

Факултет техничких наука

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

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовано комисију 29.12.2017. Декан ФТН, решењем бр. 012-199/11-2017</p> <p>2. Састав комисије са назнаком 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> <p>1) др Владо Делић, редовни професор, Телекомуникације и обрада сигнала, 28.03.2013, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, председник;</p> <p>2) др Жељен Трповски, ванредни професор, Телекомуникације и обрада сигнала, 11.06.2014, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, члан;</p> <p>3) др Милан Сечујски, ванредни професор, Телекомуникације и обрада сигнала, 11.03.2016, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, члан;</p> <p>4) др Јелена Николић, доцент, Телекомуникације, 08.12.2014, Електронски факултет, Универзитет у Нишу, члан;</p> <p>5) др Татјана Лончар-Турукало, ванредни професор, Телекомуникације и обрада сигнала, 26.04. 2017, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, ментор</p>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Владимир Јован Тадић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 10.01.1980, Нови Сад, Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив</p> <p>Факултет техничких наука, Енергетика, електроника и телекомуникације Дипломирани инжењер електротехнике и рачунарства, 26.05.2004.</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2016., Енергетика, електроника и телекомуникације, Факултет техничких наука</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:</p> <p>Факултет техничких наука, „Детекција и читавање регистарских таблица с посебним освртом на слике снимљене класичним дигиталним фотоапаратом”, Електротехника и рачунарство, Телекомуникације и обрада сигнала, 28.04.2009.</p> <p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:</p> <p>Електротехника и рачунарство/ Телекомуникације и обрада сигнала/ Дигитална обрада слике</p>

III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Фазификација Габоровог филтра и њена примена у детекцији регистарских таблица

Наслов на енглеском језику:

Gabor filter fuzzification and its application for licence plate detection

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Реализација техничких система за аутоматско читавање регистарских таблица спада у једну од типичних примена препознавања објеката, подобласти компјутерске визије. Системи за препознавање регистарске ознаке обично подразумевају аквизицију слике, алгоритам за сегментацију таблице, детекцију и препознавање карактера. Ова теза бави се првим делом проблема аутоматске детекције регистарских таблица: проблемом поуздане сегментације регистарске таблице са слика добијених комерцијалним фотоапаратима при различитим условима снимања, у присуству шума и/или деградације. На 121 страни, у оквиру 6 поглавља, са 77 слика и 2 табеле приказује се проблем, изазови у његовом решавању, теоријске основе предложеног алгоритма и његова евалуација. Рад се ослања на 77 референци.

Проблем детекције регистарске таблице на слици возила, који се у дисертацији разматра, најчешћи је узрок неуспешног аутоматског читавања регистарских таблица. Након сегментације регистарске таблице, препознавање карактера са регистарске таблице је проблем који се успешно решава поузданим алгоритмима сегментације и препознавања карактера, стога није разматран у оквиру тезе.

Предложени алгоритам за детекцију и издвајање регистарских таблица заснива се на фазификованом дводимензионалном Габоровом филтру. Проблематици Габоровог филтрирања приступило се коришћењем фази логике као математичког апарата. У циљу побољшања одзива самога филтра, применом Белове и троугаоне функције припадања фазификоване су оријентација и таласна дужина Габоровог филтра.

Приликом евалуације алгоритма коришћене су слике снимљене комерцијалним дигиталним фотоапаратима. Насупрот томе, у већини радова који се баве аутоматским препознавањем регистарских таблица користе се слике добијене апаратима специјално дизајнираним у ову сврху, који укључују и софтверску подршку за предобраду слике. Циљ ове дисертације јесте развој робузног алгоритма који би успешно обрађивао и слике значајно лошијег квалитета, начињене комерцијалним апаратима, уз шум својствен овом начину аквизиције слике.

Главни ток излагања у оквиру дисертације одређен је следећим целинама:

1. Увод (садржи мотивацију, опис проблема, циљеве истраживања и преглед релевантне литературе из области сегментације објекта, са посебним освртом на сегментацију регистарске таблице);
2. Основни теоријски концепти (садржи теоријске основе следећих тема: репрезентације слике, сегментације слике, морфолошких операција над сликом и Габоровог филтра);
3. Фази логика – теоријске основе (садржи основне концепте фази теорије неопходне за разумевање предложеног алгоритма);
4. Фазификација Габоровог филтра и поступак детекције регистарских таблица (садржи опис предложеног поступка укључујући фазификацију Габоровог филтра и опис алгоритма за детекцију таблице из сложене слике);
5. Евалуација предложеног алгоритма (садржи резултате добијене експерименталном евалуацијом алгоритма над базом коју је креирао кандидат, разматра предности и изазове у детекцији, евалуира перформансе над екстерним базама и пореди перформансе предложеног поступка са друга два алгоритма);
6. Закључак;
7. Списак коришћене литературе.

Дисертација садржи и преглед слика и табела; списак скраћеница; кључну документацијску информацију, садржај и резиме на српском и енглеском језику. Оригинални допринос кандидата изложен је у оквиру поглавља 4, док је алгоритам евалуиран и резултати дискутовани у поглављу 5. Библиографски подаци имају исту нумерацију као и текст тезе, дати су као седмо поглавље.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Наслов дисертације јасно указује на тему која се обрађује, основну намену и кључну

методолошку компоненту предложеног поступка. Тема обрађује проблем сегментације регистарске таблице, који је и даље отворен и представља основни разлог неуспешног аутоматског читавања регистарских таблица.

Уводно поглавље садржи увод у проблематику која се анализира у оквиру дисертације. Описује се технички систем за аутоматско читавање таблица и за сваки релевантан сегмент се анализирају изазови и отворени проблеми. Сегментација регистарске таблице на слици возила је и даље веома актуелан истраживачки проблем, с обзиром да у великој мери позитиван исход зависи од услова снимања и садржаја слике. У строго контролисаним условима и са специјално дизајнираном опремом, као у применама у надзорно-безбедносним системима, алгоритми показују боље перформансе. У реалним ситуацијама, које су од све већег интереса у безбедносне сврхе, циљ је детекција регистарских таблица са фотографија или видео снимака сниманих комерцијалним апаратима. Циљ дисертације јесте управо развој робустног алгоритма, мање осетљивог на присуство шума и деградације у слици, за примену над сликама сниманим комерцијалним апаратима.

Уводно поглавље даје приказ литературе у области, која је због обима сведена на најзначајније референце, као и оне поступке који се у извесној мери ослањају на Габоров филтар који се користи у предложеном решењу. На овај начин кандидат је додатно пружио увид у сродна решења, чиме се јасније уочавају новине које уноси предложени поступак. Поред тога, у складу са савременим трендовима у сегментацији слике, у приказу стања у области дат је и осврт на перформансе дубоких неуралних мрежа при сегментацији регистарских таблица.

У наставку уводних разматрања, кандидат јасно одваја циљ и допринос рада. Кроз блок шему предложеног поступка пролази кроз све релевантне сегменте и даје основне теоријске концепте на које се дати сегменти ослањају. Овим приступом се олакшава увид у допринос кандидата датој истраживачкој теми, као и у специфичности обрада које се предлажу.

У завршном делу уводног поглавља даје се преглед тезе. Структура тезе конципирана је тако да омогући јасно праћење главног тока тезе, јер су сви сродни теоријски концепти груписани и уведени пре описа њихове примене у предложеном алгоритму.

Друго поглавље даје теоријски осврт на неке основне концепте у дигиталној обради слике неопходне за разумевање специфичности приказа и записа дводимензионалних сигнала, као што су репрезентација и дигитализација слике. Кандидат потом прелази на разматрање централне теме рада, сегментације слике. Сегментација слике представља отворену, захтевну истраживачку област. У овом поглављу пружа се увид у основне технике сегментације, идеје и поступке који су заједнички за бројне напредне приступе сегментацији слике. Као додатак на ове основне технике, друго поглавље садржи и преглед напредних техника сегментације праћених листом публикација у библиографији. Преглед почиње непараметарским техникама, као што је *mean-shift* алгоритам, наставља се прегледом параметарских техника активних модела облика и појаве на слици, као и активних контура (змије). Наведени су и приступи који се ослањају на атласе, посебно распрострањени у медицинским применама. Напослетку, разматрају се алгоритми засновани на конволуционим неуралним мрежама, као актуелно решење за проблем сегментације у случајевима када је доступна већа количина обележених узорака. Морфолошка обрада слике и основне коришћене морфолошке операције дефинисане су у оквиру овог поглавља и на једноставним примерима приказан је њихов ефекат на бинарној слици. Друго поглавље завршава описом Габоровог филтра, свих релевантних параметара и њиховог утицаја на одзив филтра. Примена Габоровог филтра представља ефикасан начин за издвајање просторно локализованих спектралних особина слике. Просторне фреквенције и њихова оријентација веома су важне особине текстура у слици, корисне за сегментацију слике и детекцију локализованих текстура у слици. Завршно потпоглавље даје преглед примена Габоровог филтра у сегментацији слике.

Треће поглавље приказује основе фази теорије као математички формализованог начина представљања и моделовања неодређености. Фази логика се користи у случајевима који су окарактерисани непостојањем математичког модела или постојањем модела који је исувише компликован за рад у реалном времену. Тако је фази логика нашла примену у бројним областима као што су: теорија управљања, препознавање облика, квантитативна анализа, експертски системи за дијагностику, планирање и предикцију, информациони системи, дигитална обрада слике, итд. Треће поглавље уводи и дефинише основне појмове у фази теорији и кроз низ примера наводи разлике класичног и фази приступа. Уведене су и илустроване разне функције припадања, као што су: Гаусова, Белова, троугаона, трапезна, сигмоидна и Z-функција. Примена дефинисаних концепата и фази правила у пројектовању фази система представљена је у завршном сегменту трећег поглавља. Процес пројектовања фази система описан је кроз пет основних корака: фазификација улазних параметара, примена потребних операција фази логике

- фази закључивање, примена метода импликације, примена агрегације на добијене фази скупове и дефазификација финалног фази скупа. Процес пројектовања илустрован је блок шемом која олакшава праћење излагања.

Четврто поглавље приказује оригинални допринос кандидата постепено излажући све кораке предложеног алгоритма. Најзначајнији елемент у поступку за сегментацију таблица јесте фазификовани Габоров филтар. У предложеном алгоритму нису сви параметри фазификовани јер фазификација неких параметара Габоровог филтра нема значајнијег утицаја на резултат филтрирања и на крајњи резултат детекције таблица. Поред тога, претерана фазификација може довести до значајног увећања комплексности, времена неопходног за обраду и употребе меморије. Будући да се за фазификован параметар, одређена вредност фази функције рачуна за сваки пиксел посебно, кандидат се у предложеном поступку ограничава на два параметра: оријентацију и таласну дужину. Избор управо ова два параметра резултат је опсежних тестирања и анализа утицаја параметара на одзив филтра за ову конкретну примену. Дат је опис пројектовања одговарајућих фази система за фазификацију оријентације и таласне дужине: дефинисане су улазне и излазне функције припадања, логичко правило и функција импликације. Добијени фази системи примењују се потом у алгоритму филтрирања. Фази системима реализује се низ Габорових филтара, односно филтар банка, која врши филтрирање у складу са особинама добијеног фази система и чији збирни одзив ће произвести резултат филтрирања. Преостали део овог поглавља излаже поступак обраде слике почев од аквизиције слике, конверзије у монохроматску слику, примене Габоровог филтра, до примене Собеловог оператора и морфолошких операција које заокружују процес сегментације регистарских таблица. Целокупан поступак изложен је блок дијаграм на коју се референцира текст како би се олакшало праћење алгоритма. Илустрација корака алгоритма постиже се и приказом једне тест слике у разним фазама алгоритма, чиме се указује на допринос сваког корака финалном резултату као и специфичне поставке у овим корацима које одговарају конкретној проблематици.

Пето поглавље садржи резултате добијене експерименталном евалуацијом алгоритма на бази од 718 слика, коју је формирао кандидат комерцијалним апаратима скромнијих могућности (*Canon PowerShot A530* резолуције 5 Мр и *Nikon Coolpix L18* резолуције 8 Мр). Процент детекције на овом тест скупу је 98%. Овако висока тачност очекује се и приликом примене алгоритма, уколико су испуњене основне претпоставке при снимању слике. Одступање од предвиђених услова може довести до деградације перформанси, те стога кандидат детаљно анализира утицај различитих услова снимања на перформансе алгоритма. Испитује се утицај шума, деградације (која обично уноси замућење у слику као нискофреквенцијски филтар), утицај неуниформног осветљаја, снимање под вештачким осветљењем ноћу, детекција у присуству објеката сличних димензија и детекција у случају оштећења таблице. Пореде се и перформансе алгоритма над сликама снимљеним комерцијалним апаратом и апаратом специјално дизајнираним за ове сврхе. Приказани су и експериментални резултати евалуације осетљивости алгоритма на угао снимања, позицију таблице на слици и 3Д ротацију. Спроведени су експерименти на више база слика које садрже фотографије возила у којима се регистарска таблица појављује у различитим окружењима и под разним условима.

Да би се истакла предност поступка фазификације параметара филтра, пореде се резултати предложеног алгоритма и алгоритма који користи Габорову филтар банку са фиксним параметрима, као и са алгоритмом који се ослања на нова геометријска обележја ивица, али не користи Габоров филтар. Показало се да је проценат детекције предложеног поступка бољи и да у применама где су неки параметри непрецизно или нетачно постављени (као што је улазна слика код детекције регистарских таблица, где су услови снимања унапред непознати), примена фази система је добро решење.

Закључци и преглед теме и доприноса дати су у оквиру **шестог поглавља** са напоменама везаним за текуће и будуће правце истраживања.

Литературни наводи су свеобухватни, корисни, и као такви прикладно изабрани.

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.

- 1) M21 - **Vladimir Tadić**, Miodrag Popović, Peter Odry, “*Fuzzified Gabor filter for license plate detection*”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 48, 2016, 40-58, Elsevier [IF 2.604]
- 2) M33 - **Vladimir Tadić**, Željien Trpovski, Peter Odry, “*License Plate Detection using Gabor Filter Banks and Texture Analysis*”, Proc. 9th IEEE International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, Subotica, pp. 381-386, 2011.
- 3) M63 - **Vladimir Tadić**, Željien Trpovski, Peter Odry, “*Detekcija i prepoznavanje registarskih tablica*“, Proceedings of DOGS 2008, Kelebija

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Дисертација се бави проблемом детекције и издвајања регистарских таблица из слика снимљених класичним дигиталним фотоапаратом. Главни део алгоритма јесте фазификовани Габоров филтар, који се користи за детекцију компоненти таблице и њене околине у слици возила. Фазификација Габоровог филтра рађена је за два параметра од интереса: оријентацију и таласну дужину. Приликом примене алгоритма уочено је да су главни изазови при издвајању таблице поред лоших услова снимања, пре свега угао снимања и присуство елемената сличних димензија као таблица. Међу лоше услове снимања спадају превелико одступање угла снимања од номиналног и премала или превелика удаљеност приликом снимања. Осветљај приликом снимања, недовољан или претеран, може такође значајно утицати на перформансе алгоритма. Показало се да алгоритам превазилази неке неповољне услове снимања под условом да су релевантни параметри у прихватљивим границама. Фази Габоров филтар, као основни елемент предложеног поступка, веома добро детектује компоненте од интереса у слици комплексне садржине, са минималним одступањима. Фази логика на флексибилан начин врши прилагођење параметара филтра самом проблему, чиме се надмашују перформансе филтар банке са фиксним параметрима.

Развијени поступак уз мање измене може се применити и у другим апликацијама које укључују детекцију, издвајање и препознавање објеката из сложених слика.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

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

Докторском дисертацијом су на коректан и прегледан начин приказани оригинални резултати истраживања проблема сегментације објеката на слици на конкретном примеру детекције регистарских таблица са слике возила. Излагање омогућује јасан увид у суштину дефинисаног предмета истраживања. Теоријске основе неопходне за разумевање и праћење текста и резултата су систематично изложене, покривајући и базичне алгоритме и напредне технике у отвореној области сегментације слике. Резултати истраживања изложени су на прегледан, конзистентан начин, илустровани сликама које представљају међурезултате алгоритма, што олакшава праћење поступка и наглашава значај сваког корака обраде. Указано је на актуелне приступе решавању овог проблема, а са неким је извршено и поређење предложеног алгоритма. Детаљна евалуација алгоритма обављена је непристрасно и указује не само на предности, већ и на главне изазове у примени алгоритма. Тумачење резултата је недвосмислено, прегледно и јасно. Назначени су правци даљег истраживања усмерени углавном на превазилажење проблема које уносе лоши услови снимања. Перформансе алгоритма на сликама начињеним класичним комерцијалним фотоапаратима доприносе не само економски повољнијој реализацији система за надзор, већ и омогућују успешнију детекцију таблица у безбедносне сврхе са видео снимака скромнијих квалитета.

Комисија **позитивно оцењује** начин приказа и тумачења резултата истраживања.

Напомена: Докторска дисертација је проверена софтвером за детекцију плагијаризма *iThenticate* и утврђена је подударност од свега 9% са 32 извора.

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 концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме
Комисија сматра да је дисертација у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе
Комисија сматра да дисертација садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци
Допринос дисертације науци састоји се у реализацији робустног алгоритма за детекцију и издвајање регистарских таблица, који је способан да успешно детектује и издвоји таблицу у случају улазних слика које су лошег квалитета и/или снимане камерама скромних перформанси. Дисертација доноси побољшање коришћених метода уз решење прикладно за имплементацију у реалном времену. Алгоритам је са минималним изменама применљив и за сегментацију других објеката, односно, за сличне проблеме у компјутерској визији.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања
Комисија сматра да дисертација нема недостатака, према томе нема ни утицаја истих на резултате истраживања.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

На основу претходно изнетих чињеница, Комисија предлаже да се докторска дисертација под називом „Фазификација Габоровог филтра и њена примена у детекцији регистарских таблица“ прихвати, а кандидату **Владимиру Тадићу** одобри одбрана.

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

Др Владо Делић, редовни професор, председник
Факултет техничких наука, УНС

Др Жељен Трповски, ванредни професор, члан
Факултет техничких наука, УНС

Др Милан Сечујски, ванредни професор, члан
Факултет техничких наука, УНС

Др Јелена Николић, доцент, члан
Електронски факултет, Ниш

Др Татјана Лончар-Турукало, ванредни професор, ментор
Факултет техничких наука, УНС

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.