

Универзитет у Београду
Факултет организационих наука

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Ивана Д. Јездовића**

Одлуком 05-01 бр. 3/18-3 Наставно-научног већа ФОН-а од 02.02.2022. године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Ивана Д. Јездовића** под насловом

„РАЗВОЈ IoT СИСТЕМА ЗА МЕРЕЊЕ БУКЕ У САОБРАЋАЈУ“

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. ХРОНОЛОГИЈА ОДОБРАВАЊА И ИЗРАДЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Иван Д. Јездовић је уписао докторске студије 14.10.2016. године. Комисија за преглед и одбрану приступног рада и оцену научне заснованости пријављене докторске дисертације формирана је 11.07.2018. године, на Наставно-научном већу ФОН-а одлуком бр. 05-1 бр. 3/103-3, када је и одобрена израда приступног рада кандидату Ивану Д. Јездовићу. Приступни рад је одбрањен 25.09.2018. године.

Одлука о усвајању извештаја Комисије о научној заснованости пријављене докторске дисертације донета је 10.10.2018. године на Наставно-научном већу ФОН-а, одлуком бр. 05-01 бр. 3/162-1. Одлуком Универзитета у Београду од 29.10.2018. године, 02 бр. 61206-4730/2-18 дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Ивана Д. Јездовића под називом „Развој IoT Система за мерење буке у саобраћају“. На Наставно-научном већу 10.10.2018. године, Одлука 05-01 бр. 3/162-1, одобрена је израда дисертације кандидата Ивана Д. Јездовића. За ментора је именован проф. др Божидар Раденковић.

Ментор др Божидар Раденковић је 27.01.2022. известио Наставно-научно веће ФОН-а да је Иван Д. Јездовић завршио израду докторске дисертације. Наставно-научно веће ФОН-а је именovalo Комисију за оцену завршене докторске дисертације 02.02.2022. одлука 05-01 бр. 3/18-3.

1.2. НАУЧНА ОБЛАСТ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Предмет истраживања ове дисертације је мерење буке у саобраћају применом интернета интелигентних уређаја. Циљ истраживања је развој методолошког оквира и одговарајуће *IoT* инфраструктуре и сервиса који омогућавају прикупљање, дистрибуцију и анализу података о буци у саобраћају у паметним градовима. Имајући у виду да се путем интелигентних уређаја могу прикупити велике количине података које треба чувати и обрадити, у дисертацији је развијена и примењена *cloud computing* и *big data* инфраструктура.

Докторска дисертација „Развој *IoT* система за мерење буке у саобраћају“ припада пољу техничко-технолошких наука, подручју информационих система и технологија и ужој научној области Електронско пословање, за коју је матичан Факултет организационих наука Универзитета у Београду. У дисертацији се обрађују теме из области *crowdsensing*-а, интернета интелигентних уређаја и мобилних технологија.

Ментор др Божидар Раденковић поседује одговарајуће компетенције за вођење дисертације у виду низа објављених научних радова категорије M21a, M21, M22 и M23, у врхунским часописима међународног значаја из области електронског пословања, *crowdsensing*-а, интернета интелигентних уређаја, паметних окружења и мобилних технологија.

1.3. БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Иван Јездовић, рођен је у Пожаревцу 1992. године. Пожаревачку гимназију завршио је 2011. Основне академске студије завршио је на Факултету организационих наука, смер Информациони системи и технологије, одбраном завршног рада на тему „Развој веб апликације за управљање паметним такси возилима“. Мастер студије на Факултету организационих наука, студијски програм Електронско пословање и управљање системима, студијска група Технологије електронског пословања, завршио је 2016. године с просечном оценом 10, одбраном мастер рада на тему „Развој система паметне баште применом Интернета интелигентних уређаја“. Тренутно је студент докторских студија на Факултету организационих наука, студијски програм Информациони системи и квантитативни менаџмент, студијска група Електронско пословање. Положио је свих девет испита на докторским студијама с просечном оценом 10 (десет) и приступни рад је одбранио у септембру 2018. године. Од 2018. до 2020. године био је ангажован на пројекту Примена рачунарске технике у експерименталној физици чврстог стања, ОН174031, као стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. САДРЖАЈ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација, укупног обима 119 страница, садржи 52 слике и графичких приказа, 12 табела и 359 литературна навода. Структура докторске дисертације обухвата следеће целине: теоријски оквир мерења буке; развој модела система за мерење буке у саобраћају; евалуација и примена развијеног модела.

Докторска дисертација се састоји из следећих поглавља и потпоглавља:

1 Увод

- 1.1 Дефинисање предмета истраживања
- 1.2 Циљеви истраживања
- 1.3 Полазне хипотезе
- 1.4 Методологија истраживања

- 2 Теоријски оквир мерења буке
 - 2.1 Мерење буке у градовима
 - 2.2 Индикатори буке
 - 2.3 Дигитална обрада сигнала звука и буке
 - 2.3.1 Представљање звука сложено периодичним и таласастим функцијама
 - 2.3.2 Одређивање фреквентног спектра измереног сигнала
 - 2.3.3 Дискретна Фуријеова трансформација
 - 2.3.4 Брза Фуријеова трансформација
 - 2.3.5 Алгоритам Брзе Фуријеове трансформације
 - 2.3.6 Развој напредних FFT архитектура
 - 2.3.7 Брза конволуција
 - 2.3.8 Алгоритми и библиотеке за брзу конволуцију и FFT у IoT и Android апликацијама
 - 2.4 Мерење буке интелигентним уређајима
 - 2.4.1 IoT технологије у системима за мерење буке
 - 2.5 Мерење буке у паметним градовима
 - 2.5.1 Паметни градови
 - 2.5.2 Паметне куће и зграде
 - 2.5.3 Паметно здравство
 - 2.5.4 Паметно образовање
 - 2.5.5 Паметан саобраћај
 - 2.5.6 Информационе технологије у паметним градовима
 - 2.5.7 Системи за мерење буке у паметним градовима
 - 2.5.8 IoT инфраструктура за мерење буке у паметним градовима
 - 2.5.9 Сервиси за мерење буке у паметним градовима
 - 2.6 Анализа постојећих система за мерење буке у саобраћају
 - 2.6.1 Анализа система за мерење буке у саобраћају применом мобилних и технологија интернета интелигентних уређаја
 - 2.6.2 Анализа система за мерење буке у саобраћају применом crowdsensing техника
 - 2.6.3 Анализа буке у саобраћају применом big data технологија
 - 2.7 Тачност и прецизност конвенционалних уређаја за мерење буке у саобраћају
 - 2.8 Регулатива у мерењу буке у саобраћају у Европској унији и Републици Србији
- 3 Развој модела IoT система за мерење буке у саобраћају
 - 3.1 Моделирање архитектуре IoT система за мерење буке у саобраћају
 - 3.2 Архитектура фиксне и мобилне IoT станице за мерење буке у саобраћају
 - 3.3 Архитектура мобилне crowdsensing апликације за мерење буке у саобраћају
 - 3.4 Софтверске компоненте за подршку одлучивању
 - 3.5 Cloud инфраструктура IoT система за мерење буке у саобраћају
 - 3.6 Сервиси за big data аналитику буке у саобраћају
 - 3.7 Сервиси за калибрацију мобилне апликације за мерење буке у саобраћају
 - 3.8 Модел мерења буке у саобраћају применом crowdsensing-a
 - 3.8.1 Сценарији примене
 - 3.8.2 Експериментални дизајн
 - 3.9 Модел евалуације развијеног решења
 - 3.9.1 Методолошки поступак одабира локација за евалуацију система
- 4 Евалуација и примена развијеног система
 - 4.1 Пројектовање и имплементација прототипа
 - 4.1.1 Интеграција са сервисима електронског здравства
 - 4.2 Одабир локације, дана, интервала и дужине мерења за евалуацију развијеног прототипа система за мерење буке

4.3	Анализа постигнутих резултата
4.3.1	Експлораторна анализа
4.3.2	Анализа фреквенцијског спектра
4.3.3	Анализа података за локацију 2 – Студентски град
4.3.4	Анализа података за локацију 3 – Војводе Степе – понедељак
4.3.5	Метод К-средина (k-means)
5	Научни и стручни допринос
6	Будућа истраживања
7	Закључак
8	Литература
9	Биографија

2.2. КРАТАК ПРИКАЗ ПОЈЕДИНАЧНИХ ПОГЛАВЉА

Уводно поглавље описује предмет истраживања, циљеве истраживања, полазне хипотезе и методе истраживања.

У оквиру другог поглавља дефинише се појам мерења буке у паметним градовима. Даље се разматрају индикатори буке и дигитална обрада сигнала звука и буке. У оквиру дигиталне обраде сигнала звука и буке обрађује се појам Брзе Фуријеове трансформације, брза конволуција и алгоритми и библиотеке за брзу конволуцију и *FFT* у *IoT* и *Android* апликацијама. Потом се анализира мерење буке интелигентним уређајима, а затим и примена мерења буке у паметним градовима у доменима паметних кућа, паметног здравства, паметног образовања и паметног саобраћаја. На крају поглавља се детаљно анализирају постојећи системи за мерење буке у саобраћају подељени у три категорије: системи који користе мобилне и *IoT* технологије, системи који користе *crowdsensing* и системи који користе *big data* технологије.

У трећем поглављу приказује се концепт развоја модела *IoT* система за мерење буке у саобраћају. На почетку поглавља приказана је архитектура целокупног модела, *cloud* инфраструктура, а затим и детаљнија архитектура фиксних и мобилних станица и архитектура мобилне апликације. Представљени су сервиси за *big data* аналитику и системи за калибрацију. Дефинисани су модели мерења буке у саобраћају применом *crowdsensing*-а са сценаријима примене и експерименталним моделом и модел евалуације са методолошким поступком одабира локација.

Четврто поглавље обухвата евалуацију и примену развијеног решења. На почетку поглавља приказано је пројектовање и имплементација прототипа као и интеграција са сервисима електронског здравства. Извршен је одабир локације, дана, интервала и дужине мерења за евалуацију развијеног прототипа система за мерење буке. На крају поглавља представљена је анализа постигнутих резултата кроз експлораторну анализу, анализу фреквенцијског спектра, метод к-средина (*k-means*) и детаљнију анализу за локације „Студентски град“ и „Војводе Степе“.

У петом поглављу дат је преглед научних и стручних доприноса дисертације, са акцентом на теоријске и практичне импликације. У шестом поглављу наведена су будућа истраживања. Закључак је изведен кроз седмо поглавље.

Списак литературе садржи релевантне референце за област дисертације и дат је кроз осмо поглавље. Изложен је списак свих слика и табела. У поглављу девет се налази биографија Ивана Д. Јездовића.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. САВРЕМЕНОСТ И ОРИГИНАЛНОСТ

Предмет дисертације припада актуелној области истраживања примене *crowdsensing*-a, интернета интелигентних уређаја и мобилних технологија у развоју сервиса паметних градова са фокусом на мерење буке у саобраћају. Велики број научних и стручних часописа, конференција, књига, ресурса доступних на интернету показују актуелност теме докторске дисертације.

Досадашња истраживања у областима које су приказане у дисертацији чине важну научно-истраживачку област. Бројне научно-истраживачке институције и компаније у јавном и приватном сектору развијају различите *crowdsensing* сервисе у области паметног града коришћењем интернета интелигентних уређаја. Међутим, анализа актуелне научне литературе указује на недостатак свеобухватног истраживања, где се *crowdsensing* технике користе за прикупљање информација о буци у саобраћају у реалном времену.

У докторској дисертацији, у првом делу истраживања, анализира се теоријски оквир мерења буке. Иновативни модел *IoT* система за мерење буке у саобраћају предложен у овој дисертацији, може да допринесе квалитетнијем информисању, учешћу грађана у паметном граду и редуковању буке која утиче на здравље грађана. На основу добијених информација предложене су методе за смањење нивоа буке у саобраћају и персонализоване поруке намењене учесницима у саобраћају. Развијени систем за мерење буке у саобраћају може се интегрисати с постојећим сервисима паметних градова.

Поред наведених предности, истраживање спроведено у докторској дисертацији, могло би да послужи као добра основа за покретање и реализацију других пројеката у оквиру паметних градова.

На основу изложеног, може се закључити да докторска дисертација доноси новине у односу на постојеће стање и отвара простор за даља истраживања.

3.2. ОСВРТ НА РЕФЕРЕНТНУ И КОРИШЋЕНУ ЛИТЕРАТУРУ

Последњих година вршена су интензивна истраживања у области *crowdsensing*-a, паметних градова, као и примене *crowdsensing*-a, интернета интелигентних уређаја и мобилних технологија у паметним градовима са фокусом на мерење буке у саобраћају. Многобројни резултати публиковани су у научним часописима међународног значаја који се налазе на *SCI* листи, монографијама међународног значаја и презентовани на бројним конференцијама. Такође, интензивно се ради на развоју и имплементацији нових *crowdsensing* сервиса у свим областима паметних градова.

У дисертацији је коришћена обимна литература, која обухвата 359 литературна навода. За израду докторске дисертације коришћена је обимна, значајна и актуелна литература која обухвата књиге, интернет публикације, базе података и велики број научних радова публикованих у референтним научним часописима и зборницима научних конференција. Наведени извори су коришћени критички, аналитички и компаративно уз посебан осврт на актуелности приказаних научних сазнања. Коришћена литература је адекватна дефинисаном предмету истраживања и његовом садржају.

У првом делу дисертације који се односи на теоријски оквир мерења буке дат је детаљан преглед мерења буке у паметним градовима (Somasundaram et al., 2013) (González et al., 2019) (Van Renterghem et al., 2011) (Marouf et al., 2018) (Chun-Yu Chen & Chieh-Hsiun Kuan, 2000;

Cinderby, Snell, & Forrester, 2008; Davidovic & Labus, 2016; Kanjo, 2010; Martí et al., 2012; Rana, Chou, Kanhere, Bulusu, & Hu, 2010; Schweizer, Artl, Schulz, Probst, & Uhl Auser, 2011; Stevens & D'Hondt, 2015; Stevens & D'hondt, 2012; Q. Zhang & Shi, 1998). Попред паметних градова, у првом делу дисертације анализирани су и индикатори буке (Dobrilović et al., 2022) (Mahmud, Gope, & Chowdhury, 2012) ("Uredba o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini," 2010) ("Uredba o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini," 2010) (Mohamed, Paleologos, & Howari, 2021), као и дигитална обрада сигнала звука и буке (Oppenheim & Schaffer, 2013) (Shi, Feng, & Zhang, 2013) (Proakis & Manolakis, 2007) (William, 1909) (Strang, 1994) (Tran, 2006) (Julius, 2011) (Marković, 2017) (Rao, Kim, & Hwang, 2010) (Gavrilović et al., 2016) (Joshi, 2015) (Blahut, 2010) (Babic & Mandic, 2001) (G. Liu & Kreinovich, 2010) (Wefers, 2015).

У делу дисертације који се односи на развој модела *IoT* система за мерење буке у саобраћају истакнути су захтеви које један такав систем треба да испуни. Да би предложени модел остварио очекивани успех, био ефикасан и ефективан, треба да буде базиран на савременим и иновативним решењима нових технолошких достигнућа која одговарају захтевима и потребама корисника, превасходно грађанима у паметним градовима (Mun & Cho, 2009) (Licitra, Teti, Cerchiai, & Bianco, 2017) (Van Hauwermeiren, Filipan, Botteldooren, & De Coensel, 2021) (Heutschi, Bühlmann, & Oertli, 2016) (Van den Bossche et al., 2016) (Can, Dekoninck, & Botteldooren, 2014) (Sandberg, 2002) (Al-Rubaei, Shubber, & Jabar, 2019) (Al-Rubaei et al., 2019) (Mun & Cho, 2009). Анализа бројних радова претходила је развоју модела *IoT* система за мерење буке у саобраћају. Анализирани су системи за мерење буке у саобраћају применом мобилних и технологија интернета интелигентних уређаја (Rana et al., 2010) (Kanjo, 2010) (Stevens & D'Hondt, 2015) (Maisonnette et al., 2009) (Stevens & D'hondt, 2012) (Martí et al., 2012) (Capponi et al., 2019) (Rumpler, Venkataraman, & Göransson, 2020) (Noriega-Linares et al., 2016) (P. Huang, Zhang, Guo, & Li, 2019), системи за мерење буке у саобраћају применом crowdsensing техника (Kanjo, 2010; Rana et al., 2010; Stevens & D'Hondt, 2015) ("IoT Technology | 2018 Overview Guide on Protocols, Software, Hardware and Network Trends," 2018) (Rana et al., 2010) (Stevens & D'Hondt, 2015) (Kardous & Shaw, 2016; Miluzzo et al., n.d.; Roberts, Kardous, & Neitzel, 2016; Zipf Id, Primack, & Rothendler, 2020) и системи који користе *big data* технологије (Ajana, Khaddar, & Boulmalf, 2017) (Hossain, Muhammad, Alhamid, Song, & Al-Mutib, 2016) (Bhatt & Kankanhalli, 2011).

Код развоја модела *IoT* система за мерење буке у саобраћају приказано је моделирање архитектуре целокупног система (Gubbi, Buyya, Marusic, & Palaniswami, 2013) (Suciu et al., 2013) (Herring et al., 2009; Zandbergen & Barbeau, 2011), архитектура фиксне и мобилне *IoT* станице (Ferdoush & Li, 2014) (Koch, 2017; Lu, Ai, Zhang, & He, 2017), архитектура мобилне апликације (Oliveira & Castor, 2017), софтверске компоненте (X. Chen, Ji, Fan, & Zhan, 2017; Dharmapuri & Leidig, 2015; Galili, O'Callaghan, Sidi, & Sievert, 2018; Hu, 2012; Kontkanen & Parker, 2014; K. Król & Szomorova, 2015; Karol Król, 2016) (Eitzinger, Gruber, Afzal, Zeiser, & Wellein, 2019; Karol Król, 2016; Perttunen, Juntunen, Kostakos, & Ferreira, 2012), *cloud* инфраструктура (Dede, Govindaraju, Gunter, Canon, & Ramakrishnan, 2013; Gyorodi, Gyorodi, Pecherle, & Olah, 2015; Zhao, Huang, Liang, & Tang, 2013) (Punia Yogesh & Aggawal Rinkle, 2014) (Amghar, Cherdal, & Mouline, 2020; Haque, Mahmood, & Ikram, 2018), сервиси за *big data* аналитику (Meng et al., 2016) (Ghaffar, Tariq, Soomro, Shoro, & Tariq, 2015; Shanahan & Dai, 2015) (Meng et al., 2016; Salloum, Dautov, Chen, Peng, & Huang, 2016; Zaharia et al., 2016) и сервиси за калибрацију мобилне апликације (Garg, Lim, & Lee, 2019) (Jezdović, 2018).

Литературни наводи искоришћени су у сврху представљања разматраног проблема истраживања са циљем приказа досадашњих резултата примене *crowdsensing*-а, *IoT* и

мобилних технологија и *big data* аналитике чиме је указано на постојање потребе за развојем новог и иновативног модела *IoT* система за мерење буке у саобраћају.

3.3. ОПИС И АДЕКВАТНОСТ ПРИМЕЊЕНИХ НАУЧНИХ МЕТОДА

Методологија истраживања која је коришћена у докторској дисертацији обухвата различите научне методе. Опште научне методе коришћене у дисертацији су методе прикупљања и анализе постојећих научних достигнућа и резултата, затим аналитичко-дедуктивне и статистичке методе, док централно место имају методе моделирања. Методе моделирања коришћене у докторској дисертацији су методе развоја пословних модела, методе развоја софтвера и методе развоја хардвера. Оне су коришћене приликом развоја модела *IoT* система за мерење буке у саобраћају. Методе прикупљања и анализе постојећих научних резултата коришћене су приликом успостављања теоријског концепта паметних градова, примене *IoT* технологија у системима за мерење буке. Аналитичко-дедуктивне методе коришћене су приликом анализе постојећих система за мерење буке које користе *crowdsensing* технике, мобилне и *IoT* технологије и *big data* технологије. Статистичка метода је коришћена приликом мерења релевантних параметара и анализе добијених резултата експеримента. Помоћу стандардних статистичких метода извршено је мерење релевантних параметара и анализа добијених резултата.

Анализа резултата истраживања извршена је коришћењем квантитативних и квалитативних метода. Од квантитативних метода коришћене су статистичке методе. Квалитативне методе, које се користе, односе се на анализу садржаја. Резултати истраживања су презентовани текстуално, описивањем, и кроз више табела, слика и дијаграма са упоредним резултатима. Истраживање је интердисциплинарно, обухвата информатику, рачунарство, социологију, менаџмент и психологију.

На основу анализе докторске дисертације, може се закључити да примењене научне методе и технике по свом значају и структури одговарају теми дисертације и спроведеном истраживању.

3.4. ПРИМЕНЉИВОСТ ОСТВАРЕНИХ РЕЗУЛТАТА

Докторска дисертација пружа низ теоријских и практичних импликација.

Теоријски допринос првог дела истраживања је методолошки оквир и савремена инфраструктура система за мерење буке у саобраћају засновани на интернету интелигентних уређаја. Овај део истраживања доприноси постојећој литератури уводећи методолошки оквир који омогућава пројектовање и имплементацију, одабир локације, дана, интервала и дужине мерења за евалуацију развијеног прототипа система за мерење буке и развој модела *IoT* система за мерење буке у саобраћају. Теоријски доприноси истраживања у докторској дисертацији, допуњују постојећу литературу развојем модела *IoT* система за мерење буке у саобраћају и потребних сервиса. Предложени модел доприноси прикупљању, дистрибуцији и анализи података о буци у саобраћају у паметним градовима.

Теоријске импликације дате су у наставку:

- Први део истраживања доприноси разумевању потребе за мерењем буке у саобраћају и разумевању теоријског оквира мерења буке;
- Први део истраживања доприноси разумевању дигиталне обраде сигнала звука и буке;
- Предложени методолошки приступ одабир локације, дана, интервала и дужине мерења за евалуацију развијеног прототипа система за мерење буке;
- Развој модела *IoT* система за мерење буке у саобраћају.

Резултати првог дела истраживања и главног истраживања имају практични значај за јавну управу и администрацију и грађане.

Резултати првенствено имају за циљ да прикажу да је могуће вршити мерење буке у саобраћају коришћењем *IoT* и мобилних технологија, као и *crowdsensing* техника. На основу добијених информација систем предлаже методе за смањење нивоа буке у саобраћају градској управи и прослеђује персонализоване поруке намењене учесницима у саобраћају и грађанима паметног града. Развијени систем за мерење буке у саобраћају може се интегрисати с постојећим сервисима паметних градова.

Практичне импликације дате су у наставку:

1. За јавну управу и администрацију:

- Јавна управа требало би да користи информације добијене од стране развијеног *IoT* система како би увела одређене мере за смањење буке;
- Имплементирати податке добијене од стране развијеног система у постојеће системе паметног града попут паметног здравства;
- Јачање односа јавне управе са грађанима кроз примену нових услуга е-партиципације и колаборације;

2. За грађане:

- Коришћењем мобилне апликације и *crowdsensing* техника грађани директно доприносе систему;
- Коришћењем система и смањењем буке у паметним градовима директно се утиче на повећање квалитета живота грађана;
- Унапређују се и други системи паметног града попут паметног здравства;
- Директан увид у топлотне мапе на којима су приказани нивои буке у граду може утицати на избор дела града за живот.

3.5. ОЦЕНА ДОСТИГНУТИХ СПОСОБНОСТИ КАНДИДАТА ЗА САМОСТАЛНИ НАУЧНИ РАД

Области научног интересовања Ивана Д. Јездовића су *crowdsensing*, интернет интелигентних уређаја, мобилно рачунарство, интернет технологије, мерење буке, паметан саобраћај и електронско пословање. Стекао је значајно практично искуство у наставно-образовном процесу у високошколској установи.

У току израде докторске дисертације, кандидат Иван Д. Јездовић, потврдио је способност да самостално обавља научни рад, да сагледа проблем истраживања са више аспеката и креативно приступи његовом решавању. Кандидат поседује потребна стручна, теоријска и практична знања за самосталан рад, што је, осим у процесу израде докторске дисертације, показао и квалитетом и бројем објављених научних публикација. Иван Д. Јездовић је уочио главне недостатке и проблеме постојећих решења и спровео истраживање са циљем да се исти проблеми превазиђу. Свеобухватни и систематизовани преглед литературе из научно-истраживачког рада показује способност кандидата за самосталну анализу и решавање дефинисаних задатака, као и за критичко сагледавање постојећих практичних и теоријских решења из овог домена, што је резултовало развојем иновативног модела *IoT* система за мерење буке у саобраћају.

На основу наведеног, сматрамо да кандидат Иван Д. Јездовић поседује потребно знање и искуство за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕН НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. ПРИКАЗ ОСТВАРЕНИХ НАУЧНИХ ДОПРИНОСА

Најзначајнији допринос овог рада је развој система и предлог методолошког поступка за мерење буке у саобраћају применом интернета интелигентних уређаја са циљем да се редукује ниво буке у паметним градовима. Осим тога, допринос је и развој сервиса за добијање отворених података о измереној буци у градовима.

Научни доприноси резултата планираног истраживања огледају се у:

1. развоју *IoT* система за мерење буке у саобраћају;
2. формалном опису *IoT* система за мерење буке у саобраћају;
3. развијеном моделу *IoT* инфраструктуре система за мерење буке у саобраћају;
4. развијеном моделу *cloud computing* и *big data* инфраструктуре за чување и анализу отворених података о измереној буци у саобраћају;
5. анализи метода и развоју система за мерење буке у саобраћају;
6. анализи метода за редуковање и контролу буке у саобраћају;
7. моделу интеграције *IoT* система за мерење буке у саобраћају са сервисима паметног града;
8. развоју методолошких поступака за оцену перформанси система за мерење буке у саобраћају применом интернета интелигентних уређаја.

Стручни доприноси планираног истраживања огледају се у следећем:

1. утврђивање могућности развоја *IoT* система за мерење буке у саобраћају;
2. развој инфраструктуре интернета интелигентних уређаја за мерење буке у саобраћају употребом микрорачунара, микроконтролера и мобилних уређаја;
3. развој *cloud computing* и *big data* инфраструктуре за чување и анализу отворених података о измереној буци у саобраћају употребом одговарајућих софтверских алата;
4. прегледу и анализи технологија потребних за имплементацију система за мерење буке у саобраћају применом интернета интелигентних уређаја;
5. развоју методолошких поступака за систематизацију и обраду података о буци у саобраћају применом *big data* технологија;
6. утврђивању начина редуковања или елиминисања буке у саобраћају.

Друштвени доприноси резултата истраживања односе се на могућност решавања различитих друштвених проблема, од којих су најважнији:

1. афирмација увођења система мерења буке у саобраћају са циљем подизања нивоа свести грађана о факторима настанка буке у саобраћају и о штетности буке по здравље;
2. афирмација увођења *IoT* система мерења буке у саобраћају са циљем ефикаснијег спровођења активности праћења, редуковања и елиминисања буке у саобраћају;
3. афирмација примене *crowdsensing* техника у мерењу буке у саобраћају у циљу мотивисаности грађана за преузимање бриге о редуковању и елиминисању фактора настанка буке;
4. утврђивање потенцијала за унапређење сервиса паметних градова усвајањем *IoT* система мерења буке у саобраћају;
5. могућност коришћења резултата истраживања надлежних служби са циљем ефикаснијег спровођења превентивних активности и могућности праћења загађења буком.

5.1. КРИТИЧКА АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Кандидат је у докторској дисертацији развијао модел *IoT* система за мерење буке у саобраћају. Анализирана је обимна литература, развијене мобилне и фиксне станице за мерење буке као и мобилна апликација помоћу које се врши мерење буке користећи *crowdsensing* технике. Резултат истраживања је развијени методолошки оквир и одговарајућа *IoT* инфраструктура и сервиси који омогућавају прикупљање, дистрибуцију и анализу података о буци у саобраћају у паметним градовима.

Као додатак извршена је евалуација и примена развијеног *IoT* система. У фази експлоатације предложеног и имплементираног система неопходно је било прикупити податке о буци на одабраним локацијама, анализирати их и донети закључке. Предложена метода за процењивање критичности загађења буком верификована је експериментом на пет локација у центру Београда: Богословија, Булевар ослобођења, Студентски град, Војводе Степе и Јове Илића. Према Уредби о индикаторима буке, граничним вредностима, методама за оцењивање буке, узнемиравања и штетних ефеката буке у животној средини, дозвољени ниво буке у центру града, зонама поред аутопутева и градских путева је 65 dB. Мерења су извршена у периоду од 8. до 29. маја 2019. године, сваког дана у дефинисаним периодима дана. Подаци су прикупљени помоћу поменуте мобилне апликације од стране студената Факултета организационих наука, Универзитета у Београду. Пре него што је започет поступак прикупљања података, проверена је прецизност мерења развијене мобилне апликације. Апликација је инсталирана на телефонима студената и извршено је неколико пробних мерења. Такође, бука је мерена коришћењем и друге апликације за мерење буке која је доступна за *Android* уређаје. Одступања у мерењима преко две различите апликације су била мања од 5%, што је било прихватљиво за наставак истраживања.

Имплементацијом и евалуацијом предложеног модела оправдана су почетна истраживачка питања и циљеви докторске дисертације. Постављене хипотезе су оправдане како теоријским разматрањима, тако и експериментално кроз реализацију и примену предложеног модела. Поред остварених научних доприноса, дисертација садржи значајне резултате за ширу примену предложеног решења. Евалуација система је приказала значајне резултате, релевантне за научну и стручну заједницу, јавну управу и администрацију и грађане.

5.2. ВЕРИФИКАЦИЈА НАУЧНИХ ДОПРИНОСА

Резултати проистекли из рада на докторској дисертацији објављени су у истакнутом међународном часопису на *SCI* листи, као и у зборницима научних скупова са међународним и националним значајем.

Радови објављени у истакнутим међународним часописима (M20):

- [1] **Jezdović I.**, Popović S., Radenković M., Labus A., Bogdanović Z., A crowdsensing platform for real-time monitoring and analysis of noise pollution in smart cities, *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, Vol. 31, 2021, doi: 10.1016/j.suscom.2021.100588, issn: 2210-5379, IF(2020)=4.028, M21

Поглавље у монографији међународног значаја (M10):

- [1] Vojinović, I., Barać, D., **Jezdović, I.**, Labus, M., & Jovanović, F. (2017). An Approach to Designing IoT-Based Business Models. In P. Kocović, R. Behringer, M. Ramachandran, &

Зборници научних скупова од међународног значаја (M30):

- [1] **I. Jezdović**, A. Ivković, S. Matejić, „An application of Internet of things: Measuring traffic flow“, Zbornik radova na CD-u sa XV međunarodnog simpozijuma SymOrg 2016, pp. 396–401, 10-13. jun 2016, Zlatibor, ISBN 978-86-7680-326-2, M33.
- [2] **I. Jezdović**, N. Nedeljković, Z. Bogdanović, A. Labus, B. Radenković, „Smart Cities – System for Monitoring Microclimate Conditions based on Crowdsensing“, ICE-B 2017, pp. 108-115, 24-26. Jul 2017, Madrid, ISBN: 978-989-758-256-1, M33.
- [3] **I. Jezdović**, A. Ivković, „Development of an IoT system for fire-fighting in smart homes“, Zbornik radova na CD-u sa XVI međunarodnog simpozijuma SymOrg 2018, pp. 84-95, 07-10. jun 2018, Zlatibor, M33.

Зборници научних скупова од националног значаја (M60):

- [1] Z. Bogdanović, A. Labus, M. Radenković, **I. Jezdović**, L. Baljak, A model for crowdsensing data in smart cities, Modern science: current problems and development prospects (Современная наука: актуальные проблемы и перспективы развития), 08–14 May 2019, Njižni Novgorod, M63.
- [2] Đ. Knežević, M. Despotović-Zrakić, A. Labus, **I. Jezdović**, A. Ivković, „Pametna učionica: Razvoj pametnog novogodišnjeg osvetljenja“, Infoteh-Jahorina 2016, pp. 649–652, 16–18. mart 2016, Jahorina, ISBN 978-999-55-763-9-4, M63.
- [3] L. Petrović, **I. Jezdović**, Z. Bogdanović, M. Despotović-Zrakić, „Razvoj edukativne igre zasnovane na Internetu inteligentnih uređaja“, Infoteh-Jahorina 2017, pp. 506–509, 22–24. mart 2017, Jahorina, ISBN 978-99976-710-0-4, M63.

Часописи од националног значаја (M50):

- [1] **И. Јездовић**, С. Поповић, М. Раденковић, А. Лабус, З. Богдановић (2018). Систем за мерење буке у саобраћају у паметним градовима. ИнфоМ Часопис за информационе технологије и мултимедијалне системе, ISSN: 1451-4397, M53.
- [2] **I. Jezdović**, N. Nedeljković, L. Živojinović, B. Radenković, A. Labus, „Smart City: System for measuring noise pollution“, *Smart Cities and Regional Development Journal*, pp. 79–74, 2018, ISSN: 2537-3803, M50.
- [3] L. Petrović, **I. Jezdović**, D. Stojanović, Z. Bogdanović, M. Despotović-Zrakić, „Development of an educational game based on IoT“, *International Journal of Electrical Engineering and Computing*, pp. 36–45, 2017, ISSN: 2566-3682, M50.
- [4] L. Baljak, F. Filipović, **I. Jezdović**, A. Labus, „A system for crowdsensing vibration comfort in smart traffic“, *The IPSI BGD Transactions on Advanced Research*, Januar 2019, pp. 16–23, Vol. 15, No. 1, ISSN 1820-4511, M50
- [5] J. Mihajlović Milićević, F. Filipović, **I. Jezdović**, T. Naumović, M. Radenković, Scrum agile framework in E-Business project management: An approach to teaching scrum, *European Project Management Journal*, Vol. 9, No. 1, pp. 52–60, September 2019, M52

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Предмет ове докторске дисертације је развој *IoT* система за мерење буке у саобраћају. Најзначајнији допринос овог рада је развој система и предлог методолошког поступка за мерење буке у саобраћају применом интернета интелигентних уређаја са циљем да се редукује ниво буке у паметним градовима.

Поред тога, научни доприноси докторске дисертације су:

- развијени модел *IoT* инфраструктуре система за мерење буке у саобраћају;
- развијени модел *cloud computing* и *big data* инфраструктуре за чување и анализу отворених података о измереној буци у саобраћају;
- анализа метода и развој система за мерење буке у саобраћају;
- анализа метода за редуковање и контролу буке у саобраћају;
- модел интеграције *IoT* система за мерење буке у саобраћају са сервисима паметног града;
- развој методолошких поступака за оцену перформанси система за мерење буке у саобраћају применом интернета интелигентних уређаја.

Рад на овој дисертацији резултовао је и низом стручних доприноса од којих су најважнији:

- утврђивање могућности развоја *IoT* система за мерење буке у саобраћају;
- развој инфраструктуре интернета интелигентних уређаја за мерење буке у саобраћају употребом микрорачунара, микроконтролера и мобилних уређаја;
- развој *cloud computing* и *big data* инфраструктуре за чување и анализу отворених података о измереној буци у саобраћају употребом одговарајућих софтверских алата;
- прегледу и анализи технологија потребних за имплементацију система за мерење буке у саобраћају применом интернета интелигентних уређаја;
- развоју методолошких поступака за систематизацију и обраду података о буци у саобраћају применом *big data* технологија;
- утврђивању начина редуковања или елиминисања буке у саобраћају.

Кандидат Иван Д. Јездовић је у докторској дисертацији приказао оригиналне научне закључке, што је научно верификовано публикацијом рада у истакнутом међународном часопису категорије M21 као и на међународним и националним конференцијама.

С обзиром на постигнуте резултате, комплексност, актуелност и мултидисциплинарност обрађене теме, ова дисертација задовољава највише критеријуме и показује способност Ивана Д. Јездовића за научно-истраживачки рад.

На основу свега претходно изложеног, предлаже се Наставно-научном већу Факултета организационих наука да се докторска дисертација под називом „Развој *IoT* система за мерење буке у саобраћају“ кандидата Ивана Д. Јездовића, прихвати, изложи на увид јавности и, потом, упути на коначно усвајање Већу научних области техничко-технолошких наука Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

проф. др Зорица Богдановић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

проф. др Саша Лазаревић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

проф. др Александра Лабус, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

проф. др Вељко Јеремић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

проф. др Наташа Бојковић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

Београд, _____