

Универзитет у Београду
Електротехнички факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Оцена научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Хариса Туркмановића

Одлуком бр. 272/21 од 11.02.2025. године донетој на 904. седници Изборног и Наставног-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Хариса Туркмановића, под насловом: „Оптимизација процене стања напуњености батерије у наменским рачунарским системима“ (енг. *Optimization of Battery State Of Charge Estimation in Embedded Systems*)

На основу материјала приложеног уз захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Харис Туркмановић је рођен 21.05.1995. године у Пријеполју. Основну школу завршио је у Новој Вароши као носилац дипломе „Вук Караџић“. Након завршене основне школе уписује гимназију „Пиво Караматијевић“ у Новој Вароши коју завршава 2014. године, такође као носилац дипломе „Вук Караџић“.

Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписао је 2014. године. Након завршене прве године опредељује се за модул Електроника на коме и дипломира у септембру 2018. године са просечном оценом 9.02. Под менторством проф. др Лазара Сарановца, са оценом 10 одбранио је дипломски рад под називом „Имплементација функција за праћење тока извршавања програма у FreeRTOS оперативном систему“.

Након завршених основних академских студија, 2018. године уписује мастер академске студије на катедри за електронику Електротехничког факултету Универзитета у Београду. Након годину дана завршава мастер академске студије са просечном оценом 10. Мастер рад, под називом „Реализација симулатора за анализу скалабилности и перформанси дистрибуираних наменских система“, одбранио је са оценом 10 под менторством проф. др Ивана Поповића.

На Електротехничком факултету Универзитета у Београду 2019. године уписује докторске академске студије када и започиње своје научно истраживање. У току досадашњег истраживачког рада у оквиру докторских студија, започео је две области истраживања у вези са наменским рачунарским система:

- (1) мрежни наменски рачунарски системи
- (2) батеријски напајани наменски рачунарски системи

У оквиру наведених области истраживања објавио је три рада у научним часописима међународног значаја, девет конференцијских радова, један рад у часопису националног значаја и једно техничко решење. У току докторских студија са просечном оценом десет положио је десет предмета предвиђених планом и програмом по акредитацији 2013.

У току основних академских студија, у школској 2018/19, први пут је ангажован на Електротехничком факултету као студент демонстратор при катедри за електронику. На истој катедри, након уписа мастер академских студија школске 2019/20, продужава звање демонстратора за трајања једног (јесењег) семестра, а затим је од 01.02.2019. године и запослен на Електротехничком факултету Универзитета у Београду као сарадник у настави. Од 21. фебруара 2020. године први пут је изабран у звање асистента.

У току досадашњег ангажовања на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, Харис Туркмановић је објавио један универзитетски уџбеник и учествовао на два међународна пројекта, једном научном и једном комерцијалном пројекту.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је током докторских академских студија на Електротехничком факултету Универзитета у Београду (модул Електроника) активно учествовао у научним истраживањима која су резултовала полагањем следећих испита:

Шифра	Назив предмета	Наставник	Оцена	ЕСПБ
19Д041ПИП	Пројектовање и примена паметних сензора	проф. др Иван Поповић	10	9
19Д041МНС	Мрежни наменски системи	проф. др Иван Поповић	10	9
19Д031МСКС	Моделовање саобраћаја у М2М комуникационим системима	проф. др Дејан Драјић	10	9
19Д041ПНР	Пројектовање наменских рачунарских система	проф. др Лазар Сарановац	10	9
19Д031ТТС	Теорија телекомуникационог саобраћаја	проф. др Зоран Чича	10	9
19Д091ЕЈ	Енглески језик	проф. др Милош Ђурић	10	9
19Д041ППС	Примена програмабилних система на чипу	проф. др Владимир Рајовић	10	9
19Д031СТМ	Синхронизација у телекомуникационим мрежама	проф. др Зоран Чича	10	9
19Д041ССИ	Сензорски системи и специјална инструментација	проф. др Владимир Рајовић	10	9
19Д051СДМУ	Системи за дистрибуирано мерење и управљање	проф. др Александар Ракић	10	9

Кандидат је испунио све обавезе предвиђене наставним планом и програмом докторских студија:

Назив обавезе	ЕСП
Научно стручни рад	3
Студијски истраживачки рад I	15
Студијски истраживачки рад II	15

У току досадашњег истраживачког рада кандидат је био коаутор једног универзитетског уџбеника, 3 рада објављена у часописима са импакт фактором, 9 конференцијских радова, једног рада објављеног у часопису од националног значаја и једног техничког решења:

Књиге и монографије

- И. Поповић, Х. Туркмановић, Наменски рачунарски системи за рад у реалном времену, Електронско издање, Електротехнички факултет у Београду, 2023, ISBN: 978-86-7225-091-6

Категорија М20 - Радови објављени у научним часописима међународног значаја:

- M20.1. **Н. Turkmanović**, I. Popović, V. Rajović, "Toward Energy Efficient Battery State of Charge Estimation on Embedded Platforms," *Electronics*, Vol. 13, No. 21, Oct. 2024, doi: 10.3390/electronics13214256 (IF: 2.9, M22)
- M20.2. **Н. Turkmanović**, M. Marličić, V. Rajović, I. Popović, "High Performance Software Architectures for Remote High-Speed Data Acquisition, *Electronics*," *Electronics*, Vol. 12, No. 20, Oct. 2023, doi: 10.3390/electronics12204206 (IF: 2.9, M22)
- M20.3. **Н. Turkmanović**, I. Popović, D. Drajić, Z. Čiča, "Green computing for IoT – software approach," *Facta Universitatis – Series: Electronics and Energetics*, Vol. 35, No. 4, pp. 541 - 555, Dec. 2022, doi: 10.2298/FUEE2204541T (IF: 0.6, M22)

Категорија М30 – Зборници међународних научних скупова:

- M30.1. **Н. Turkmanović**, D. El Mezeni, Z. Čiča, L. Saranovac, "Distributed Simulation Framework for Assessing Multipath Transport Protocols," *32nd Telecommunications Forum (TELFOR)*, Belgrade, Serbia, Nov. 2024, doi: 10.1109/TELFOR63250.2024.10819132. (M33)
- M30.2. V. Denić, **Н. Turkmanović**, I. Popović, "Implementation of Extended Kalman Filter for Battery State of Charge Estimation on an Embedded Platform," *32nd Telecommunications Forum (TELFOR)*, Belgrade, Serbia, Nov. 2024, doi: 10.1109/TELFOR63250.2024.10819130. (M33)
- M30.3. **Н. Turkmanović**, D. E. Mezeni, V. L. Petrović, L. Saranovac, "Profiling of GNU Radio DVB-S2X transmitter using multi-core CPU and hardware accelerators," *30th Telecommunications Forum (TELFOR)*, Belgrade, Serbia, Nov. 2022, doi: 10.1109/TELFOR56187.2022.9983695. (M33)
- M30.4. M. Prokin, **Н. Turkmanović**, D. Prokin, "IoT Over 4G/3G/2G Mobile Networks," *11th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, Budva, Montenegro, Jun 2022, doi: 10.1109/MECO55406.2022.9797163. (M33)
- M30.5. **Н. Turkmanović**, I. Popović, Z. Čiča, D. Drajić, "Simulation framework for performance analysis in multi-tier IoT Systems," *29th Telecommunications Forum (TELFOR)*, Belgrade, Serbia, Nov. 2021, doi: 10.1109/TELFOR52709.2021.9653170. (M33)
- M30.6. **Н. Turkmanović**, I. Popović, D. Drajić, Z. Čiča, "Launching Real-time IoT Applications on Energy-aware Embedded Platforms," *15th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications (TELSIKS)*, Nis, Serbia, October 2021, doi: 10.1109/TELSIKS52058.2021.9606395. (M33)
- M30.7. **Н. Turkmanović** and I. Popović, "A systematic approach for designing battery management system for embedded applications," *Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)*, Novi Sad, Serbia, May 2021, doi: 10.1109/ZINC52049.2021.9499253. (M33)
- M30.8. **Н. Turkmanović**, F. Mijušković, I. Popović, „Exploring the limits of hardware/software co-design”, *6th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2019*, Srebrno Jezero, Serbia, Jun. 2019, ISBN 978-86-7466-785-9 (M33)
- M30.9. **Н. Turkmanović**, D. Vukoje, A. Lekić, M. Prokin, „Using assembly language for creating games“, *5th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2018*, Palić, Serbia, Jun. 2018, ISBN 978-86-7466-752-1(M33)

Категорија М50 – Часописи националног значаја:

- M50.1. **Н. Turkmanović**, I. Popović, Z. Čiča, D. Drajić, "Simulation environment for scalability and performance analysis in hierarchically organized IoT Systems," *Telfor Journal*, Vol. 14, No. 2, pp. 85 - 90, Dec. 2022, doi: 10.5937/telfor2202085T (M53)

Категорија М80 – Техничка и развојна окружења:

- M80.1. **Н. Turkmanović**, I. Popović, D. Drajić, Z. Čiča, Simulaciono okruženje za analizu performansi IoT sistema, Beograd, 2022, (M85)

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Дана 11.03.2025. године, кандидат Харис Туркмановић је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду је имао јавни усмени испит о подобности теме докторске дисертације, пред Комисијом у саставу:

- Др Лазар Сарановац, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду
- Др Жељко Ђуровић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду
- Др Петар Лукић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду.

Комисија је излагање кандидата оценила оценом **задовољно**.

На основу приказа резултата досадашњег рада кандидата на докторском испиту, и узимајући у обзир целокупну поднету документацију, Комисија сматра да је кандидат стекао неопходно искуство за научно-истраживачки рад, као и да је способан за самосталан рад на изради докторске дисертације и остваривање резултата који могу бити вредновани од стране међународне научне заједнице. На основу претходно наведеног, комисија сматра да је кандидат подобан за рад на предложеној теми.

2. Предмет и циљ истраживања

Паметни уређаји заступљени су у различитим областима савремене индустрије и свакодневног живота, и могуће је закључити да ће се тренд заступљености паметних уређаја у различитим областима индустрије и свакодневног живота наставити и у будућности [1,2]. Централни део паметних уређаја, са становишта имплементације, чине наменски рачунарске системи. Пројектовање софтвера за ове уређаје представља велики изазов, јер наменски рачунарске системи поседују значајно ограничене ресурсе. Многе области у којима се примењују паметни уређаји, као што су медицински уређаји, дронови и разни ИоТ системи, захтевају да они буду батеријски напајани. Ограниченост таквих система у смислу количине доступне енергије представља додатни изазов при њиховом пројектовању.

Функционалност софтвера, али и различитих хардверских компоненти батеријски напајаних наменских рачунарске система, у доброј мери је условљена тренутном количином доступне енергије која се складишти у батерији. Са становишта хардвера, у случају када батеријски напајан систем користи литијумске батерије, информација о стању напуњености батерије је важна како би се спречиле нежељене последице узроковане пренапуњеношћу или критично малом напуњеношћу батерије [3]. Са становишта софтвера, информација о напуњености батерије је битна како би се предвидело преостало оперативно време уређаја, и одредио термин замене или пуњења

батерије. Дакле, тренутна вредност о стања напуњености батерије представља кључну информацију за неометан и исправан рад батеријски напајаних наменских система.

До сада су развијени различити алгоритми за процену стања напуњености батерије [4-6]. Објављени радови који се баве анализом алгоритама за процену стања напуњености батерије пружају информације о перформансама у смислу тачности процене [7-10]. Иако се ова истраживања не баве анализом потрошње у случају примене на наменским рачунарским системима, њихов значај се огледа у томе што су показала да алгоритми који користе електричне моделе батерија могу постићи добар компромис између остварене тачности и рачунарске комплексности [11,12], што је изузетно важно када је потребно вршити процену напуњености батерије у реалном времену и у случају система са релативно малом потрошњом.

Проширени Калманов филтар (ПКФ), који користи електрични модел батерије, је најчешће коришћени алгоритам [13]. Иако овај алгоритам има велики потенцијал за имплементацију на наменским платформама [14, 15], мали број истраживања се бавио анализом перформанси овог естиматора у погледу енергије која се троши у сврху процене напуњености батерије када је имплементиран на наменској рачунарској платформи. Ова анализа је важна у случају када је алгоритам потребно имплементирати на платформама које би требало да ефикасно користе ограничену количину доступне енергије, али не по цену смањене тачности процене напуњености.

Предмет истраживања ове докторске дисертације представљају анализа, имплементација и квантификовање различитих техника које се могу искористити за оптимизацију процене напуњености батерије у смислу потрошње енергије која одлази на процену и искоришћености рачунарских ресурса. Полазну тачку истраживања представљаће анализа различитих електричних модела литијумских батерија са становишта рачунарске комплексности и остварене тачности процене. Као резултат ове анализе, биће идентификовани модели батерије који се могу применити у процени напуњености батерије на платформама ограничених ресурса као што су батеријски напајани наменски рачунарски системи. Како би се извршило тестирање ових модела и квантификација перформанси алгоритма, који користи ове моделе, у погледу тачности процене и потребних рачунарских ресурса, у оквиру овог истраживања биће анализиран и имплементиран ПКФ који, на основу изабраног електричног модела батерије, врши процену напуњености батерије [16]. Како је ПКФ рекурзивни алгоритам, у оквиру овог истраживања биће анализиран утицај периоде позивања ПКФ-а на потрошњу енергије и остварену тачност процене, како би се за задате карактеристике система и одабрани критеријум оптимизације одредила оптимална учестаност позивања алгоритма. Овај начин оптимизације би требало да омогући да се за задату тачност постигне минимална потрошња енергије која се троши на процену тачности, што је нарочито важно у режимима рада наменског рачунарског система који подразумевају мале струје потрошње [17]. Поред оптимизације која се односи на уштеду енергије, биће разматране и различите методе оптимизације софтвера, како би се постигло минимално коришћење рачунарских ресурса у смислу времена извршавања ПКФ и количине потребне меморије платформе на којој се извршава ПКФ.

Циљ ове докторске дисертације представља дефинисање технике за оптималну процену напуњености батерије, која узима у обзир тренутне енергетске захтеве наменског система, рачунарску комплексност модела, захтевану тачност процене и особине система на коме се процена врши. Техника, која ће бити дефинисана у овој

докторској дисертацији, би требало да на основу тренутне вредности напона и струје батерије, као и параметара електричног модела батерије, омогући процену тренутне вредност напуњености батерије уз што мање коришћење рачунарских и енергетских ресурса платформе на којој се врши процена. У току рада, батеријски напајани наменски рачунарски системи могу имати различите енергетске захтеве, који или омогућавају потпуно коришћење ресурса платформе у циљу постизања што тачније процене, или ограничавају коришћење ресурса како би се уштедела енергија која се на процену троши, уз прихватљиво смањење тачности процене. Техника која ће бити дефинисана у овој докторској дисертацији би требало да, за време рада система, омогући адаптирање на различите енергетске захтеве платформе на којој се врши процена напуњености батерије.

Главни значај овог истраживања се огледа у томе што ће у оквиру њега прво бити сагледани недостаци тренутних приступа и техника за процену напуњености батерије код наменских рачунарских система, у домену искоришћености енергетских и рачунарских ресурса. Поред тога, у оквиру овог истраживања биће анализиран ПКФ, који користи електричне моделе литијумских батерија различитих комплексности, са становишта времена извршавања и коришћених ресурса у случају када је ПКФ имплементиран на наменској рачунарској платформи. Пројектовање софтвера за батеријски напајане системе представља изазован задатак уколико је потребно постићи што већу аутономију уређаја и што бољу искоришћеност доступних ресурса. Уколико би постојала техника која омогућава процену напуњености батерије, коју је могуће имплементирати у форми софтвера који ефикасно користи могућности процесора, доступну меморију и енергију, пројектантима софтвера батеријски напајаних система би се омогућила већа флексибилност приликом пројектовања осталих функционалности софтвера.

У оквиру овог истраживања биће неопходно спровести велики број експеримената пуњења и пражњења батерије, у циљу одређивања параметара батерије и емуляције потрошње приликом различитих режима рада наменских рачунарских система. У општем случају, ови експерименти могу бити веома компликовани због тога што је потребно користити разноврсну некомпатибилну опрему чија употреба захтева доста вештине али има и значајна функционална ограничења. Како би се поједноставили експерименти, у оквиру овог истраживања биће развијен скуп хардверских и софтверских компоненти обликованих у форму мерног система, који ће омогућити мерење напона и струје батерије са релативно високим учестаностима одабирања, генерисање различитих временских облика струје потрошње који емулирају потрошњу правих система, и аутоматизовану екстракцију параметара батерије. Постојање оваквог мерног система поједноставиће одређивање параметара модела батерије и даље истраживање у области развоја и евалуације техника за процену напуњености батерија. У случају истраживања везаног за ову докторску дисертацију, овај мерни систем ће омогућити анализу утицаја периоде позивања ПКФ на процену тачности и потрошњу енергије у ширем опсегу периода одабирања (од неколико десетина μs до неколико стотина s).

Литература

- [1] L. Dutta, S. Bharali, "TinyML Meets IoT: A Comprehensive survey," *Internet of Things*, December 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100461>
- [2] K. Xu, H. Zhang, Y. Li, Y. Zhang, R. LaimY. Liu, "An Ultra-Low Power TinyML System for Real-Time Visual Processing at Edge," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, doi: <https://doi.org/10.1109/TCSII.2023.3239044>
- [3] L. Qian, Y. Yi, W. Zhang, C. Fu, C. Xia, T. Ma, "Revealing the impact of high current Overcharge/Overdischarge on the thermal safety of degraded Li-Ion batteries," *International Journal of Energy Research*, February 2023, doi: <https://doi.org/10.1155/2023/8571535>
- [4] Y. Wang, J. Tian, Z. Sun, L. Wang, R. Xu, M. Li, Z. Chen, "A comprehensive review of battery modelling and state estimation approaches for advanced battery management systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, October, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110015>
- [5] B. Yang, J. Wang, P. Cao, T. Zhu, H. Shu, J. Chen, J. Zhang, J. Zhu, "Classification, Summarization and Perspectives on State-of-Charge Estimation of Lithium-Ion Batteries Used in Electric Vehicles: A Critical Comprehensive Survey," *Journal of Energy Storage*, July, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102572>
- [6] M. Hannan, M. Lipu, A. Hussain, A. Mohamed, "A review of lithium-ion battery state of charge estimation and management system in electric vehicle applications: Challenges and recommendations," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, October, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.001>
- [7] Y. Fu, B. Zhai, Z. Shi, J. Liang, Z. Peng, "State of charge estimation of Lithium-Ion batteries based on an adaptive iterative extended Kalman filter for AUVs," *Sensors*, November 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/s22239277>
- [8] X. Liu, X. Fan, L. Wang, J. Wu, "State of Charge Estimation for Power Battery Base on Improved Particle Filter," *World Electrical Vehicle Journal*, December 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/wevj14010008>
- [9] B. Xia, Z. Sun, R. Zhang, Z. Lao, "A Cubature Particle Filter Algorithm to Estimate the State of the Charge of Lithium-Ion Batteries Based on a Second-Order Equivalent Circuit Model," *Energies*, March 2017, doi: <https://doi.org/10.3390/en10040457>
- [10] X. Wang, R. Gong, Z. Yang, L. Kang, "State of Charge Estimation of Lithium-ion Batteries Based on Online OCV Curve Construction," *Batteries*, June 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/batteries10060208>
- [11] X. Bian, Z. Wei, J. He, F. Yan, L. Liu, "A Two-Step Parameter Optimization Method for Low-Order Model-Based State-of-Charge Estimation," *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, June 2021, doi: <https://doi.org/10.1109/TTE.2020.3032737>
- [12] H. Ramadan, M. Becherif, F. Claude, "Extended Kalman filter for accurate state of charge estimation of lithium-based batteries: a comparative analysis," *International Journal of Hydrogen Energy*, November 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.07.219>
- [13] D. Chung, S. Yang, "SOC estimation of Lithium-Ion battery based on Kalman filter algorithm for energy storage system in microgrids," *E3S Web of Conferences*, 2018, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185702006>

- [14] S. Nejad, D. T. Gladwin, D. A. Stone, "On-chip implementation of Extended Kalman Filter for adaptive battery states monitoring," *42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Florence, Italy, 2016, doi: <https://doi.org/10.1109/IECON.2016.7793527>
- [15] Y. Ma, P. Duan, P. He, F. Zhang, H. Chen, "FPGA implementation of extended Kalman filter for SOC estimation of lithium-ion battery in electric vehicle," *Asian Journal of Control*, March 2019, <https://doi.org/10.1002/asjc.2093>
- [16] L. Zhang, H. Peng, Z. Ning, Z. Mu, C. Sun, "Comparative research on RC equivalent circuit models for Lithium-Ion batteries of electric vehicles," *Applied Sciences*, September 2017, doi <https://doi.org/10.3390/app7101002>
- [17] S. M. Mousavi, M. Nikdel, "Various battery models for various simulation studies and applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, April 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.048>

3. Полазне хипотезе

- До данас је развијен велики број алгоритама за процену напуњености батерије. Радови који анализирају ове алгоритме квантификују њихове перформансе само у домену тачности алгоритама што није довољно када је потребно имплементирати алгоритам за процену напуњености батерије на платформи ограничених рачунарских и енергетских ресурса.
- Алгоритми које користе електричне моделе батерије, као што је ПКФ, могу остварити компромис између тачности процене и рачунарске комплексности, односно енергије која се троши на процену напуњености батерије, променом коришћеног електричног модела и/или променом периоде позивања ПКФ, у времену.
- Током рада, батеријски напајани наменски рачунарски системи имају различите енергетске захтеве у различитим временским интервалима, што пружа могућност за уштеду енергије потребне за процену напуњености батерије на рачун смањене, али још увек прихватљиве, тачности процене.
- Постоји могућност дефинисања оптималног приступа како би се постигао компромис између тачности процене и потрошње енергије, у зависности од потреба самог наменског рачунарског система.

4. Методе истраживања

Истраживање које се односи на оптимизацију процене напуњености батерије на наменским рачунарским платформама подразумева примену теоријских и експерименталних метода. Неке од теоријских метода истраживања обухватају:

- Анализу доступне литературе која обрађује алгоритме за процену напуњености батерија и њихова систематизација са становишта основних параметара перформанси као што су тачност, рачунарска комплексност и применљивост у оквиру система ограничених ресурса као што су батеријски напајани рачунарски системи.
- Анализу литературе која обрађује моделе различитих врста батерија

- Анализу различитих метрика за тачност процене напуњености батерија
- Анализу метода за одређивање параметара електричног модела батерија.
- Анализу техника за оптимизацију софтвера које се могу применити на ПКФ како би се на наменској рачунарској платформи смањило трајање извршавања једног циклуса алгорита и постигла уштеда рачунарских ресурса
- Математичка анализа зависности између тачности процене и потрошње енергије од периоде позивања ПКФ

Неке од експерименталних метода које ће се користити у овом истраживању су:

- Развој прототипа уређаја који ће се користити за мерење напона и струје батерије и генерисање различитих вредности струје потрошње како би се омогућила екстракција параметара батерије и емулација потрошње наменских система.
- Пуњења и пражњења батерије струјама различитих временских облика, који су дефинисани техникама за одређивања параметара модела батерије.
- Анализа експериментално добијених резултата и одређивање вредности параметара модела батерије.
- Спровођење експеримената пражњења батерије струјама различитих временских облика, који емулирају различите режиме рада наменског рачунарског система.
- Имплементација и валидација функционалности ПКФ на рачунару опште намене који ће се користити за симулације тачности и енергетске ефикасности процене над експериментално добијеним подацима који емулирају потрошњу реалног наменског рачунарског система
- Мерење перформанси ПКФ, у погледу брзине извршавања, на изабраној наменској платформи

5. Очекивани научни доприноси

- Сагледавање тренутних недостатака приступа за процену напуњености батерије код наменских рачунарских система, по питању избора технике процене и ефикасности процене у смислу тачности и енергетских захтева.
- Нови приступ за оптимално процењивање напуњености батерије на наменским рачунарским системима, који узима у обзир тренутне енергетске потребе наменског система, рачунарску комплексност изабране технике и захтевану тачност процене.
- Нова техника за процену напуњености батерије која постиже компромис између остварене тачности и уложене енергије заснована на ПКФ
- Теоријска анализа утицаја периоде позивања естиматора и његове рачунарске комплексности, на тачност процене и потрошњу енергије, која ће резултовати одређивањем оптималне периоде позивања естиматора за дату комплексност алгорита и изабрани критеријум оптимизације
- Квантификовање перформанси естимације коришћењем ПКФ различите комплексности, за процену напуњености батерија на наменској рачунарској платформи .
- Аутоматизација процеса одређивања параметара електричног модела батерије реализацијом специјализованог скупа хардверских и софтверских алата.

6. План истраживања

1. Анализирање различитих приступа за процену напуњености батерије са становишта примене у наменским рачунарским системима.
2. Анализирање различитих модела литијумских батерија са становишта рачунарске комплексности и остварене тачности процене.
3. Анализирање функционалности ПКФ и његова имплементација на рачунару опште намене, која ће користити електричне моделе различите комплексности.
4. Истраживање метода за екстракцију параметара одабраних модела батерије.
5. Развој хардвера и софтвера мерног система који омогућава истовремену аквизицију напона и струје батерије и пренос резултата мерења у реалном времену на рачунар. Мерни систем ће омогућити генерисање различитих временских облика струје потрошње, који ће се користити за екстракцију параметара батерије и емулацију различитих режима потрошње карактеристичних за наменске платформе.
6. Одређивање вредности параметара модела литијумских батерија анализом скупа података добијеног коришћењем развијеног мерног система.
7. Верификовање вредности параметара модела коришћењем претходно развијеног ПКФ.
8. Анализирање рада наменских рачунарских система са циљем идентификовања карактеристичних режима рада као и временских облика струје потрошње који су карактеристични за те режиме.
9. Емулирање карактеристичних режима рада наменских рачунарских система коришћењем развијеног мерног система. Као резултат ће бити генерисан скуп података који ће се потом користити за процену тачности и енергетске ефикасности ПКФ.
10. Имплементација ПКФ на одабраној наменској рачунарској платформи и верификација функционалности коришћењем претходно генерисаног скупа података.
11. Анализирање различитих приступа за оптимизацију ПКФ на наменској рачунарској платформи, у погледу искоришћења рачунарских и меморијских ресурса.
12. Мерење перформанси ПКФ који користи моделе батерије различитих комплексности, на изабраној наменској платформи. Перформансе ће бити квантификоване у погледу времена извршавања и искоришћења рачунарских ресурса.
13. Теоријска анализа утицаја периоде позивања ПКФ на тачност процене напуњености батерије и потрошњу енергије.
14. Верификовање резултата теоријске анализе коришћењем вредности параметара перформанси ПКФ које су измерене на изабраној наменској рачунарској платформи.
15. Дефинисање смерница за развој алгорита за процену напуњености батерије који има могућност адаптације на различите режиме рада наменског рачунарског система, и који је оптимизован за режиме мале потрошње.

7. Закључак и предлог

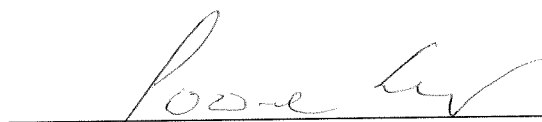
На основу приложене документације и непосредног увида у досадашњи научни рад кандидата Хариса Туркмановића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, Комисија закључује следеће:

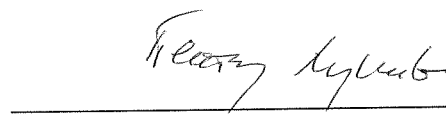
- Кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Београду и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду, за израду докторске дисертације.
- Предложена тема „Оптимизација процене стања напуњености батерије у наменским рачунарским системима“ (енг. *Optimization of Battery State Of Charge Estimation in Embedded Systems*), је научно заснована и резултати до којих ће се доћи током израде ове дисертације представљаће значајан и оригинални допринос. Тема припада ужој научној области Електроника.

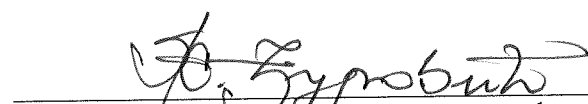
На основу претходно изложеног, комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату Харису Туркмановићу одобри израду докторске дисертације под насловом: „Оптимизација процене стања напуњености батерије у наменским рачунарским системима“ (енг. *Optimization of Battery State Of Charge Estimation in Embedded Systems*), а за менторе се предлажу проф. Др Иван Поповић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду и проф. Др Владимир Рајовић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У Београду 13.03.2025. године

Чланови комисије


др Лазар Сарановац, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет,


др Петар Лукић, редовни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет,


др Жељко Јурковић, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет,