеног алата. Три предложена метода су детаљно описана, као и очекиване могућности сваког од њих.

Комисија сматра да је предложени приступ за убацивање додатних лексичких и морфолошких информација у језички модел описан на јасан и адекватан начин. Опис коришћених алата и њихових специфичности је кључан за разумевање предложених метода. Мотивација за коришћење нових метода је такође јасно изнета.

У **шестом поглављу** представљени су резултати експеримената. Описан је метод обуке акустичког модела, који је фиксан за све експерименте. Детаљно су представљени резултати са триграм моделима језика, као и са рекурентним неуронским мрежама, уз коришћење новог алата за њихову обуку. Увек је прво дат референтни резултат – без убацивања морфолошких информација у модел, а након тога нови резултат – са коришћењем додатних морфолошких обележја. Упореди су нови и референтни резултати, као и резултати рекурентних неуронских мрежа и триграм резултати. Детаљно је описан утицај додавања морфолошких обележја, како за четири основне морфолошке категорије (врста речи, падеж, граматички број, граматички род), тако и за све могуће. Додатно је испитана скалабилност предложеног система значајним повећавањем речника. Испитане су и перформансе у случају да у тест скупу постоје речи којих нема у речнику система. Резултати изражени преко стопе грешке препознавања речи јасно показују да се приликом новог система заснованог на рекурентним неуронским мрежама остварује велики напредак у односу на триграм системе, као и све претходне системе који су користили неуронске мреже. Убацивање морфолошких обележја у модел језика додатно је допринело смањењу стопе грешке, као и елиминацији појединих карактеристичних грешака за инфлективне језике (на пример, грешака у падежу, роду или броју). Такође, систем се показао као веома скалабилан, а перформансе су му добре чак и када мали проценат речи из тест скупа не постоји у речнику система.

Комисија сматра да су дати експерименти спроведени коректно, а резултати интерпретирани објективно. Закључено је да предложени приступ са рекурентним неуронским мрежама има значајну предност у односу на триграм приступе, као и све раније приступе на бази неуронских мрежа. Јасно су представљена побољшања која су резултат убацивања морфолошких обележја у модел језика. Нови систем се показао као веома скалабилан и са добрим перформансама чак и у случају када при тестирању постоји мали проценат непознатих речи. Предложени приступи успешно су примењени у аутоматском препознавању говора на великим речницима.

У **седмом поглављу** сумирана су представљена истраживања и остварени резултати. Наведени су правци даљег истраживања у циљу додатног побољшања резултата тестирања и перформанси система за аутоматско препознавање говора у практичној примени.

Комисија сматра да су закључци донети на основу изложених резултата и да потврђују значај предложених приступа у моделовању језика. Предложени наредни кораци у истраживању су логични и мотивисани закључцима до којих се дошло током досадашњег истраживања.

Литература садржи 107 прегледно систематизованих библиографских навода.

Комисија сматра да је литература адекватно одабрана, правилно коришћена и да одговара теми дисертације. Сваки навод је референциран барем једанпут у тексту дисертације.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. **Е. Пакоси**, В. Поповић, Д. Пекар, "Using Morphological Data in Language Modeling for Serbian Large Vocabulary Speech Recognition", *Computational Intelligence and Neuroscience, Advanced Signal Processing and Adaptive Learning Methods*, vol. 2019, 2019, 8 pages
2. S. Ostrogonac, **Е. Пакоси**, М. Сеџујски, Д. Мишковић, "Morphology-based vs Unsupervised Word Clustering for Training Language Models for Serbian", *Acta Polytechnica Hungarica, Journal of Applied Sciences*, vol. 16, no. 2, 2019, pp. 183-197

Рад у часопису националног значаја (M52)

1. **Е. Пакоси**, В. Поповић, Д. Пекар, "Improvements in Serbian Speech Recognition Using Sequence-Trained Deep Neural Networks", *SPIIRAS Proceedings*, vol. 3, no. 58, 2018, pp. 53-76

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. В. Поповић, **Е. Пакоси**, Д. Пекар, "A Comparison of Language Model Training Techniques in a Continuous Speech Recognition System for Serbian", *20th International Conference on Speech and Computer SPECOM 2018*, Leipzig, Germany, Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol. 11096, 2018, pp. 522-531
2. **Е. Пакоси**, В. Поповић, Д. Пекар, "Language Model Optimization for a Deep Neural Network Based Speech Recognition System for Serbian", *19th International Conference on Speech and Computer SPECOM 2017*, Hatfield, UK, Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol. 10458, 2017, pp. 483-492

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63)

1. **Е. Пакоси**, В. Поповић, Д. Пекар, "Fast Sequence-Trained Deep Neural Network Models for Serbian Speech Recognition", *11th Conference on Digital Speech and Image Processing DOGS 2017*, Novi Sad, Serbia, 2017, pp. 25-28

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У дисертацији су приказани нови методи формирања модела језика на бази рекурентних неуронских мрежа, уз коришћење савремених алата, са нагласком на српски језик и његове специфичности. Показано је да нови језички модел, код кога се речи из речника система за аутоматско препознавање говора представљају векторима чији су елементи реални бројеви, а који осим идентитета речи садрже и додатне лексичке информације – релативну учестаност речи у корпусу за обуку, дужину речи и скуп њених словних n -грама са бројем појава, већ у својој основној варијанти постиже знатно боље резултате на тренутно најопсежнијем тест скупу за српски језик, како у односу на триграм моделе језика, тако и у односу на све досадашње моделе базиране на неуронским мрежама.

Поред основне варијанте новог модела језика, предложено је неколико метода за убацивање додатних морфолошких информација директно у модел језика, то јест у векторску репрезентацију речи – убацивање вектора најчешћих лема, убацивање скупа словних триграма на морфолошким суфиксима речи (који су добијени морфолошким таговањем корпуса за обуку) и убацивање скупа *one-hot* вектора за поједине морфолошке категорије (које се могу узети за дату реч). Показано је да се додавањем ових морфолошких обележја могу даље побољшати референтни резултати остварени без њихове примене. Најбољи резултат је постигнут уз примену сва три метода

истовремено. Коришћење оваквих модификованих језичких модела довело је до смањеног броја појављивања карактеристичних грешака за инфлективне језике (погрешни завршеци речи). Показано је и да елиминација из разматрања свих морфолошких категорија осим четири основне (врста речи, падеж, граматички број и граматички род) не деградира значајно остварени резултат.

Додатни тестови су показали да је описани систем веома скалабилан, као и да остварује добре резултате чак и у случају када тест скуп садржи мали проценат речи ван речника система. Скалабилност је тестирана проширивањем речника тако да уместо референтних 250 хиљада речи садржи преко 460 хиљада, док је понашање у случају постојања речи изван речника система тестирано избацавањем из речника претходно неவிђених речи из тест скупа. Таквим експериментом је симулирана практична употреба система у реалном окружењу у ком није унапред познат комплетан скуп речи за препознавање.

Експерименти су потврдили основну хипотезу ове дисертације – да убацивање додатних лексичких и морфолошких обележја у језички модел може значајно допринети побољшању перформанси препознавача говора који тај модел користи. Постигнути резултати показују да описана истраживања могу имати широку примену у области аутоматског препознавања говора на великим речницима за инфлективне језике као што је српски језик, поготово у системима са мање ограниченим граматикама (са мањим ограничењима у погледу дозвољених секвенци речи).

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

На основу детаљног увида у садржај докторске дисертације, комисија сматра да је кандидат јасно и прегледно приказао резултате истраживања. Сви добијени резултати представљени су помоћу одговарајућих табела и слика. Интерпретација резултата је објективна и коректна.

Дисертација је проверена у софтверу за детекцију плагијаризма **iThenticate**. Извештај о подударности је показао да је дисертација оригинално ауторско дело кандидата (Similarity Index 1%).

У складу са наведеним, Комисија **ПОЗИТИВНО** оцењује начин на који су резултати приказани и тумачени.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и конкретне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме

***ДА**, дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.*

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

***ДА**, дисертација садржи све битне елементе који се захтевају по Статуту Факултета техничких наука и Универзитета у Новом Саду, као и Закона о високом образовању.*

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

У дисертацији је описана конструкција новог језичког модела за српски језик на бази рекурентних неуронских мрежа, првог у ком се речи представљају у векторској репрезентацији са реалним вредностима елемената, и у ком се уз идентитет речи оне описују и додатним обележјима, лексичким или морфолошким. Експериментално је показано да предложени модел има знатно боље перформансе у односу на све раније обучаване моделе језика.

<p><i>Предложена су три потпуно нова метода за инкорпорирање морфолошких информација у модел језика: преко вектора најчешћих лема, преко словних триграма на морфолошким суфиксима речи из тагованог речника, и преко морфолошких one-hot вектора за појединачне морфолошке категорије. Експерименти су показали да сваки од ових метода може додатно да побољша перформансе система за аутоматско препознавање говора у оквиру ког се користи дати модел језика (у односу на референтни модел у ком нису коришћена морфолошка обележја), као и да коришћење сва три метода заједно даје најбоље резултате.</i></p> <p><i>Коначно, експерименти су показали и да четири основне морфолошке категорије (врста речи, падеж, граматички број и граматички род) носе највећи део корисних морфолошких информација, док остале категорије незнатно утичу на даље побољшање перформанси.</i></p>
<p>4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања</p> <p><i>У дисертацији нису уочени недостаци који би утицали на резултате истраживања.</i></p>
<p>X ПРЕДЛОГ:</p> <p>На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:</p>
<p>да се докторска дисертација кандидата Едвина Пакоција под насловом „Утицај морфолошких обележја на моделовање језика применом неуронских мрежа у системима за препознавање говора” прихвати, а кандидату одобри одбрана докторске дисертације.</p>

У Новом Саду, 30.09.2019.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

др Владо Делић, редовни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад, председник комисије.

др Татјана Грбић, редовни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан комисије.

др Јелена Николић, доцент,
Електронски факултет, Ниш, члан комисије.

др Никша Јаковљевић, доцент,
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан комисије.

др Бранислав Поповић, научни сарадник,
Факултет техничких наука, Нови Сад, ментор.