

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 именовao комисију Декан Факултета техничких наука у Новом Саду на основу предлога матичне катедре и одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука; Решење број: 012-199/16-2020</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>ПРЕДСЕДНИК: др Драган Иветић, редовни професор УНО: Примењене рачунарске науке и информатика; 13.01.2010.; Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду</p> <p>ЧЛАН: др Марица Поповић, научни сарадник УНО: Фототермална наука; 26.04.2018.; Институт за нуклеарне науке “Винча”, институт од националног значаја, Универзитет у Београду</p> <p>ЧЛАН: др Душан Гајић, доцент УНО: Примењене рачунарске науке и информатика; 01.03.2016.; Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду</p> <p>ЧЛАН: др Дину Драган, доцент УНО: Примењене рачунарске науке и информатика; 01.02.2014.; Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду</p> <p>МЕНТОР: др Александар Купусинац, ванредни професор УНО: Примењене рачунарске науке и информатика; 19.05.2016.; Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду</p>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Мирослава (Ивко) Јордовић Павловић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 13.02.1974., Ужице, Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Електротехнички факултет Београд, Одсек за електронику, телекомуникације, аутоматику, смер телекомуникације; мастер инжењер електротехнике</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2019; Рачунарство и аутоматика</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: /</p>

6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: /

III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Програмски оквир заснован на машинском учењу за аутоматизацију обраде резултата фотоакустичних мерења

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Докторска дисертација кандидата Мирославе Јордовић Павловић, под насловом **Програмски оквир заснован на машинском учењу за аутоматизацију обраде резултата фотоакустичних мерења**, је изложена на 108 страница. Текст дисертације је организован у 8 поглавља са списком литературе на крају, у којима се, укупно, налази 50 слика и 23 табеле. Списак коришћене литературе садржи 87 навода.

Садржај докторске дисертације је следећи:

1. Уводна разматрања
2. Фотоакустика – пример модел зависне технике мерења
3. Вишеслојне неуронске мреже
4. Анализа главних компоненти у проблемима машинског учења
5. Методологија – имплементација алгоритама
6. Практична примена развијених модела
7. Додатна истраживања
8. Закључак и будућа истраживања

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Поглавље 1: Уводна разматрања

У првом поглављу кандидат упућује на главни задатак истраживања представљеног у докторској дисертацији - развој модела заснованог на алгоритмима машинског учења за опис сложеног утицаја мерног система на користан сигнал у фотоакустичној, трансмисионој мерној методи са ћелијом минималне запремине као студији случаја, са циљем елиминације овог утицаја. Јасно су приказани проблеми у калибрацији ове мерне методе. Објашњена је потреба за корекцијом изобличеног експерименталног сигнала, како би се избегле последице на резултате мерења. Истакнута је потреба за новом методологијом у калибрацији мерне методе.

Прецизирани су предмет, мотивација, циљеви, научни доприноси, полазне хипотезе и методе истраживања.

Поглавље 2: Фотоакустика – пример модел зависне технике мерења

Друго поглавље посвећено је генерисању симулираних података који ће се користити за обуку модела за опис детектора – микрофона, коришћеног у фотоакустичном експерименту, као најдоминантнијег инструмента у мерном ланцу на изобличења експерименталног сигнала. Софтвер за генерисање симулираних података заснован је на теоријско-математичком моделу фотоакустичног одзива, теоријским вредностима физичких параметара узорка и избору опсега вредности параметара детектора. Након резимеа фотоакустичне трансмисионе методе са ћелијом минималне запремине, детаљно је представљен теоријско-математички модел фотоакустичног одзива. Анализирана је процедура корекције снимљеног фотоакустичног сигнала и експлицитно је постављена улога модела за опис детектора у овој процедури. Објашњен је избор опсега вредности карактеристичних параметара детектора, верификованог од стране експерата. Дат је опис и визуелизација симулираних података.

У посебном делу поглавља, кандидат даје преглед одређеног броја примена неуронских мрежа у фотоакустици, као алгоритма машинског учења често коришћеног у овој научној области.

Поглавље 3: Вишеслојне неуронске мреже

У трећем поглављу приказани су основни принципи дизајнирања неуронских мрежа. Представљен је математички модел трослојне неуронске мреже као основ за различите технике и алгоритме оптимизације и регуларизације процеса обуке неуронских мрежа. Дат је математички приказ следећих поступака: нормализације сета података, иницијализације почетних вредности тежинских параметара, L1 методе регуларизације и Adam методе оптимизације обуке неуронских мрежа. Посебно је истакнут значај сваког од ових поступака на ефикасност обуке неуронских мрежа и тако креирање оптималне неуронске мреже за дати проблем.

Поглавље 4: Анализа главних компоненти у проблемима машинског учења

Четврто поглавље садржи кратак приказ алгоритма за редукцију димензија улазног скупа података, анализа главних компоненти са освртом на проблеме машинског учења. Редукција димензија је важна као потенцијална метода за поједностављење процедуре мерења у фотоакустичном експерименту, конкретно смањење броја мерења. То је једна од хипотеза овог истраживања.

Поглавље 5: Методологија-имплементација алгоритама

Са петим поглављем започиње приказ резултата истраживања. Дат је поступак развоја регресионог модела, заснованог на трослојној неуронској мрежи, за предикцију карактеристичних параметара микрофона, као детектора у фотоакустичном експерименту и поступак развоја класификационог модела, заснованог на двослојној неуронској мрежи за предикцију типа микрофона у фотоакустичном експерименту. Дискутована је оптимизација оба модела у односу на постављене

захтеве фотоакустичног експеримента: прецизност, поузданост, рад у реалном времену и коришћење широко доступног хардвера. Дат је приказ резултата извршених тестова који доказују задовољавајуће добре перформансе оба модела у односу на постављене захтеве. За регресиони модел приказани су тестови на симулираним експерименталним сигналимa који нису коришћени за обуку неуронске мреже, а чије се вредности карактеристичних параметара микрофона налазе у опсегу тренинг вредности и на симулираним експерименталним сигналимa са додатих $\pm 5\%$ шума. Дат је упоредни приказ перформанси регресионог модела за три различита микрофона, којим се доказује да се регресиони модел може разматрати као генерализовани модел за фотоакустични инверзни проблем. За класификациони модел приказани су тестови на симулираним експерименталним сигналимa, који нису коришћени за обуку неуронске мреже, а чије се вредности карактеристичних параметара микрофона налазе у опсегу тренинг вредности.

Поглавље 6: Практична примена развијених модела

Шесто поглавље посвећено је практичној примени развијених модела. Објашњен је принцип рада и дати су резултати за две развијене методе за аутоматску обраду резултата фотоакустичних мерења на реалним експерименталним сигналимa. Доказано је да метода за аутокорекцију изобличеног експерименталног сигнала, базирана на креираним регресионом и класификационом моделу, извршава чишћење и исправљање изобличеног експерименталног сигнала у сигнал који потиче само од испитиваног узорка, прецизно, аутоматски и у реалном времену, приказом резултата ове методе на реалним експерименталним сигналимa и верификацијом од стране експерата. Објашњена је потреба за креираним софтвером за прилагођење реалних експерименталних података развијеним моделима, који је уведен као процедура предпроцесирања експерименталног сигнала. Доказано је да метода за калибрацију мерења заснована на поклапању фаза извршава калибрацију мерења за испитивани узорак на референтни узорак прецизно, аутоматски и у реалном времену приказом резултата ове методе на реалним експерименталним сигналимa и верификацијом од стране експерата.

Поглавље 7: Додатна истраживања

У поглављу седам дискутује се смањење броја мерења у експерименту из разлога поједностављења поступка мерења. Дата је анализа редукције димензија улазног вектора регресионог и класификационог модела применом алгорита анализа главних компоненти и испитивањем корелационе матрице обележја, а да се очува прецизност и поузданост експеримента и рад у реалном времену. Предложено је пет тачака на фреквентној оси у којима треба мерити тако да се задрже добре особине оба модела и регресионог и класификационог када се користе у спрези. За класификациони модел предложена је још екстремнија редукција димензија – мерењем у једној тачки у нискофреквентном опсегу фреквенција, могуће је прецизно и поуздано извршити предикцију типа микрофона.

Поглавље 8: Закључак и будућа истраживања

У овом поглављу дата су закључна разматрања, као и предложени правци будућих истраживања.

Литература

Дата је листа коришћене литературе која садржи 87 навода.

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.

Jordović-Pavlović M., Kupusinac A., Djordjević K., Galović S., Markushev D., Nešić M., Popović M., Computationally intelligent description of a photoacoustic detector. *Opt Quant Electron.*, vol. 52, no. 246, pp. 1–14, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11082-020-02372-y>, [M22]

Jordović-Pavlović M., Stanković M., Popović M., Čojbašić Ž., Galović S., Markushev D., “The application of artificial neural networks in solid-state photoacoustics for the recognition of microphone response effects in the frequency domain,” *J. Comput. Electron.*, vol. 19, no. 3, pp. 1268–1280, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10825-020-01507-4>, [M23]

Jordović-Pavlović M., Markushev D., Kupusinac A., Djordjević K., Nešić M., Galović S., Popović M., “Deep Neural Network Application in the Phase-Match Calibration of Gas – Microphone Photoacoustics,” *Int J Thermophys*, vol. 41, no. 6, pp. 1–10, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10765-020-02650-7>, [M23]

Jordović-Pavlović M., Kupusinac A., Popović M., Classification model for microphone type recognition. In: *Proceedings of 11th international scientific conference science and higher education in function of sustainable development—SED*, ISBN 978-86-83573-95-0 (2019), [M33]

Jordović-Pavlović M., Markushev D., Popović M., Galović S., Deep learning in development of model-dependent diagnostic: recognition of detector characteristics in measured responses. In: *Proceedings of 6th International Conference on Electrical, Electronic, and Computing Engineering (IcETRAN)*, ISBN 978-86-7466-785-9 (2019), [M33]

Jordović-Pavlović M., Markushev D., Kupusinac A., Djordjević K., Nešić M., Galović S., Popović M., Deep neural network applied in calibration of transmission frequency gas-microphone photoacoustic, *Book of Abstracts – ICPPP20, Moscow, 2019*, [M34]

Jordović-Pavlović M., Kupusinac A., Đorđević K., Galović S., Markušev D. Nešić M., Popović M., Computationally intelligent characterization of a photoacoustic detector, *Book of abstracts - The Seventh International School and Conference on Photonics with Symposium Machine Learning with Photonics*, 26 August – 30 August 2019, Belgrade, Serbia, [M34]

Popović M., Markushev D., **Jordović-Pavlović M.**, Djordjević K., Miletić V., Nešić M., Galović S., Influence of protection layer on photoacoustic response of polymer samples — theory and experiment, *Book of Abstracts – ICPPP20, Moscow, 2019*, [M34]

Jordović-Pavlović M., Kupusinac A., Galović S., Markushev D., Nešić M., Popović M., Computationally intelligent estimation of properties for polymer microphone diaphragms by photoacoustic measurement, *Book of abstracts - The 20th Symposium on Condensed Matter Physics - SFKM 2019, Belgrade – Serbia*, [M64]

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Поглавља пет, шест и седам садрже оригиналне доприносе дисертације. Истраживање приказано у дисертацији је доказало постављене хипотезе и довело до следећих конкретних закључака:

- Методе машинског учења се могу узети у обзир као методологија за елиминисање утицаја мерног ланца код модел зависних мерних метода, за које постоји теоријско-математички модел. Конкретно, неуронске мреже остварују боље резултате него друге познате методе у случају фотоакустичне трансмисионе мерне методе са хелијом минималне запремине.
- Утврђено је да се симулирани подаци могу користити за обуку модела за опис утицаја мерног ланца. За веродостојност симулираних података неопходно је експертско знање.
- Утврђено је да се развијени програмски оквир може користити као основ методе за аутокорекцију снимљеног експерименталног сигнала. Применом ове методе фотоакустична

мерна техника је знатно унапређена: повећана је прецизност и поузданост, проширен фреквентни опсег мерења и смањено време обраде резултата мерења.

- Утврђено је да се развијени програмски оквир може користити као основ методе за калибрацију мерења засноване на поклапању фаза у нискофреквентном опсегу. Калибрација извршена применом ове методе остварује добре резултате и конкурентна је постојећим методама калибрације.
- Методе машинског учења се могу размотрити као методе за поједностављење експеримента. Применом предложене методологије могуће је извршити карактеризацију микрофона мерењем у пет тачака, а класификацију микрофона мерењем у једној тачки.
- Експертско знање је кључни фактор у валидацији резултата оваквог типа истраживања.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

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

Приказ дисертације је прегледно и систематично структуриран. Јасно су наведени: предмет, мотивација, хипотезе, циљеви и значај истраживања. У оквиру истраживања су коришћене адекватне и потврђене научне методе. Кандидат је доказао све постављене хипотезе, одговорио на постављена истраживачка питања и остварио циљеве истраживања.

На основу ових показатеља комисија даје позитивну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Рад је проверен у у софтверу за детекцију плагијаризма iThenticate, што је потврђено у Извештају о подударности од стране Библиотеке Факултета техничких наука у Новом Саду. На основу овог извештаја утврђено је да докторска дисертација кандидата Мирославе Јордовић Павловић представља оригиналан рукопис.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE 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

Докторска дисертација је **написана у складу са образложењем** које је наведено у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Дисертација садржи све битне елементе научно-истраживачког рада. Тема, садржај, преглед литературе, методологија, оригинални резултати истраживања, начин тумачења и примена резултата задовољавају захтеве нивоа докторске дисертације.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Разматрајући целокупну материју поднете докторске дисертације кандидата Мирославе Јордовић Павловић, комисија је закључила да она својим прилазом и тематским одређењем представља новину у истраживањима у овој области. Главни допринос докторске дисертације се огледа у развоју методологије, засноване на алгоритмима надгледаног машинског учења и дате као програмски оквир, која се може користити за аутоматску елиминацију утицаја мерног ланца на користан експериментални сигнал и утврђивању да аутокорекција експерименталног сигнала применом предложене методологије даје боље резултате у односу на до сада познате методе. Програмски оквир се састоји од две неуронске мреже, трослојне и двослојне, и софтвера за интерполацију података. Применом предложене методологије на конкретну мерну методу – трансмисиону фреквентну фотоакустику, ова мерна техника је знатно унапређена: повећана је прецизност и поузданост технике, проширен фреквентни опсег, смањено време обраде резултата мерења и повећан број физичких својстава који се могу мерити чиме је повећан капацитет ове мерне технике. Значајан допринос ове дисертације је и тај што се на основу резултата ове дисертације може указати на могућност потпуног описа микрофона, односно могућа је класификација и карактеризација микрофона применом развијеног програмског оквира у кратком временском периоду. Показано је да се може смањити број мерних тачака у експерименту, применом алгоритама ненадгледаног машинског учења: за карактеризацију микрофона потребно је пет мерних тачака, а за

<p>класификацију микрофона једна мерна тачка.</p>
<p>4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања</p> <p>Комисија закључује да представљена докторска дисертација нема недостатке који утичу на резултате истраживања.</p>
<p>X ПРЕДЛОГ:</p> <p>На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:</p>
<p>Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију кандидата Мирославе Јордовић Павловић под насловом Програмски оквир заснован на машинском учењу за аутоматизацију обраде резултата фотоакустичних мерења и предлаже да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана.</p>

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

Иветић др Драган, редовни професор

Поповић др Марица, научни сарадник

Гајић др Душан, доцент

Драган др Дину, доцент

Купусинац др Александар, ванредни професор

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.