

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Петра Атанасијевића за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа на својој 882. седници бр. 123 од 25.01.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Петра Атанасијевића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Карактеризација одзива крила Морфо лептира као холографски испитиваног сензора слике“ (енг. *„Response characterization of a Morpho butterfly’s wing as a holographically interrogated imaging sensor“*).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Петар Атанасијевић је рођен 11.08.1994. године у Београду. Завршио је основну школу „Лаза Костић“ у Београду као вуковац. Природно-математички смер у Трећој београдској гимназији завршио је као вуковац 2013. године. Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписао је исте године. Током студија је под менторством асистента Жељка Јанићијевића радио на дизајну и испитивањима програмабилног пулсног струјног извора за примене у области контролисане трансдермалне доставе лекова. Дипломирао је на смеру Наноелектроника, оптоелектроника и ласерска техника, у оквиру одсека за Физичку електронику 2017. године са просечном оценом 9,00. Мастер академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на Модулу за Наноелектронику и фотонику уписао је у октобру 2017. године. Положио је све испите са просечном оценом 10. Завршне радове на основним и мастер студијама радио је под менторством проф. др Пеђе Михаиловића. Теме завршних радова је посветио области термалне анемометрије, примењене у обновљивим изворима енергије.

Од јесени 2018. године је студент докторских студија Електротехничког факултета Универзитета у Београду под руководством проф. др Пеђе Михаиловића. Све испите на докторским студијама положио је са просечном оценом 10. Фокус тренутног истраживања налази у области дигиталне холографије примењене у развоју нових, модерних сензорских система. Посебно интересовање, посветио је развоју сензора зрачења широког спектралног опсега, инспирисаног биолошким структурама лептирових крила.

Петар Атанасијевић је аутор једног рада у часопису од међународног значаја са импакт фактором, као и седам радова презентованих на међународним и домаћим конференцијама.

Коаутор је два електронска уџбеника који се користе као наставни материјал на Електротехничком факултету у Београду.

Током основних студија је био ангажован као студент демонстратор при извођењу лабораторијских вежби на предметима *Практикум из конструисања електронских уређаја* и *Елементи електронских уређаја* на одсеку за Физичку електронику. Од децембра 2017. године је запослен на Електротехничком факултету у звању сарадника у настави, док је у фебруару 2019. унапређен у звање асистента при Катедри за Микроелектронику и техничку физику, где је ангажован на 15 предмета на основним и 4 предмета на мастер академским студијама.

Од јуна 2017. године обнавља сертификат *NI Certified LabVIEW Associate Developer* компаније *National Instruments*. Служи се програмским језицима *C* и *Python*, док од осталих софтверских алата добро познаје *Matlab*, *Eagle PCB design*, *LTspice*, *Arduino IDE*. Поседује основно знање руског и одлично познаје енглески језик.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Од 15. децембра 2017. године запослен је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, најпре у звању сарадника у настави, а затим и у звању асистента. Од децембра 2018. године сарађује са Институтом за физику Универзитета у Београду где учествује у експерименталном раду лабораторије за холографију и биофотонику Центра за фотонику.

Током досадашњег научноистраживачког рада, учествовао је у више истраживачких, комерцијалних и наставнообразовних пројеката:

- 2021-2022. "Увођење наставе физике за студенте електротехнике (ЕТФизика)", МПНТР Републике Србије, развој високог образовања.
- 2021.- „Архитектура свеоптичког резервоар компјутера базирана на ласерској бистабилности - пројекат ORCA-LAB“, Фонд за науку Републике Србије, ИДЕЈЕ.
- 2020.- „Систем за праћење соларних постројења - СОФИС“, Фонд за иновациону делатност Републике Србије – сарадња науке и привреде.
- 2018-2019. „Иновативни приступи учењу у развоју софтверски пројектоване инструментације и њена примена у системима који раде у реалном времену“, ERAZMUS + K2 пројекат.
- 2020-2021. "Унапређење и дигитализација наставе из Фотонике (eFOTON)", МПНТР Републике Србије, развој високог образовања.
- 2019-2020. „Производња лабораторијског прототипа тест стола за карактеризацију извора за напајање за појачаваче слике треће генерације“, Фонд за иновациону делатност Републике Србије – иновациони ваучери.
- 2019.- „Оптоелектронски нанодимензиони системи – пут ка примени“, бр.ІІІ-45003, МПНТР Републике Србије.

На докторским студијама на Електротехничком факултету положио је испите:

1. 13Д061ФО – Фуријеова оптика, оцена 10, 9 ЕСПБ
2. 13Д061ПИК – Пројектовање интегрисаних кола, оцена 10, 9 ЕСПБ
3. 13Д061ОММ– Оптиелектронске мерне методе, оцена 10, 9 ЕСПБ
4. 13Д061НО – Нелинеарна оптика, оцена 10, ЕСПБ = 9
5. 13Д061КО – Квантна оптика, оцена 10, ЕСПБ = 9

6. 13Д061МПЛ – Моделовање полупроводничких ласера, оцена 10, 9 ЕСПБ
7. 13Д061ЕОКМ – Електричне и оптичке карактеристике материјала у наноелектроници и фотоници, оцена 10, 9 ЕСПБ
8. 13Д051НМ – Неуралне мреже, оцена 10, 9 ЕСПБ
9. 13Д061ОТБМ – Оптичко траповање и биомедицинска наноманипулација, оцена 10, 9 ЕСПБ
10. 13Д061ИТТЗ – Иновације, трансфер технологије и заштита интелектуалне својине, оцена 10, 9 ЕСПБ

Просечна оцена: 10.0

Збир ЕСПБ поена: 87

Обавезе:

1. Студијски истраживачки рад 1 – 15 ЕСПБ, 30.09.2019.
2. Научно стручни рад – 3 ЕСПБ, 30.09.2020.
3. Студијски истраживачки рад 2 – 15 ЕСПБ, 30.09.2020.

30. септембра 2020. је положио све испите и завршио обавезе предвиђене програмом докторских студија, остваривши предвиђених 120 ЕСПБ.

Усмена одбрана теме Петра Атанасијевића је одржана 31.01.2023. у просторијама Електротехничког факултета пред Комисијом у саставу др Слободан Петричевић, редовни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет, др Бранислав Салатић, научни сарадник, Универзитет у Београду – Институт за физику у Београду и др Ана Гавровска, доцент, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет и завршена је са оценом задовољно.

Категорија М20 (Радови објављени у часописима међународног значаја)

- [1] **P. Atanasijevic** and P. Mihailovic, „Temperature compensation of NTC thermistors based anemometer“, *Sensors Actuators A Phys.*, vol. 285, pp. 210–215, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2018.11.004>, Impact factor: 2.311 (**M21**)

Категорија М30 (Зборници међународних научних скупова)

- [1] P. Mihailović, **P. Atanasijević** and S. Petričević, „Faraday effect magnetometry Is the holographic examination the ultimate solution?“, *Online Summit on Optics and Photonics (COP- 2021) Chapter 2, STEM International Organization*, Online Summit, 2021 (**M34**)
- [2] M. Simovic-Pavlovic, D. Grujic, **P. Atanasijevic**, D. Vasiljevic, B. Kolaric and D. Pantelic, „Measuring temperature changes of butterfly’s wing through deformation: a holographic approach“, in *Photonica2019: 7th International School and conference on Photonics*, p. 127. Institute of Physics Belgrade, Belgrade, August 2019, ISBN: 978-86-7306-153-5, (**M34**)
- [3] M. Zivic, **P. Atanasijevic**, M. Barjaktarovic, „Development of a digital holographic microscope for observation of Morpho butterfly wing scales“. *29th Telecommunications Forum, TELFOR 2021 – Proceedings*, 2021. <https://doi.org/10.1109/TELFOR52709.2021.9653260>, (**M33**)

Категорија М60: (Зборници скупова националног значаја)

- [1] **P. Atanasijevic**, P. Mihailovic, D. Grujic, D. Pantelic and H. Skenderovic, „Morpho butterfly wings as imaging sensor“, in 14th Photonics Workshop, p. 29. , Institute of Physics, University of Belgrade, Kopaonik, March 2021, ISBN: 978-86-82441-52-6. (**M64**)

- [2] M. Petrović, S. Petričević, M. Barjaktarović, **P. Atanasijević** and P. Mihailović, „Structural health monitoring by intensity fiber-optic sensor”, *12th Photonics Workshop*, pp. 42 - 42, Institute of Physics, University of Belgrade, Kopaonik, March 2019, ISBN: 978-86-82441-49-6. **(M64)**
- [3] **P. Atanasijević** and Ž. Janićijević, „Programmable pulse current source for in vitro investigations of iontophoresis”, *ETRAN 2017*, pp. BT1.2.1 - BT1.2.5, 2017. ISBN: 978-86-7466-692-0. **(M63)**
- [4] N. Janković, M. Nedeljković, **P. Atanasijević**, Đ. Čantrak, „Pokazno-obrazovna instalacija za ispitivanje pumpi u laboratoriji i preko interneta“, 19. naučno savetovanje SDHI i SDH, pp. 45 – 56, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Beograd, oktobar 2021, ISBN: 978-86-7518-219-1. **(M63)**

Уџбеници:

- [1] С. Петричевић и **П. Атанасијевић**, „Конструисање електронских уређаја“, *Електротехнички факултет – Београд*, 2018, ISBN: 978-86-7225-063-3.
- [2] М. Јанковић, М. Барјактаровић, М. Новичић и **П. Атанасијевић**, „Практикум из мерно-аквизиционих система“, *Електротехнички факултет – Београд*, 2019. ISBN: 978-86-7225-073-2.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу претходног приказа резултата досадашњег рада и оствареног искуства види се да је Петар Атанасијевић школован у области оптике, сензора, оптоелектронских мерних метода и фотонских компоненти и система. Имајући у виду и раније школовање као и експериментални рад којим се бавио сматрамо да је Петар Атанасијевић способан кандидат за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања предложене докторске дисертације је крило *Morpho didius* лептира употребљено у функцији сензора слике, и карактеризација његовог одзива. Очитавање дводимензионе расподеле светлости детектоване крилом ће бити изведено техникама дигиталне холографије. Ове технике ће омогућити мерење микропомерања љуспица крила лептира услед загревања индукованог зрачењем. Биће испитан просторни, временски и спектрални одзив предложеног сензора у видљивом и блиском инфрацрвеном делу спектра. На основу добијених резултата ће бити разматране методе унапређења измерених перформанси.

Сензори слике чији спектрални опсег излази изван видљивог дела спектра налазе своје примене у цивилној и војној индустрији [1]. Овакви сензори обично захтевају сложене методе фабрикације, активно хлађење, као и високу цену. Стога је од интереса поспешити њихов одзив и учинити их приступачнијим. Такође, тренутно доступни типови сензора покривају различите делове спектра, али потреба за широкоспектралним детектором слике и даље остаје незадовољена. Идеја коришћења биолошких структура као полазне тачке развоја нових сензора и сензорских принципа основа је области биомиметике [2], [3]. Посебно место у оквиру ове области заузимају природне фотонске структуре које омогућавају оптичко мерење низа физичких и хемијских величина [4]–[6]. У току последње деценије, јавила се идеја да се биолошке структуре крила *Morpho* лептира могу искористити у функцији детектора инфрацрвеног зрачења испитиваног оптичким мерним методама [7]–[10]. Показано је да услед

присуства блиског инфрацрвеног зрачења на крилу лептира долази до померања љуспица које се може измерити техникама дигиталне холографије [8], [11]. Холографија пружа увид у дводимензиону расподелу електричног поља светлости која је рефлектована или трансмитована са узорка, чиме се омогућава формирање мапе микропомерања индукованог побудним зрачењем. Применама напредних техника дигиталне реконструкције холограма, могуће је унапредити резолуцију снимања, смањити шум и елиминисати познате проблеме фазног умотавања (енгл. *Phase wrapping*) [12]–[14], смањујући ограничавајуће факторе мерне методе на одзив предложеног сензора.

Циљ истраживања предложене докторске дисертације је опсежна квантитативна оцена способности холографски испитиваних љуспица крила *Morpho didius* лептира да детектују просторну расподелу светлости, зарад реализације повољног, широкоспектралног, биоинспирисаног сензора слике.

За разлику од квантних детектора чији енергетски процеп ограничава спектрални опсег сензора, испитивани механизам детекције у коме се услед апсорпције зрачења јавља термално индуковано померање, спектрално је ограничен само апсорпционом кривом узорка. Ова чињеница илуструје значај предложеног истраживања, јер се апсорпција узорка може модификовати према потреби примене [7], [10], те овакав тип сензора нема фундаментално ограничен спектрални опсег.

3. Полазне хипотезе

Предложено истраживање ће поћи од следећих хипотеза:

- Љуспице на крилу *Morpho didius* лептира се загревају и померају услед инцидентне светлости што се може експериментално измерити применом дигиталне холографије [8]. Очекује се да је померај љуспица директно сразмеран интензитету инцидентне светлости. Претпоставља се да је механизам условљен апсорпцијом узорка, те да ће осетљивост зависити од апсорпционе криве крила.
- Љуспице на крилу се померају довољно независно да могу послужити као пиксели детектора просторне расподеле интензитета светлости. Стога се очекује да је могуће снимити слику инцидентне светлости на основу холографски измереног померања љуспица на крилу.

Промена температуре узорка услед зрачења је узрок померања љуспица, те се претпоставља да ће одзив предложеног сензора пратити динамику грејања узорка. Карактеристике временског одзива сензора ће моћи да се квантификују на основу одзива сензора на одскочну побуду. Адекватним избором адхезивног материјала између узорка и носача се може унапредити брзина одзива предложеног сензора, уз задовољавајућу механичку стабилност крила.

4. Научне методе истраживања

У оквиру предложене докторске дисертације ће бити:

- реализована поставка за испитивање утицаја зрачења на крило лептира техникама дигиталне холографије;
- анализирана просторна расподела зрачењем индуковане промене температуре на узорку коришћењем техника термалног сликања;
- развијен програмски код за управљање и синхронизацију холографског, термалног и побудног дела експерименталне поставке;
- имплементирани програмски кодови за нумеричке прорачуне дифракционог интеграла чијим се решавањем спроводи реконструкција експериментално снимљених холограма;

- развијени програмски кодови за прорачун и успостављање оптималне везе између интензитета инцидентног зрачења и холографски детектоване промене фазе;
- развијена метода сечења и монтирања узорака на алуминијумски носач коришћењем различитих типова адхезива;
- примењени прорачуни модуларне трансфер функције коришћењем методе нагнуте ивице (енгл. *Slanted edge method*) ради квантитативне процене просторног разлагања предложеног сензора [15];
- спроведена мерења спектралне зависности рефлектансе и трансмитансе иридесцентне стране крила *Morpho didius* лептира;

Литература

- [1] R. Alfredo Osornio-Rios, J. A. Antonino-Daviu, and R. de Jesus Romero-Troncoso, "Recent industrial applications of infrared thermography: A review," *IEEE Trans Industr Inform*, vol. 15, no. 2, 2019, doi: 10.1109/TII.2018.2884738.
- [2] Q. Zhao, Y. Wang, H. Cui, and X. Du, "Bio-inspired sensing and actuating materials," *J Mater Chem C Mater*, vol. 7, no. 22, pp. 6493–6511, 2019, doi: 10.1039/C9TC01483G.
- [3] M. Valle, "Bioinspired sensor systems," *Sensors*. 2011. doi: 10.3390/s111110180.
- [4] R. J. Martín-Palma and M. Kolle, "[INVITED] Biomimetic photonic structures for optical sensing," *Opt Laser Technol*, vol. 109, pp. 270–277, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2018.07.079>.
- [5] L. Zhou *et al.*, "Butterfly Wing Hears Sound: Acoustic Detection Using Biophotonic Nanostructure," *Nano Lett*, 2019, doi: 10.1021/acs.nanolett.9b00468.
- [6] Y. Zhu, W. Zhang, and D. Zhang, "Fabrication of Sensor Materials Inspired by Butterfly Wings," *Advanced Materials Technologies*. 2017. doi: 10.1002/admt.201600209.
- [7] A. D. Pris *et al.*, "Towards high-speed imaging of infrared photons with bio-inspired nanoarchitectures," *Nat Photonics*, 2012, doi: 10.1038/nphoton.2011.355.
- [8] D. Grujić, D. Vasiljević, D. Pantelić, L. Tomić, Z. Stamenković, and B. Jelenković, "Infrared camera on a butterfly's wing," *Opt Express*, 2018, doi: 10.1364/oe.26.014143.
- [9] Q. Shen *et al.*, "Butterfly Wing Inspired High Performance Infrared Detection with Spectral Selectivity," *Adv Opt Mater*, vol. 8, no. 6, p. 1901647, Mar. 2020, doi: <https://doi.org/10.1002/adom.201901647>.
- [10] F. Zhang *et al.*, "Infrared detection based on localized modification of Morpho butterfly wings," *Advanced Materials*, 2015, doi: 10.1002/adma.201404534.
- [11] D. v. Pantelic, D. Ž. Grujic, and D. M. Vasiljevic, "Single-beam, dual-view digital holographic interferometry for biomechanical strain measurements of biological objects," *J Biomed Opt*, 2014, doi: 10.1117/1.jbo.19.12.127005.
- [12] T. Shimobaba and T. Ito, *Computer Holography: Acceleration Algorithms and Hardware Implementations*. 2019. doi: 10.1201/9780429428005.
- [13] T. Zhang *et al.*, "Rapid and robust two-dimensional phase unwrapping via deep learning," *Opt Express*, vol. 27, no. 16, pp. 23173–23185, 2019, doi: 10.1364/OE.27.023173.
- [14] V. Bianco *et al.*, "Strategies for reducing speckle noise in digital holography," *Light Sci Appl*, vol. 7, no. 1, p. 48, 2018, doi: 10.1038/s41377-018-0050-9.
- [15] M. Estriebeau and P. Magnan, "Fast MTF measurement of CMOS imagers using ISO 12333 slanted-edge methodology," in *Proc.SPIE*, Feb. 2004, vol. 5251. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1117/12.513320>

5. Очекивани научни doprinos

У оквиру предложене докторске дисертације:

- по први пут ће бити демонстрирана аквизиција просторне расподеле оптичког зрачења крилом *Morpho didius* лептира;

- испитаће се осетљивост, просторни, временски и спектрални одзив крила *Morpho didius* лептира као детектора слике;
- биће окарактерисана веза између таласне дужине побудног зрачења, промене температуре на крилу и резултујућег померања љуспица;
- испитаће се утицај подлоге на коју се монтира узорак на временски одзив предложеног детектора;
- биће предложена метрика за успостављање везе између холографски детектоване промене фазе на крилу и интензитета инцидентног зрачења, чија ће предност бити умањен утицај фактора скалирања реконструкције холограма на резултат мерења.

Потврда и карактеризација механизма детекције ће пружити идеју за имплементацију истих физичких принципа у вештачким материјалима ради развоја детектора широког спектралног опсега.

6. План истраживања и структура рада

Планирано истраживање ће почети детаљним прегледом литературе везане за оптичке и термо-механичке особине крила *Morpho* лептира, и различите доступне технике у области дигиталне холографије. Наредни корак ће подразумевати обуку кандидата за рад на уређајима потребним за снимање и реконструкцију холограма. Радиће се на реализацији и унапређењу постојећих поставки за холографска мерења, као и развоју нових поставки зарад решавања специфичних проблема који се могу јавити током предложеног истраживања. Део иницијалне фазе истраживања ће подразумевати имплементацију, тестирање и унапређење основних и напреднијих метода реконструкције холограма у неком од доступних програмских пакета/језика. Такође, део времена ће бити посвећен развоју софтвера за аквизицију термалних слика са термалне камере чији је рад потребно синхронизовати са поставком за холографска испитивања. Упоредо са претходно наведеним задацима, радиће се на избору оптималних техника сечења узорака са крила лептира, као и на приступима монтирања узорака на носаче прилагођене осталим оптичким компонентама.

Планирани су експерименти у којима ће ласери различитих таласних дужина у видљивом и блиском инфрацрвеном делу спектра бити коришћени у сврху побуде крила лептира. Током ових експеримената ће се радити на успостављању везе између снаге побудних ласера, њихове таласне дужине, индуковане промене температуре на крилу, и индукованог померања љуспица. Биће анализиран и временски одзив крила на одскочну и импулсну побуду, чиме ће се установити ограничавајући фактори брзине детекције предложеног сензора. Спровешће се мерења спектралне зависности апсорпције узорка ради утврђивања претпостављене везе између апсорпције и осетљивости крила. Током обраде и анализе снимљених података, посебна пажња ће се посветити развоју метрика које неће зависити од избора методе реконструкције холограма.

У наредном кораку истраживања ће бити тестирана способност крила да детектује и посматрачу пренесе информацију о расподели интензитета, што и јесте основни задатак сензора слике. Овај део истраживања ће бити завршен применама методе нагнуте ивице зарад добијања бројне вредности која јасно квантификује просторну резолуцију крила као сензора слике.

На основу претходно сагледаних перформанси предложеног сензора разматраће се потреба за избором других адехзива којима се узорак причвршћује за носач, како би се оптимизовао одзив предложеног сензора.

Последња фаза описаног процеса ће бити приказ резултата предложеног истраживања у форми докторске дисертације.

7. Закључак и предлог

На основу свега изложеног сматрамо да је кандидат Петар Атанасијевић подобан кандидат за реализацију предвиђених циљева истраживања. Предложена тема под називом „Карактеризација одзива крила Морфо лептира као холографски испитиваног сензора слике“ (енг. *„Response characterization of a Morpho butterfly's wing as a holographically interrogated imaging sensor“*) је подобна, веома актуелна и имаће примену у реализацији нових оптичких детектора широког спектралног опсега.

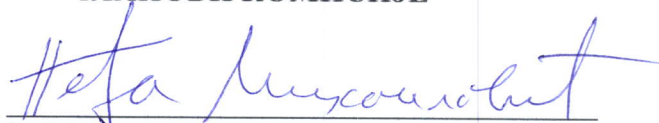
Комисија констатује да предложена тема припада ужој научној области Физичка електроника и да је Електротехнички факултет у Београду матичан за ову научну област те за ментора израде докторске дисертације предлаже др Пеђу Михаиловића, редовног професора Електротехничког факултета у Београду. Уз извештај се прилаже и списак радова др Пеђе Михаиловића, редовног професора, који га квалификује за ментора.

Комисија предлаже Научно наставном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату Петру Атанасијевићу одобри израду докторске дисертације на тему: „Карактеризација одзива крила Морфо лептира као холографски испитиваног сензора слике“ (енг. *„Response characterization of a Morpho butterfly's wing as a holographically interrogated imaging sensor“*).

Дисертација ће бити написана на енглеском језику.

Београд, 07.02.2023.г.

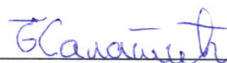
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



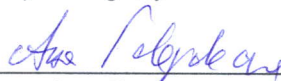
др Пеђа Михаиловић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Слободан Петричевић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Бранислав Салатић, научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт за физику



др Ана Гавровска, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет