

## 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		
1. Датум и орган који је именовано комисију Декан Факултета техничких наука на основу одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука; Решење број 012-199/6-2022 дана 26.01.2023.		
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:		
1.	<b>Др Дејан Вукобратовић,</b>	Редовни професор
	име и презиме	звање
	Телекомуникације и обрада сигнала, (01.04.2019)	ужа научна област и датум избора
	Факултет техничких наука, Нови Сад	Председник
	установа у којој је запослен	функција у комисији
2.	<b>Др Небојша Дончов</b>	Редовни професор
	име и презиме	звање
	Телекомуникације, (23.12.2013)	ужа научна област и датум избора
	Електронски факултет, Ниш	Члан
	установа у којој је запослен	функција у комисији
3.	<b>Др Стеван Станковски,</b>	редовни професор
	име и презиме	звање
	Мехатроника, роботика и аутоматизација (05.04.2005)	ужа научна област и датум избора
	Факултет техничких наука, Нови Сад	Члан
	установа у којој је запослен	функција у комисији
4.	<b>Др Иван Мезен</b>	ванредни професор
	име и презиме	звање
	Електроника (20.12.2022)	ужа научна област и датум избора
	Факултет техничких наука, Нови Сад	Члан
	установа у којој је запослен	функција у комисији
5.	<b>Др Горан Стојановић</b>	редовни професор
	име и презиме	звање
	Електроника, 21.10.2015.	ужа научна област и датум избора
	Факултет техничких наука, Нови Сад	Ментор
	установа у којој је запослен	функција у комисији

<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Сохаил, Саранг</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 21.06.1992, Тхарпаркар, Пакистан</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Инжењерски факултет, Технолошки универзитет у Петронасу Малезија, Одсек за електротехнику и електронику, магистар електротехнике и електронике</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2019, Енергетика, електроника и телекомуникације</p>
<p><b>III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b> Prediction based Adaptive Duty Cycle MAC Protocol for Solar Energy Harvesting Wireless Sensor Networks / MAC протокол адаптивног фактора испуне заснован на предвиђању у бежичним сензорским мрежама са прикупљањем соларне енергије</p>
<p><b>IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b> Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.</p> <p>Докторска дисертација под насловом <i>Prediction based Adaptive Duty Cycle MAC Protocol for Solar Energy Harvesting Wireless Sensor Networks</i> / MAC протокол адаптивног фактора испуне заснован на предвиђању у бежичним сензорским мрежама са прикупљањем соларне енергије написана је на 117 страница и састоји се од 5 поглавља. Дисертација садржи 58 слика, 8 табела и 120 референци. На страницама 5-6 представљен је садржај дисертације; стране 7-9 дају признања и списак публикација и награда; на странама 10-12 дат је списак слика, а на страни 13 је дат списак табела које се користе у дисертацији. Затим следе сажетак, листа скраћеница и симболи који су дати на странама 14, 15-16, односно 17-18. Поред тога, докторска дисертација садржи следећа поглавља:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Увод</li> <li>2. Преглед литературе</li> <li>3. Методологија истраживања</li> <li>4. Резултати и дискусија</li> <li>5. Закључак и будући рад</li> </ol> <p>На крају је дата листа референци.</p>
<p><b>V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b> Наслов докторске дисертације је добро формулисан и јасно описује истраживачке доприносе. <b>Поглавље 1 (Увод)</b> објашњава област истраживања где је представљен исказ проблема. Прате га истраживачки циљеви докторске дисертације. Проблем се јавља због променљивих временских услова у бежичним сензорским мрежама за прикупљање енергије (<i>energy harvesting wireless sensor networks</i> - EH-WSNs), а то покреће развој решења за прикупљање енергије за EH-WSNs, на пример, протокол адаптивне контроле приступа медијуму (<i>medium access control</i> - MAC), који је јасно дефинисан. Према том разматрању изложена је основна идеја, проблем и предмет истраживања, циљ истраживања, као и значај и допринос докторске дисертације.</p> <p><i>Чланови комисије су сагласни да је проблем истраживања докторске дисертације добро описан. Штавише, циљеви истраживања и доприноси су јасно и концизно дефинисани и представљени.</i></p> <p><b>Поглавље 2 (Преглед литературе)</b> даје преглед основних аспеката WSNs и EH-WSNs. Затим се детаљно разматра структура сензорског чвора, типови комуникације, извори прикупљања енергије и алтернативе дизајна. Даље, описан је значај предвиђања енергије и алгоритама машинског учења у EH-WSNs. Затим су детаљно описани MAC протоколи за EH-WSNs.</p>

Штавише, предузета је детаљна студија о MAC протоколима за EH-WSNs у односу на процес иницијације која укључује карактеристике дизајна постојећих MAC протокола заснованих на прикупљеној енергији. Коначно, детаљно је дат резиме постојећих MAC протокола и њихова ограничења, што мотивише развој нових и реалистичнијих MAC протокола за EH-WSNs.

*Комисија сматра да приказани преглед стања у литератури јасно указује на актуелност истраживања. Поред тога, поглавље указује на тренутно стање у истраживању постојећих MAC протокола за EH-WSNs, као и на њихова ограничења. Стога, потреба за реалистичнијим и енергетски свеснијим MAC протоколима за EH-WSNs је у потпуности јасно наведена и концептуално оправдана.*

**Поглавље 3 (Методологија истраживања)** описује нови и реалистичнији MAC протокол заснован на предвиђању инициран пријемником, назван PADC-MAC (*prediction-based receiver-initiated* MAC). Прво, детаљно је дат комуникацијски преглед предложеног MAC протокола. Развијени протокол представља иновативни модел предвиђања, назван модел нелинеарне ауторегресивне неуронске мреже (*nonlinear autoregressive neural network - NARNET*), који користи стварне податке о сунчевом зрачењу које мери Национална лабораторија за обновљиву енергију (*National Renewable Energy Laboratory - NREL*) током 19 узастопних месеци да би се предвидела долазна прикупљена енергија. Затим, PADC-MAC предлаже математичку формулу која поставља радни циклус пријемника. Радни циклус пријемника одговара тренутној и долазној прикупљеној енергији добијеној коришћењем модела предвиђања. Поред тога објашњава се техника самоприлагођавања. Затим је представљен са моделом потрошње енергије, MAC метриком перформанси, симулацијом мреже и постављен у *GreenCastalia*.

*Комисија се слаже да је методологија истраживања добро описана и да јасно представља карактеристике дизајна предложеног PADC-MAC протокола. Штавише, поглавље пружа довољно детаља о подешавању симулације и њеној имплементацији у мрежном симулатору.*

**Поглавље 4 (Резултати и дискусија)** представља процену перформанси предложеног NARNET модела и његово поређење са EWMA и стварним подацима у условима динамичке жетве. Друго, приказана је процена перформанси предложеног PADC-MAC протокола, који укључује резултате предвиђања енергије добијене коришћењем NARNET модела у *GreenCastalia* симулатору у условима високог и ниског соларног сакупљања. Коначно, симулација резултира просечним кашњењем за пакет највишег приоритета и све пакете, однос испоруке пакета, пропусност мреже, потрошња енергије по биту, потрошња енергије пријемника и укупна потрошња енергије мреже се разматрају и упоређују са три постојећа MAC протокола, за EH-WSNs, односно QPPD-MAC, QAEE-MAC, и EEM-MAC.

*Комисија се слаже да су резултати евалуације учинка и дискусија добро представљени и логично описани. Штавише, резултати перформанси се изводе под динамичким условима прикупљања енергије и детаљно упоређују три постојећа протокола за EH-WSNs.*

**Поглавље 5 (Закључак и будући рад)** резимира резултате истраживања и пружа предлог будућег рада.

*Комисија сматра да су сва поглавља докторске дисертације добро презентована и да представља научни допринос области енергетике, електронике и телекомуникације. Стога је оцена комисије позитивна.*

## **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

Кандидат је током докторских студија објавио следеће радове:

• **Радови у међународним часописима изузетних вредности (M21a)**

1. Kasyap Suresh, Varun Jeoti, Micheal Driberg, Socheatra Soeung, Asif Iqbal, Goran M Stojanović, **Sohail Sarang**, "Simultaneous detection of multiple surface acoustic wave sensor-tags for water quality monitoring utilizing cellular code-reuse approach", IEEE Internet of Things Journal, vol. 9, 16, pp.1-16, 2021. (IF: 9.471)

• **Радови у истакнутим међународним часописима (M22)**

1. **Sohail Sarang**, Goran M Stojanović, Micheal Driberg, Stevan Stankovski, Kishore Bingi, Varun Jeoti, "Machine Learning Prediction based Adaptive Duty Cycle MAC Protocol for Solar Energy Harvesting Wireless Sensor Networks", IEEE Access (Early Access), 2023, pp. 1-21, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3246108>, (IF: 3.367)
2. Radomir Prodanović, Dejan Rančić, Ivan Vulić, Nenad Zorić, Dušan Bogičević, Gordana Ostojić, **Sohail Sarang**, Stevan Stankovski, "Wireless sensor network in agriculture: Model of cyber security", Sensors, 20, no. 23, pp.1-22,2020. (IF: 3.847)
3. Akhil Chandran Mukkattu Kuniyil, Janez Zavašnik, Željka Cvejić, **Sohail Sarang**, Mitar Simić, Vladimir V Srdić, Goran M Stojanović, "Performances and Biosensing Mechanisms of Interdigitated Capacitive Sensors Based on the Hetero-mixture of SnO<sub>2</sub> and In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>", Sensors, 20, no.21, pp.1-13, 2020. (IF: 3.847)
4. Radomir Prodanović, **Sohail Sarang**, Dejan Rančić, Ivan Vulić, Goran M Stojanović, Stevan Stankovski, Gordana Ostojić, Igor Baranovski, Dušan Maksović, Trustworthy Wireless Sensor Networks for Monitoring Humidity and Moisture Environments, Sensors, 21, no.11, pp.1-24, 2021. (IF: 3.847)
5. Sakib, Aan Nazmus, Micheal Driberg, **Sohail Sarang**, Azrina Abd Aziz, Nguyen Thi Thu Hang, and Goran M. Stojanović. "Energy-Aware QoS MAC Protocol Based on Prioritized-Data and Multi-Hop Routing for Wireless Sensor Networks", Sensors, 22, no. 7, pp. 1-25, 2022. (IF: 3.847)
6. Anika Mansura, Micheal Driberg, Azrina Abd Aziz, Vandana Bassoo and **Sohail Sarang**, "An energy balanced and nodes aware routing protocol for energy harvesting wireless sensor networks", Peer-to-Peer Networking and Applications, 15, pp. 1255–1280, 2022. (IF: 3.488)
7. Trinh C Nguyen, Hai-Chau Le, **Sohail Sarang**, Micheal Driberg, and Thu-Hang T Nguyen, "Priority and Traffic-Aware Contention-Based Medium Access Control Scheme for Multievent Wireless Sensor Networks", IEEE Access, no. 10, pp. 87361-87373, 2022. (IF: 3.367)
8. Guruswamy, Selvakumar, Milica Pojić, Jayashree Subramanian, Jasna Mastilović, **Sohail Sarang**, Arumugam Subbanagounder, Goran Stojanović, and Varun Jeoti. "Toward Better Food Security Using Concepts from Industry 5.0." Sensors 22, no. 21, pp. 1-24, 2022. (IF: 3.847)

• **Радови у међународним часописима (M23)**

1. **Sohail Sarang**, Goran M. Stojanović, Stevan Stankovski, Željen Trpovski, Micheal Driberg, "Energy-Efficient Asynchronous QoS MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2020, pp.1-13, 2020. (IF: 2.146)
2. Akhil Chandran MK, Branimir Bajac, Gregor Filipič, Željka Cvejić, Vladimir Srdić, Milan Radovanović, Mitar Simić, **Sohail Sarang**, Goran Stojanović, "Synthesis and Characterization of Tin Oxide Nanopowder and Its Application to Sensing Different Pathogens", Sensors and Materials, 33, no.5, pp. 513–527, 2021. (IF: 0.759)

• **Радови на високо рангираној међународној конференцији (M33)**

1. **Sohail Sarang**, Goran M Stojanović, Micheal Driberg, Stevan Stankovski, and Varun Jeoti

"Energy Neutral Operation based Adaptive Duty Cycle MAC Protocol for Solar Energy Harvesting Wireless Sensor Networks" accepted in 2022 IEEE 95<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference: VTC2022-Spring, Helsinki, Finland 19 - 22 June 2022, pp. 1-6.

*Чланови комисије су сагласни да неки од објављених радова већ потврђују научни допринос докторске дисертације из области.*

#### **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА**

У овој докторској дисертацији, за EH-WSNs је предложен нови и реалистичнији MAC протокол адаптивног радног циклуса заснованог на предвиђању. На основу добијених резултата могу се извести следећи закључци:

Предложени PADC-MAC протокол прати приступ који је иницирао пријемник, који је широко коришћен приступ у дизајнирању MAC протокол за EH-WSNs. Пријемник успоставља комуникацију тако што емитује сигнал за буђење који садржи радни циклус пријемника, и који се мења у складу са условима прикупљања енергије. Ово ефективно доприноси развоју решења за EH-WSNs која су свесна прикупљања енергије. Поред тога, да би се решила динамичка стопа жетве услед динамичких временских услова, предложени протокол користи знање о будућем уносу енергије добијено из модела предвиђања енергије за прилагођавање радног циклуса. Као резултат, ефикасно се користи прикупљена енергија за подршку примарним циљевима EH-WSNs: ефикасно коришћење прикупљене енергије за побољшање перформанси апликације.

Даље, уведена је техника самоприлагођавања како би се ублажило слушање у стању мировања сукобљених пошиљалаца ради уштеде енергије у мрежи. Штавише, развијени протокол разматра QoS кроз диференцијацију саобраћаја обезбеђујући најниже кашњење за пакете највишег приоритета у поређењу са мање критичним пакетима података, како би подржао апликацију која генерише различите пакете података у мрежи. На основу резултата перформанси и њиховог поређења са три најсавременија протокола, закључује се да је развијени PADC-MAC протокол показао боље перформансе у односу на друге протоколе под динамичким условима жетве.

#### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**

*Комисија констатује да је спроведено истраживање пажљиво планирано и систематски спроведено, у складу са темом дисертације. Штавише, налази истраживања су интерпретирани коректно и објективно. Дакле, оцена комисије је позитивна. Докторска дисертација је проверена на плагијаризам у софтверу за плагијаризам (iThenticate). На основу резултата, комисија је закључила да је докторска дисертација оригинално дело и ауторски рад кандидата Сохаил Саранга.*

#### **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  
*Дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.*

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе  
*Докторска дисертација својим насловом, садржајем, резултатима истраживања и начином тумачења тих резултата садржи све битне елементе који се захтевају за радове овакве врсте.*

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци  
Технологија прикупљања енергије је обећавајуће решење за напајање сензора користећи изворе енергије из амбијенталног окружења. Међутим, динамични временски услови доводе до неизвесности у стопама жетве. Да би се решио овај проблем, у дисертацији је представљен нови и реалистичнији MAC протокол адаптивног радног циклуса заснованог на предвиђању за EH-WSNs. PADC-MAC укључује будућу прикупљену енергију добијену из NARNET модела машинског учења за планирање доступне енергије. Као резултат тога, пријемник поставља свој радни циклус на основу предвиђене долазне прикупљене енергије како би побољшао перформансе мреже. Штавише, развијени протокол подржава диференцијацију саобраћаја и омогућава пријемном чвору да ради агресивније када има довољан прилив долазне прикупљене енергије ради смањења кашњења пакета. Поред тога,

уведена је техника самоприлагођавања како би се ублажило слушање у стању мировања сукобљених пошиљалаца ради очувања енергије. Перформансе развијеног протокола се процењују коришћењем различитих параметара под динамичким условима жетве и упоређују се са постојећом три најсавременија MAC протокола за EH-WSNs. У оба сценарија, PADC-MAC показује значајно смањење просечног кашњења и постиже бољу енергетску ефикасност. Стога се закључује да PADC-MAC ефикасно доприноси примарном циљу EH-WSNs -а, односно ефикасном коришћењу прикупљене енергије за побољшање перформанси апликације.

*На основу наведених прилога и објављених радова у рецензираним часописима, докторска дисертација представља оригиналан допринос науци.*

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

*Важно је напоменути да се перформансе предложеног PADC-MAC протокола процењују за сценарио једног скока коришћењем симулације у условима динамичког прикупљања енергије. Према томе, резултати процене перформанси могу да варирају коришћењем стварних поља за тестирање у условима динамичког прикупљања енергије.*

#### **X ПРЕДЛОГ:**

*На основу укупне оцене дисертације, комисија констатује да резултати представљени у докторској дисертацији кандидата Сохаил Саранга под насловом "Prediction based Adaptive Duty Cycle MAC Protocol for Solar Energy Harvesting Wireless Sensor Networks" испуњавају услове да кандидат има јавну одбрану. Стога, комисија предлаже:*

- да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана
- да се докторска дисертација враћа кандидату на дораду (да се допуни односно измени) или
- да се докторска дисертација одбија

Место и датум: Нови Сад, 10.03.2023.

#### ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

1. **Др Дејан Вукобратовић**, Редовни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад  
\_\_\_\_\_, председник
2. **Др Небојша Дончов**, Редовни професор,  
Електронски факултет, Ниш  
\_\_\_\_\_, члан
3. **Др Стеван Станковски**, Редовни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад  
\_\_\_\_\_, члан
4. **Др Иван Мезеи**, ванредни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад  
\_\_\_\_\_, члан
5. **Др Горан Стојановић**, Редовни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад  
\_\_\_\_\_, ментор

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.