

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Александре Павловић

Одлуком бр. 5006/10-3 од 22.03.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Александре Павловић под насловом:

„Детекција намерно изазваних промена у садржају слике“

“Detection of intentionally made changes in image content“

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала, као и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Александра Павловић је 22.06.2017. године поднела Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду образложење теме докторске дисертације под називом:

Детекција намерно изазваних промена у садржају слике

На основу члана 30. Закона о високом образовању, Статута Електротехничког факултета Универзитета у Београду и Правилника о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду, Наставно-научно веће донело је ОДЛУКУ бр. 5006/10-1 од 13.07.2017. године о именовању Комисије у саставу:

1. др Драгана Шумарац Павловић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет у Београду,
2. др Мирослав Лутовац, редовни професор, Универзитет Сингидунум у Београду,
3. др Милан Прокин, редовни професор, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет.

за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације под насловом „Детекција намерно изазваних промена у садржају слике“, Александре Павловић, мастер инж. електротехнике и

рачунарства. За ментора докторске дисертације предложена је др Ирини Рељин, редовни професор Електротехничког факултета у Београду.

Усмена одбрана теме је одржана на Електротехничком факултету у Београду 13.07.2017. године уз присуство свих чланова комисије. Одбрана је укључила презентацију предмета, циља и значаја предложене теме, уз навођење полазних хипотеза, коришћених научних метода и очекиваних доприноса. Комисија за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације је, заједно са предложеним ментором, поднела Извештај Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду. Извештај Комисије о подобности теме и кандидата бр. 5006/10-2 је усвојен 12.09.2017. године на седници Наставно-научног већа Факултета, након чега је упућен Већу техничких наука на усвајање (број Захтева 1587/8 од 14.9.2017. године).

Веће техничких наука Универзитета у Београду је 25.9.2017. године дало сагласност на предлог теме докторске дисертације под насловом „Детекција намерно изазваних промена у садржају слике“ (број одлуке 61206-3587/2-17 од 25.09.2017. године) кандидата Александре Павловић.

Кандидат Александра Павловић је 28.02.2019. године предала докторску дисертацију на преглед и оцену. Комисија за студије трећег степена је потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

Наставно-научно веће Факултета именovalo је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (број одлуке 5006/10-3 од 22.3.2019. године) у саставу:

1. др Ирини Рељин, редовни професор у пензији, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет,
2. др Милан Прокин, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
3. др Андреја Самчовић, редовни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет,
4. др Драгана Шумарац Павловић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
5. др Ана Гавровска, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

Кандидат Александра Павловић је уписана на докторске студије Електротехничког факултета 2010/2011. школске године. На основу одлуке Наставно-научног већа бр. 3058/2 од 28.12.2010. године, кандидат Александра Павловић је започела Студијски програм у пролећном семестру школске 2010/2011, па се рок за завршетак докторских академских студија рачуна од почетка тог семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета. По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија за два семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета, као и додатно продужење за годину дана на основу Одлуке 24-06/04-2010/5006 од 6.2.2018.године.

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 74. Статута Универзитета у Београду-Електротехничког факултета и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

1.2. Научна област дисертације

Научна област у коју се сврстава докторска дисертација кандидата Александре Павловић, чији је наслов „Детекција намерно изазваних промена у садржају слике“, је Електротехника и рачунарство, а ужа научна област Дигитална обрада сигнала/слике, односно Форензика слике, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Дисертација је урађена под менторством др Ирини Рељин, редовног професора Електротехничког факултета (у пензији) Универзитета у Београду, која је квалификована за менторство овог доктората што је потврђено њеним релевантним радовима који су наведени приликом пријаве теме докторске дисертације кандидата.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Александра С. Павловић рођена је 04.03.1985. године у Краљеву. Завршила је 2004. године средњу школу у Рашкој, природно-математички смер, као носилац дипломе „Вук Караџић“. Дипломирала је 2008. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду на одсеку Телекомуникације и информационе технологије, смер Системско инжењерство, са просечном оценом 8.73. Након тога је уписала мастер студије на истом факултету, смер Системско инжењерство и радиокомуникације, које је завршила 2010. године са просечном оценом 9.33. Уписала је 2010. године докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, одсек Телекомуникације.

Ангажована је као асистент у настави на Државном Универзитету у Новом Пазару од 2009. године у области Аудио и видео технологија. До сада је била ангажована на неколико предмета. На редовним годишњим оцењивањима од стране студената, добијала је одличне оцене. Од 2018. године ангажована на Високој школи електротехнике и рачунарства у Београду, као асистент у настави, за ужу научну област Информатика и рачунарска техника.

Учествовала је на два пројекта Министарства просвете Републике Србије:

1. “Интегрални и оптимизирани процес тестирања и одржавања софтвера”, под ознаком TP 13018,
2. “Оптимизација перформанси енергетски-ефикасних рачунарских и комуникационих система“, под ознаком TP 32023,

и на пројекту

3. Professional Development of Vocation Education Teachers with European Practices (Pro-VET, 2018-2021), трајање 2018-2021.

који је коспонзорисан од стране програма Erasmus+ Европске уније.

Александра Павловић је била рецензент за више радова домаћих конференција ЕТРАН.

Усавршавала се на бројним семинарима који су одржавани на Државном универзитету у Новом Пазару, у оквиру међународног пројекта ТЕМПУС, као и семинара компаније ФЛИР, у оквиру обуке за коришћење термовизијске камере.

Похађала је и завршила МУМИА (*Multilingual and multifaceted interactive information access*) тренинг школу у оквиру пројекта COST Action IC1002, у области претраживања мултимедијалног садржаја (*Building Next Generation Search Systems*), у месту Олимпијада, Халкидики, Грчка, септембра 2012. године. Говори енглески, немачки и руски језик.

Аутор је и коаутор већег броја (28) публикованих радова, од којих је један у часопису са СЦИ листе категорије M21 (на којем је први аутор), 15 радова је презентовано и публиковано у зборницима међународних конференција, два у домаћим часописима, десет на домаћим конференцијама. Поред тога коаутор је шест развојних решења, резултата научноистраживачких пројеката на којима је учествовала. Добитник је награде за најбољи рад у категорији младих учесника на конференцији ЕТРАН, 2012. године.

Александра Павловић је уписала докторске студије на Електротехничком факултету у Београду, школске 2010/2011 године (модул Телекомуникације). Подручје истраживачког рада Александре Павловић обухвата, између осталог, обраде слике и видеа, нелинеарне обраде сигнала у једнодимензионом и дводимензионом (1D и 2D) домену.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Александре Павловић, садржи шест поглавља и широку листу (више од 120 наслова) коришћене актуелне литературе. Рад је написан на 120 страница, илустрован у 49 слика, а резултати су систематизовани у 20 табела. Приложен је списак скраћеница, спискови слика и табела. Садржај докторске дисертације је дат у следећим поглављима:

1. Увод
2. Детекција промена „копирај и налепи“ (*Copy-Move Forgery Detection, CMFD*)
3. Мултифрактална теорија
4. Методологија – нова метода за детекцију CMFD промена
5. Резултати симулације и дискусија резултата
6. Закључак

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу су објашњени циљеви истраживања, као и почетна мотивација за израду тезе. Постављене су полазне хипотезе у складу са циљевима који су наведени.

Друго поглавље даје преглед постојеће литературе и метода за детекцију намерно изазваних промена у садржају слике, као и опис њихових предности и недостатака. Посебан осврт је дат на највише заступљеном начину измена садржаја слика познатом под енглеским називом *copy-move forgery*, што би се могло назвати „копирај и налепи“. Објашњени су основни кораци у до сада познатим методама, као и алгоритмима који се користе за издвајање и упаривање карактеристика оригиналне и измењене слике ради утврђивања евентуалних измена.

У трећем поглављу је дат опис мултифракталне теорије, са посебном анализом карактеристика мултифракталног спектра оригиналних и измењених слика. С обзиром да су копирани и налепљени делови узети са исте слике, њихове карактеристике су сличне, што је разлог примене мултифракталне анализе, јер та анализа омогућава детекцију финих разлика између слика. Објашњен је начин којим се израчунавају мултифрактални спектри, као и разлози због којих је могуће користити њихове различите параметре у детекцији намерно изазваних промена на сликама. Одређеним изменама у слици, мењају се и параметри ових спектра, што је искоришћено за кластеровање слика, односно блокова слика. Посебна

пажња је посвећена примени тзв. инверзног мултифракталног спектра. Наиме, у доступној литератури је показано да метода хистограма при одређивању мултифракталног спектра допушта да се сваком пикселу слике могу једнозначно придружити матрице мултифракталних параметара: *Holder*-овог експонента, алфа (α), и спектра тих вредности што је познато као мултифрактални спектар, $f(\alpha)$. Избором одређених вредности алфа (α), и/или $f(\alpha)$, могу се у полазној слици издвојити они пиксели који су карактерисани тим вредностима мултифракталних параметара, дакле, могу се детектовати локалне и глобалне промене у слици.

Четврто поглавље даје детаљан опис предложене методе за детекцију намерно изазваних промена у садржају слике, засноване на параметрима мултифракталног спектра, статистичким параметрима и метахеуристици (семи-метрици). Описана је нова методологија, која се предлаже у овој дисертацији, и детаљно су представљени кораци тог алгорита.

Резултати и дискусија резултата добијених применом предложене методе су дати у петом поглављу. Метода је тестирана на више база тест слика: на бази слика из јавно доступне литературе, као и на бази слика генерисаних за потребе истраживања. Извршено је поређење добијених резултата са резултатима других аутора, на основу одређених параметара прецизности детекције промењених делова у садржају слике, као и на основу процента „лажне детекције“ и рачунарске комплексности алгоритама.

Шесто поглавље је закључак, у коме су истакнути доприноси саме дисертације као и предлози за даља истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Дигиталне слике и видео се користе у свакодневном животу, као извори информација, али и као поткрепљујући докази у разним областима као што су: докази при вештачењу, на суду и у полицији, у новинарству, форензичким истраживањима и слично. Са развојем софтвера, постало је веома једноставно изменити садржај дигиталне слике, без видљивих трагова о томе и без значајне деградације у квалитету слике. Уколико слика нема додатно уграђене информације (водени жиг, дигитални потпис), не можемо бити сигурни у веродостојност исте. Стога је јасна потреба за развојем метода које ће те промене детектовати. Дисертација кандидата Александре Павловић представља допринос развоју области форензике слике.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији је дат детаљан преглед референтне и коришћене литературе који обухвата 121 наслов, најновијих релевантних и актуелних радова. Литература обухвата радове из области форензике слика који су последњих година објављени у часописима међународног значаја, са посебним акцентом на детекцију такозваних „копирај и налепи“ промена, које су најчешће коришћени начини промена на сликама. Истакнуте су предности и недостаци постојећих метода. Литература даје и преглед радова и књига које описују мултифракталну теорију, као и примену мултифрактала у анализи дигиталних слика.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Предложена метода је заснована на блоковској анализи дигиталних слика, у циљу детекције промена на истим. Блоковска анализа је погодна јер захтева мању комплексност рачунања у поређењу са методама заснованим на кључним тачкама (*key-point based*). У предложеној

методи блокови, на које се слика дели, се описују карактеристичним векторима, који су сачињени од параметара мултифракталног спектра и статистичких параметара. За проналажење и упаривање карактеристичних вектора развијена је нова семи-метрика.

Комплексност израчунавања CMFD алгоритама јесте један од параметара који одређују рачунарску захтевност методе. На комплексност рачунања утиче или број дескриптора који се користе као карактеристични вектори за сваки блок, или број блокова. Комплексност израчунавања се може смањити или смањивањем димензионалности карактеристичних вектора блокова, или смањењем броја блокова (компромис између величине и броја блокова).

У предложеном алгоритму, за генерисање карактеристичног вектора који описује сваки блок, коришћени су параметри мултифракталног спектра, као и стандардни статистички параметри. У предложеном алгоритму карактеристични вектори описани су са 7 дескриптора (димензија вектора је 7), што је значајно мање од димензионалности карактеристичних вектора других метода из познате литературе, чиме је остварено да су комплексност и време рачунања знатно мањи у поређењу са познатим постојећим методама.

3.4. Применљивост остварених резултата

Остварени резултати се могу успешно користити за детекцију намерно изазваних промена у садржају слике, независно од формата у коме се слика налази, као и од резолуције слике. Омогућена је аутоматизација детекције промена у случају *copy-move forgery* измена у слици, без потребе за постојањем референтне (оригиналне) слике.

Имајући у виду развој дигиталних система за обраду података, а посебно све веће коришћење великих база слика и видео садржаја, неопходно је развити методе не само потврде веродостојности ових садржаја, већ и методе које могу да открију оштећење, односно намерну промену садржаја истих. Стога докторат кандидата представља допринос овим истраживањима остављајући простор за даљи развој метода форензике слике који би био заснован и на резултатима овог рада.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу досадашњег искуства кандидата у области обраде сигнала, генерално, а посебно у области обраде слике, стеченог кроз:

- полагање испита на докторским студијама, и
- објављивање радова из области предложене теме докторске дисертације на националном и међународном нивоу, и
- учешћа у научноистраживачким пројектима министарства задуженог за науку, и у европском пројекту, од 2018. године.

Комисија је констатовала да је кандидат Александра Павловић у потпуности испунила очекивања у раду на предложеној теми „Детекција намерно изазваних промена у садржају слике“. Остварени резултати представљају оригиналан допринос, чиме је кандидат уједно изразила своју креативност, упорност, доследност, самосталност и способност да искористи знања прикупљена током истраживања и примени их у конкретном решењу. У академском смислу кандидат је способан да осмишља и спроводи експерименте, обрађује и анализира податке, презентује резултате рада научној заједници објавом компетентних научних радова. Све претходно наведене чињенице су потврда способности кандидата за самостални научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У докторској дисертацији изложено је више научних доприноса од којих као најзначајније истичемо следеће:

- Дати су преглед и анализа постојећих метода за детекцију намерно изазваних промена у садржају слике. Описани су параметри који се најчешће користе за генерисање карактеристичних вектора блокова или пиксела слике, као и технике упаривања сличних блокова и њихове поделе у измењене/неизмењене регионе.
- Показано је да се параметри мултифракталног спектра могу успешно користити у *skyline* сегментацији слике.
- Мултифрактална теорија, као и параметри мултифракталног спектра су први пут у постојећој литератури коришћени за детекцију промена на дигиталним сликама.
- Показано је да се инверзни мултифрактални спектар може успешно користити за детекцију објеката који су додати на постојећу слику са неке друге слике (*image splicing*).
- Развијена је нова метода за детекцију намерних промена у садржају слике, која је заснована на блоковској анализи, коришћењем параметара мултифракталног спектра и статистичких параметара.
- Предложена је нова семи-метрика, на бази метахеуристике, за упаривање сличних блокова и детекцију измењених блокова. У постојећој литератури аутори су најчешће користили исте или сличне технике упаривања блокова, као што су: сортирање, “претресање” (*hash*), корелација, Еуклидско растојање и слично. Нова семи-метрика, се показала успешном у проналажењу и упаривању сличних блокова слике, тј. проналажењу сличних карактеристичних вектора.
- Предложена метода даје боље перформансе у детекцији промена на сликама, у поређењу са методама у постојећој литератури. Предност предложене методе се огледа у већем проценту детекције измењених региона слике, као и у мањем проценту „лажне детекције“ – детектовању неизмењених региона као да су измењени.
- Величина блокова утиче на проценат исправне детекције, као и на проценат „лажне детекције“. У раду је показано да се највећа тачност добија коришћењем блокова димензија 16x16, тако да се управо ова величина предлаже као карактеристична вредност димензија блокова на које се слика дели.
- Предложен алгоритам користи карактеристичне векторе мале димензије (користи се само 7 дескриптора) тако да је значајно мања комплексност рачунања у односу на друге методе, па је и време израчунавања знатно мање у односу на постојеће методе.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Научни доприноси наведени у тачки 4.1 представљају значајно унапређење постојећих научних сазнања у овој области.

Мултифрактална теорија, као и параметри мултифракталног спектра омогућавају једновремену локалну и глобалну анализу слике чиме се могу успешно детектовати измене у слици.

Предложена семи-метрика се показала успешном у проналажењу и упаривању сличних блокова слике, дакле, успешна је у проналажењу сличних карактеристичних вектора.

Остварене су боље перформансе у детекцији промена на сликама, у поређењу са до сада познатим методама. Конкретно, остварен је већи проценат детекције измењених региона слике, а мањи проценат лажних детекција.

Уједно, предложена метода је мање рачунарски захтевна, јер користи карактеристичне векторе мале димензије, тако да је време израчунавања значајно мање у поређењу са постојећим методама.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат је за време трајања докторских студија публиковала значајан део свог истраживања. У наставку је приказан списак радова који су проистекли из доктората кандидата Александре Павловић, наведених према Правилнику о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије:

Категорија M21:

1. **A. Pavlović**, N. Glišović, A. Gavrovska, I. Reljin, Copy-move forgery detection based on multifractals, *Multimedia Tools and Applications*, 2019, (IF=1.541) (DOI: 10.1007/s11042-019-7277-1).

Категорија M33:

1. **A. Pavlović**, A. Gavrovska, and I. Reljin, "Multifractal spectrum of the images obtained by copy move method", IcETRAN, 5-8. juna, Kladovo, Srbija, 2017.
2. **A. Pavlović**, A. Gavrovska, N. Milosavljević, „The Skyline Image Segmentation using Color and Detail Clustering”, 14th Symposium on Neural Networks and Applications (NEUREL), Belgrade, Serbia, November 20-21, 2018.

Категорија M63:

1. **A. Pavlović**, N. Glišović, „Image Statistics for Digital Image Forensics“, Contemporary problems of mathematics, mechanics and informatics (CPMMI), Novi Pazar, 2014.
2. **A. Pavlović**, I. Reljin, „Statistička analiza slika izmenjenih copy-move metodom“, XXXV Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2017, Beograd, 5. i 6. decembar 2017.
3. **A. Pavlović**, „Application of multifractals for copy-move forgery detection”, Contemporary problems of mathematics, mechanics and informatics (CPMMI), Novi Pazar, 2018.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Резултат рада на докторској дисертацији кандидата Александре Павловић представља развој и евалуацију новог метода у детекцији слика код којих је намерно изазвана промена у садржају слике. Циљ истраживања јесте развој нове методе за детекцију намерно изазваних промена у садржају слике (што је познато као CMFD = *Copy-Move Forgery Detection*) употребом анализе сингуларитета слике. Имајући у виду да копирани и налепљени делови имају сличну структуру, примењена је мултифрактална анализа, која у основи анализира самосличност. Додатно, предложена метода је укључила нову семи-метрику, на бази метахеуристике, развијену за потребе овог рада а за упаривање сличних блокова и детекцију измењених блокова. Тестирана је на примерима који су генерисани за потребе анализе, као и на примерима из јавно доступних база слика. Оваква метода је од значаја у дигиталној форензици и за примену у аутоматској детекцији делова који су копирани у исту или у другу слику, а такође и у детекцији делова који су скалирани, ротирани и вишеструко копирани.

Кандидат је радом на дисертацији показала способност самосталног научног рада, што укључује истраживачке активности и коначну реализацију решења једног проблема. Анализирајући докторску дисертацију у целини Комисија сматра да дисертација испуњава све критеријуме који се примењују приликом вредновања једне докторске дисертације.

Узимајући у обзир претходно наведене чињенице, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета да се докторска дисертација под називом „Детекција намерно изазваних промена у садржају слике“ кандидата Александре Павловић прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да одобри кандидату усмену одбрану.

У Београду, 25.03.2019. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Ирини Рељин, редовни професор у пензији
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Милан Прокин, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Андреја Самчовић, редовни професор
Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет



др Драгана Шумарац Павловић, редовни професор

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Ана Гавровска, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет