

пк ред. проф. др Миленко Андрић, дипл. инж. - председник
ред. проф. др Горан З. Марковић, дипл. инж. - члан
пк доц. др Иван Покрајац, дипл. инж. - члан
пк ванр. проф. др Бобан Павловић, дипл. инж. - члан
пк ванр. проф. др Бобан Бонцулић, дипл. инж. - ментор и члан

Извештај комисије за оцену
и одбрану докторске дисертације
мајора Бобана Саздић-Јотића, дипл. инж.,
извештај, доставља.-

ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ И ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКЕ НАУКЕ

Одлуком Наставно-научног већа Војне академије Број 56-302 од 07.09.2023. године, именовани смо у комисију за оцену и одбрану докторске дисертације мајора Бобана Саздић-Јотића, дипл. инж. под називом:

„КЛАСИФИКАЦИЈА ДРОНОВА У РАДИО ФРЕКВЕНЦИЈСКОМ ДОМЕНУ ПРИМЕНОМ АЛГОРИТАМА ДУБОКОГ УЧЕЊА”

На основу члана 10. став 4. Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације и промоцији доктора наука („СВЛ бр. 36/21”) и члана 13. став 7. Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације („СВЛ бр. 14/22”), а након прегледа достављене дисертације, подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде докторске дисертације

Мајор Бобан Саздић-Јотић, дипл. инж. је 01.04.2022. године Катедре војноелектронског инжењерства Војне академије Универзитета одбране у Београду доставио пријаву теме за израду докторске дисертације под радним насловом „Класификација дрона у радио-фреквенцијском домену применом техника са алгоритмима дубоког учења” и за ментора предложио пк ванр. проф. др Бобана Бонцулића, дипл. инж.

На основу акта Већа за техничко-технолошке и природно-математичке науке Број 131-38 од 23.05.2022. године, Наставно-научно веће Војне академије је актом Број 44-200 од 06.06.2022. године донело одлуку о формирању комисије за оцену подобности теме и кандидата у саставу: пк ред. проф. др Миленко Андрић, дипл. инж. – председник комисије,

научни саветник др Бранислав Тодоровић, дипл. инж. – члан комисије, пк доц. др Иван Покрајац, дипл. инж. – члан комисије, пп доц. др Јован Бајчетић, дипл. инж. – члан комисије и пк ванр. проф. др Бобан Бонцулић, дипл. инж. – потенцијални ментор.

Комисија је у извештају И бр. 131-44 достављеном 17.06.2022. године Већу за техничко-технолошке и природно-математичке науке Војне академије предложила да се кандидату мајору Бобану Саздић-Јотићу, дипл. инж. одобри израда докторске дисертације под називом „Класификација дрона у радио-фреквенцијском домену применом техника са алгоритмима дубоког учења”, и да се за ментора именује пк ванр. проф. др Бобан Бонцулић, дипл. инж. Веће за техничко-технолошке и природно-математичке науке Војне академије донело је одлуку, акт И бр. 131-51 од 07.07.2022. године, којом се усваја извештај комисије, и за ментора одређује пк ванр. проф. др Бобан Бонцулић, дипл. инж. Наставно-научно веће Војне академије је на 7. седници одржаној 19.07.2022. године, акт Број 44-280 од 19.07.2022. године, дало сагласност за израду докторске дисертације кандидата мајора Бобана Саздић-Јотића, дипл. инж. и дало сагласност да за ментора буде одређен пк ванр. проф. др Бобан Бонцулић, дипл. инж.

Сенат Универзитета одбране у Београду је на 125. седници одржаној 29.08.2022. године, акт Број 22-321 од 05.09.2022. године, донео одлуку у којој се кандидату мајору Бобану Саздић-Јотићу, дипл. инж. даје сагласност за израду докторске дисертације под називом „Класификација дрона у радио фреквенцијском домену применом алгоритама дубоког учења”, и даје сагласност да ментор у изради докторске дисертације буде пк ванр. проф. др Бобан Бонцулић, дипл. инж. Истом одлуком кандидат има обавезу да брани докторску дисертацију у року од три године од дана доношења одлуке и да надлежном стручном органу Војне академије преда неукоричени примерак готовог докторског рада и да поднесе доказе да има најмање један рад из оквира теме докторске дисертације објављен или прихваћен за објављивање у часопису са SCI листе (након давања сагласности Сената за израду докторске дисертације).

Ментор пк ванр. проф. др Бобан Бонцулић, дипл. инж. је актом Број 58-137 од 20.06.2023. године обавестио Веће за техничко-технолошке и природно-математичке науке Војне академије да је кандидат мајор Бобан Саздић-Јотић, дипл. инж. доставио рукопис докторске дисертације и доставио доказе да има најмање један рад из оквира теме докторске дисертације објављен у часопису са SCI листе. Такође, ментор је предложио да се образује комисија за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: пк ред. проф. др Миленко Андрић, дипл. инж. – председник комисије, ред. проф. др Горан З. Марковић, дипл. инж. (Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду) – члан комисије, пк доц. др Иван Покрајац, дипл. инж. – члан комисије, пк ванр. проф. др Бобан Павловић, дипл. инж. – члан комисије и пк ванр. проф. др Бобан Бонцулић, дипл. инж. – ментор и члан комисије.

На основу предлога Већа за техничко-технолошке и природно-математичке науке Наставно-научно веће Војне академије је на 20. седници одржаној 31.08.2023. године донело одлуку, акт Број 56-302 од 07.09.2023. године, о формирању комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мајора Бобана Саздић-Јотића, дипл. инж. под називом „Класификација дрона у радио фреквенцијском домену применом алгоритама дубоког учења”, у истом саставу који је предложио ментор.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под називом „Класификација дронова у радио фреквенцијском домену применом алгоритама дубоког учења” кандидата мајора Бобана Саздић-Јотића, дипл. инж. припада пољу техничко-технолошких наука, научној области Електротехничко и рачунарско инжењерство, ужа научна област Телекомуникације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Мајор Бобан Саздић-Јотић, дипл. инж. рођен је 07.04.1983. године у Пироту, општина Пирот, Република Србија. Војну гимназију у Београду, општи смер, завршио је 2002. године као трећи у рангу 28. класе, са просеком 4,86. Војну академију у Београду, смер Електронско извиђање и противелектронска дејства, завршио је 2007. године са одличним успехом (8,93).

Током професионалне каријере обављао је дужности командира вода у јединицама за електронска дејства и референта у Управи за обавештајно-извиђачке послове (Ј-2) ГШ ВС.

Кандидат одлично познаје Windows и Windows Server оперативне системе, Cisco IOS и Microsoft Hyper-V виртуелизацију, као и Microsoft Office пакете. Осим тога, одлично се користи Mathworks MatLab софтверским пакетом и Python програмским језиком за потребе обраде сигнала и алгоритама дубоког учења. Поседује и основна знања о Wolfram Mathematica софтверском пакету. Завршио је више курсева из функционалне надлежности и из области телекомуникација и информатике.

Тренутно је ангажован као наставник на предмету Антене и простирање електромагнетних таласа у Средњој стручној војној школи и као сарадник у настави на предмету Сензори и противелектронска заштита у јединицама КоВ на основним академским студијама Војне академије. Изабран је у звање асистента на Војној академији на студијском програму Војноелектронско инжењерство из уже научне области Сигнали и системи.

Од 2018. године је на докторским студијама на Студијском програму Војноелектронско инжењерство Војне академије Универзитета одбране у Београду.

1.4. Објављени научни и стручни радови кандидата

Кандидат је до сада објавио девет научних и стручних радова у међународним часописима, часопису националног значаја и зборницима са међународних скупова и скупова националног значаја, који су проистекли као резултат истраживања у оквиру докторске дисертације:

1. **Sazdic-Jotic, B.,** Pokrajac, I., Bajcetic, J., Bondzulich, B., Obradovic, D., *Single and multiple drones detection and identification using RF based deep learning algorithm*, Expert Systems with Applications 187 (2022) 115928, pp. 1-15, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115928> (рад у међународном часопису изузетних вредности – M21a)
2. **Sazdic-Jotic, B.,** Bondzulich, B., Bajcetic, J., Andric, M., Pokrajac, I., Obradovic, D., Zrnic, B., *Improving the automatic target recognition algorithm's accuracy through an examination of the different time-frequency representations and data augmentation*, Frequenz, Vol. 77, No. 5-6, pp. 257-272, 2023., <https://doi.org/10.1515/freq-2022-0015> (рад у међународном часопису – M23)

3. **Sazdić-Jotiћ, B.**, Obradović, D., Bajčetić, J., *Computer vision with deep neural network – an overview*, 9th International Scientific Conference on Defensive Technologies (OTEH), Proc. of papers, pp. 309-314, Belgrade, Serbia, October 15-16, 2020.
4. Šević, T., Joksimović, V., Pokrajac, I., Brusin, R., **Sazdić-Jotiћ, B.**, Obradović, D., *Interception and detection of drones used by RF-based dataset of drones*, Scientific Technical Review, Vol. 70, No. 2, pp. 29–34, 2020., <https://doi.org/10.5937/str2002029S>
5. Mokhtari, M., Bajčetić, J., **Sazdić-Jotiћ, B.**, *Sistem za detekciju i klasifikaciju niskoletећih bespilotnih vazduhoplova – dronova (SDKNBV)*, Zbornik radova 65. godišnje konferencije za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku (ETRAN), str. 610-615, Etno selo Stanišići, Republika Srpska, 8.-10. sept. 2021.
6. Mokhtari, M., Bajcetic, J., **Sazdic-Jotic, B.**, Pavlovic, B., *RF-based drone detection and classification system using convolutional neural network*, 29th Telecommunications Forum (TELFOR), Proc. of papers, pp. 1–4, Belgrade, Serbia, Nov. 23-24, 2021., <https://doi.org/10.1109/TELFOR52709.2021.9653332>
7. Mokhtari, M., Bajčetić, J., **Sazdić-Jotiћ, B.**, Pavlović, B., *Developing a convolutional recurrent neural network for drone classification*, Proceedings of the 9th Small Systems Simulation Symposium, pp. 85–89, Niš, Serbia, 28th February – 2nd March 2022.
8. **Sazdić-Jotiћ, B.**, Bondžulić, B., Pokrajac, I., Bajčetić, J., Mokhtari, M., *Drone classification based on radio frequency: Techniques, datasets and challenges*, 10th International Scientific Conference on Defensive Technologies (OTEH), Proc. of papers, pp. 314-320, Belgrade, Serbia, October 13-14, 2022.
9. **Саздић-Јотић, Б.**, Бонцулић, Б., Симић, С., Покрајац, И., Лазовић, Д., *Могућности примене вештачке интелигенције у класификацији радарских циљева*, Научна конференција војних наука – ВојНа 2023, Зборник апстраката, стр. 299-301, Београд, Србија, 16. и 17. мај 2023.

Кандидат Бобан Саздић-Јотић, дипл. инж. има два рада из оквира теме докторске дисертације објављена у часописима са SCI листе, у којима је први аутор. Рад на редном броју 2 је објављен након давања сагласности Сената за израду докторске дисертације.

Као резултат спроведених експеримената током израде докторске дисертације објављена је база реалних снимака радио фреквенцијских одраза дронова:

1. **Sazdic-Jotic, B.**, Pokrajac, I., Bajcetic, J., Bondzulic, B., Joksimović, V., Šević, T., Obradović, D., *VTI_RF_DroneDataset*, Mendeley Data, V3, 2021. <https://data.mendeley.com/datasets/s6tggnp5n2/3>

Резултати из докторске дисертације су додатно искоришћени за реализацију научно-истраживачког пројекта (примењена истраживања) Војнотехничког института „Истраживање могућности борбе против дронова и беспилотних летелица”, који је проглашен за најбољи научно-истраживачки пројекат у систему одбране у току 2022. године. Кандидат је био члан радног тима на наведеном научно-истраживачком пројекту.

2. АНАЛИЗА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Дисертација је написана ћириличним писмом на 312 страна, од чега 67 страна чине: насловна страна, подаци о дисертацији, резиме, садржај, списак слика, списак табела, списак скраћеница, нотација, прилози и списак литературе. Текст дисертације садржи 136 слика, 58 табела и 140 једначина. У списку литературе наведено је 228 библиографских јединица.

Докторска дисертација је организована у десет поглавља. У **првом**, које је уводно поглавље, дефинисани су проблем и предмет истраживања, циљ и допринос истраживања и представљена је организација докторске дисертације.

У **другом** поглављу су дефинисани термини који се користе у докторској дисертацији, дат однос вештачке интелигенције, машинског учења (енгл. Machine Learning, ML) и дубоког учења (енгл. Deep Learning, DL), описани начини детекције дрона и направљен преглед досадашњих истраживања намењених класификацији дрона коришћењем ML и DL алгоритама. Ово поглавље представља теоријску основу истраживања.

Основе експерименталних истраживања представљене су у **трећем** поглављу, кроз опис експеримената, опис коришћене опреме, детаљан опис организације добијених података и опис коришћених софтвера и хардверских платформи. Добијени подаци су организовани у скуп (базу) под називом VTI_DroneSET. Додатно је извршена техничка анализа радио сигнала дрона.

Новоформирана база VTI_DroneSET је од **четвртог** до **шестог** поглавља искоришћена за анализу перформанси класификације дрона применом предложених модела неуралних мрежа са пропагацијом напред, конволуционих неуралних мрежа и повратних неуралних мрежа. Применом предложених модела успешно су решени проблеми детекције дрона, идентификације типа дрона и детекције више дрона, чиме је постављена основа за даља истраживања у области реализације антидрон система.

У **седмом** поглављу је анализирано како се предложени DL алгоритми са становишта класификације понашају у присуству шума. Предложен је приступ класификације који представља комбинацију фази логике за детекцију ивица на слици и коришћења предложених DL модела. Показано је да су резултати добијени применом комбинованог модела стабилни за односе сигнал/шум боље од 0 dB и да доприносе побољшању тачности изворних DL модела. Закључено је да се комбиновани приступ може користити као први избор за детекцију и класификацију дрона у радио фреквенцијском домену.

Аблативним експериментима у **осмом** поглављу оправдано је коришћење предложених приступа за рачунање спектра и спектрограма сигнала, коришћење DL уместо ML алгоритама и анализиран је утицај дужине сегмента радио сигнала на перформансе предложених DL алгоритама. Додатно су перформансе предложених DL модела анализирале на две базе реалних одраза дрона (RDRD и DroneRF).

Посебним аспектима класификације дрона у радио фреквенцијском домену применом DL алгоритама, датим у **деветом** поглављу, извршено је поређење предложених DL алгоритама за проблеме детекције дрона, идентификације типа дрона и детекције више дрона који раде истовремено.

Закључци и предлози за даља истраживања сумирани су у последњем, **десетом** поглављу.

Кандидат је остварио све циљеве истраживања који су наведени у пријави докторске дисертације:

- формирана је база података са аквизираним радио сигнаlima дронова у временском и фреквенцијском домену, која је уједно и јавно доступна, чиме су створени услови за даља истраживања у овој области,
- истражене су различите технике којима је могуће детектовати и идентификовати дрон што је основ за хардверску имплементацију практичног антидрон система и
- истражене су различите технике којима је могуће открити више дронова који раде истовремено што може бити основа за даље истраживање детекције роја дронова.

3. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Докторска дисертација мајора Бобана Саздић-Јотића, дипл. инж. представља научно-истраживачки рад из научне области Телекомуникације, којом је дат допринос класификацији дронова у радио фреквенцијском домену, што је од посебног значаја како у војним применама, тако и у системима заштите цивилне инфраструктуре. Остварени научни доприноси дисертације су:

- **Креиран је нови скуп података (VTI_DroneSET) са радио сигнаlima дронова који је јавно доступан.** До 01.10.2023. године овом скупу података приступило је 1212 корисника од чега је њих 307 преузело податке ради даље обраде.
- **Осмишљени су и тестирани нови DL алгоритми за класификацију дронова у радио фреквенцијском домену у оба ISM опсега.** Тачност класификације дронова је висока за све предложене DL алгоритме у оба ISM опсега, при чему је побољшана у поређењу са сличним истраживањима.
- **Унапређена је подршка у развоју различитим напредним алгоритмима за класификацију дронова.**
- **Добијена сазнања из овог истраживања обогатила су фонд теоријског и емпиријског знања из области DL алгоритама.**
- **Осмишљени су и тестирани нови DL алгоритми за детекцију више дронова у радио фреквенцијском домену у оба ISM опсега.** Тачност детекције више дронова је висока за све предложене DL алгоритме у оба ISM опсега, где се овим истраживањем међу првима решавао овај проблем.
- **Постављене су смернице за развој нових DL алгоритама и њихову примену код реализације антидрон система.**

4. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

На основу анализе докторске дисертације кандидата Бобана Саздић-Јотића, дипл. инж. под насловом „Класификација дронова у радио фреквенцијском домену применом алгоритама дубоког учења”, Комисија закључује:

- докторска дисертација представља оригиналан научни допринос у научној области Телекомуникације,

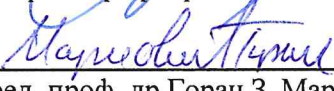
- докторска дисертација је написана у складу са етичким нормама и стандардима научно-истраживачког рада,
- резултати истраживања из оквира теме докторске дисертације су јавно објављени у два рада у међународним часописима са SCI листе, при чему је један рад објављен након давања сагласности Сената за израду докторске дисертације.

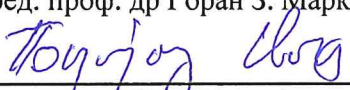
Имајући у виду да је кандидат испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању Републике Србије, Статутом Универзитета одбране у Београду и Статутом Војне академије Универзитета одбране у Београду, Комисија предлаже Већу за техничко-технолошке и природно-математичке науке Војне академије Универзитета одбране у Београду да докторску дисертацију „Класификација дронова у радио фреквенцијском домену применом алгоритама дубоког учења” мајора Бобана Саздић-Јотића, дипл. инж. прихвати, стави на увид јавности и закаже јавну усмену одбрану.

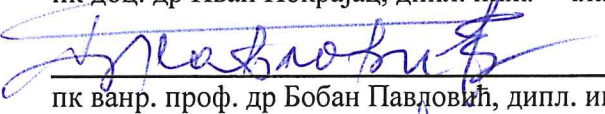
У Београду, 03.11.2023. године.

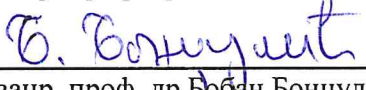
КОМИСИЈА:


пк ред. проф. др Миленко Андрић, дипл. инж. – председник


ред. проф. др Горан З. Марковић, дипл. инж. – члан


пк доц. др Иван Покрајац, дипл. инж. – члан


пк ванр. проф. др Бобан Павловић, дипл. инж. – члан


пк ванр. проф. др Бобан Бонцулић, дипл. инж. – ментор и члан

Достављено електронском разменом:

- Веће за ТТ и ПМН (vece.ttn@va.uo.mo),
- Департман за ТТ и ПМН,
- Катедра ТиИ,
- мј Александар Петровић (aleksandar.petrovic@va.uo.mo),
- а/а.