



ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
УДК 623 + 355/359

Вол. 71, бр. 1

2023



НАУЧНИ ЧАСОПИС МИНИСТАРСТВА ОДБРАНЕ И ВОЈСКЕ СРБИЈЕ

ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК





ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
УДК 623 + 355/359

Том 71, № 1

2023



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ
И ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ

ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

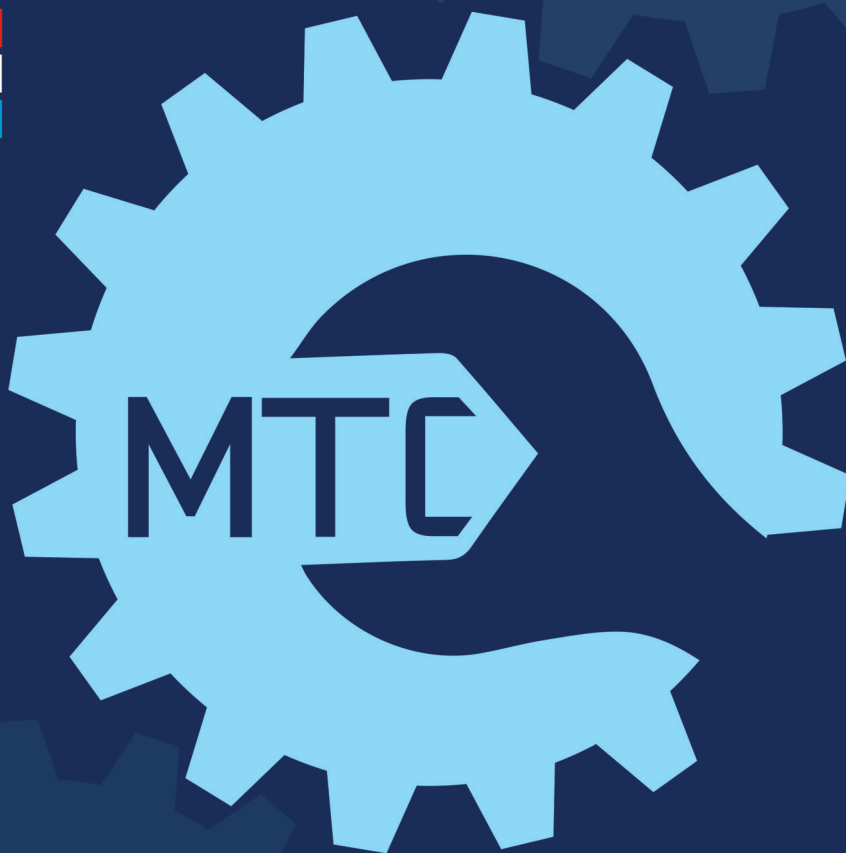




ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
UDC 623 + 355/359

Vol. 71, Issue 1

2023



MILITARY TECHNICAL COURIER

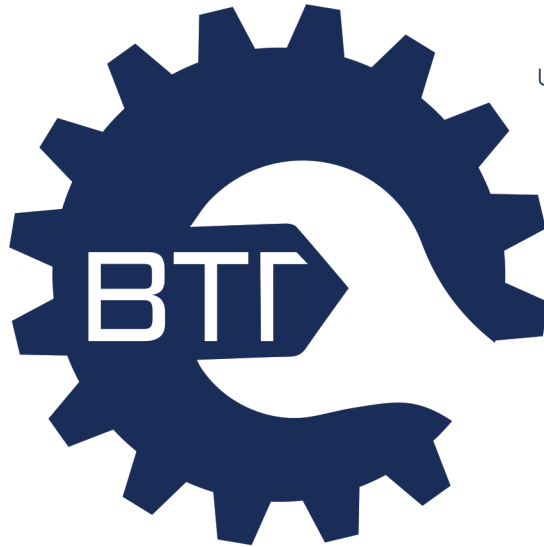
2023 1

SCIENTIFIC JOURNAL OF THE MINISTRY OF DEFENCE AND THE SERBIAN ARMED FORCES

MILITARY TECHNICAL COURIER



ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
UDC 623 + 355/359



НАУЧНИ ЧАСОПИС МИНИСТАРСТВА ОДБРАНЕ И ВОЈСКЕ СРБИЈЕ
ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК
ВОЛУМЕН 71 • БРОЈ 1 • ЈАНУАР – МАРТ 2023.



NAUČNI ČASOPIS MINISTARSTVA ODBRANE I VOJSKE SRBIJE
VOJNOTEHNIČKI GLASNIK
VOLUMEN 71 • BROJ 1 • JANUAR – MART 2023.

BTG.MO.YNP.CP6
www.vtg.mod.gov.rs
COBISS.SR-ID 4423938
DOI: 10.5937/VojnotehnickiGlasnik

ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
UDC 623 + 355/359



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ И ВООРУЖЁННЫХ СИЛ РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ

ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ТОМ 71 • НОМЕР ВЫПУСКА 1 • ЯНВАРЬ-МАРТ 2023.



SCIENTIFIC JOURNAL OF THE MINISTRY OF DEFENCE AND SERBIAN ARMED FORCES

MILITARY TECHNICAL COURIER
VOLUME 71 • ISSUE 1 • JANUARY-MARCH 2023

ВТГ.МО.УПР.СРБ
www.vtg.mod.gov.rs
COBISS.SR-ID 4423938
DOI: 10.5937/VojnotehnickiGlasnik

ВЛАСНИЦИ:

Министарство одбране и Војска Србије

ИЗДАВАЧ:

Универзитет одбране у Београду, Војна академија

УРЕДНИШТВО (странице чланова уредништва у ORCID iD-у, Google Scholar-у, Web of Science ResearcherID-у, Scopus Author ID-у и РИНЦ-у доступни су на

<http://www.vtg.mod.gov.rs/urednistvo.html>):

ГЛАВНИ И ОДГОВОРНИ УРЕДНИК

Др Драган Памучар, Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, Србија,
e-mail: dragan.pamucar@va.mod.gov.rs

УРЕДНИК

Мр Небојша Гаћеша, Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Београд, Србија,
e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, tel. 011/3603-260, 066/87-00-123

Уредник за област математике и механике

Др Драган Трифковић, Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Београд, Србија

Уредник за област електронике, телекомуникација и информационих технологија

Др Бобан Бонцулић, Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Београд, Србија

Уредник за област машинства

Др Бранимир Крстић, Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Београд, Србија

Уредник за област материјала и хемијских технологија

Др Радован Каркалић, Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Београд, Србија

УРЕЂИВАЧКИ ОДБОР:

Др Иван Гутман, Српска академија наука и уметности, Београд, Србија,

Др Градимир Миловановић, Српска академија наука и уметности, Београд, Србија,

Др Ђи-Хуан Хи, Универзитет Суџоу, Факултет за текстилну и одевну технику, Суџоу, Кина,

Др Стојан Раденовић, Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, Србија,

Др Мађид Тафана, Универзитет Ла Сал, Одељење за пословне системе и аналитику,
Филаделфија, САД,

Др Валентин Попов, Технички универзитет у Берлину, Одељење за динамику система и физику
трења, Берлин, Немачка,

Др Шанкар Чакраборти, Универзитет Жадавпур, Одељење за производно машинство, Калкута, Индија,

Др Радун-Емил Прекуп, Универзитет Политехника у Темишвару, Темишвар, Румунија,

Др Јургита Антуцхевичи, Технички универзитет Гедиминас у Вилњусу, Грађевински факултет,
Вилњус, Литванија,

Др Срећко Јоксимовић, Универзитет у Јужној Аустралији, Аделејд, Аустралија,

Др Мортеза Јаздани, Факултет за бизнис и маркетинг ESIC, Мадрид, Шпанија,

Др Прасенцит Чатерџи, Институт за инжењерство МСКV, Одељење за машинство, Ховрах, Индија,

Др Жељко Стевић, Универзитет у Источном Сарајеву, Саобраћајни факултет, Добој, Република Српска, БиХ,

Др Хамед Фазлопахтабар, Универзитет Дамган, Одељење за индустријско инжењерство, Дамган, Иран,

Др Јарослав Ватробски, Универзитет у Шчећину, Факултет за економију, финансије и
менаџмент, Шчећин, Пољска,

Др Кристиано Фрагаса, Универзитет у Болоњи, Одељење за индустријско инжењерство, Болоња, Италија,

Др Војцех Салабун, Западнопомерански технолошки универзитет у Шчећину, Факултет
рачунарских наука и информационих технологија, Шчећин, Пољска,

Др Иева Меидуте-Кавалиаускиене, Војна академија Литваније „Генерал Јонас Жемаитис“,
Вилњус, Литванија,

Др Шарка Мајерова, Универзитет одбране у Брну, Одељење за математику и физику, Брно, Чешка Република,

Др Фатих Еџер, Универзитет Афион Кођатепе, Факултет за економију и административне науке,
Афионкарахисар, Турска,

Др Ернесто Д.Р. Сантибанез Гонзалез, Универзитет у Талки, Одељење за индустријско
инжењерство, Талка, Чиле,

Др Драган Маринковић, Технички универзитет у Берлину, Факултет за машинске и транспортне
системе, Берлин, Немачка,

Др Стефано Валвано, Универзитет Коре у Ени, Одељење за ваздухопловни инжењеринг, Ена, Италија,

Др Рафал Мадонски, Универзитет Ђианан, Центар за истраживање електричне енергије, Гуанџоу, Кина,

Др Миленко Андрић, Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Београд, Србија,

Др Самарџит Кар, Национални институт за технологију, Одељење за математику, Дургапур, Индија,

Др Росен Митрев, Технички универзитет у Софији, Софија, Бугарска,

Др Бојан Милановић, Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Београд, Србија,

Др Ирик Мухамедџанов, Државни нафтни технолошки универзитет у Уфи, Уфа, Руска Федерација,

Др Павел Отрисал, Универзитет Палацки, Оломоуц, Чешка Република,

Др Радован Радовановић, Криминалистичко-полицијски универзитет, Београд, Србија.

СОБСТВЕННИКИ: Министерство обороны и Вооружённые силы Республики Сербия

ИЗДАТЕЛЬСТВО: Университет обороны в г. Белград, Военная академия

РЕДАКЦИЯ (со страницами членов редакции в ORCID iD, Google Scholar, Web of Science ResearcherID, Scopus Author ID и РИНЦ можно ознакомиться на сайте <http://www.vtg.mod.gov.rs/redakcia.html>):

ГЛАВНЫЙ И ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

Д-р Драган Памучар, Белградский университет, факультет организационных наук, г. Белград, Сербия, e-mail: dragan.pamucar@va.mod.gov.rs

РЕДАКТОР

Кандидат технических наук Небойша Гачеша, Университет обороны в г. Белград, Военная академия, г. Белград, Сербия, e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, тел. +381 11 3603 260, +381 66 87 00 123

Редактор в областях: математика и механика

Д-р Драган Трифкович, Университет обороны в г. Белград, Военная академия, г. Белград, Сербия

Редактор в областях: электроника, телекоммуникации и информационные технологии

Д-р Бобан Бонджулич, Университет обороны в г. Белград, Военная академия, г. Белград, Сербия

Редактор в области: машиностроение

Д-р Бранимир Крстич, Университет обороны в г. Белград, Военная академия, г. Белград, Сербия

Редактор в областях: материаловедение и химические технологии

Д-р Радован Каркалич, Университет обороны в г. Белград, Военная академия, г. Белград, Сербия

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Д-р Иван Гутман, Сербская академия наук и искусств, г. Белград, Сербия,

Д-р Градимир Милованович, Сербская академия наук и искусств, г. Белград, Сербия,

Д-р Джи-Хуан Хи, Университет Сучжоу, факультет текстиля и производства одежды, г. Сучжоу, Китай,

Д-р Стоян Раденович, Белградский университет, машиностроительный факультет, г. Белград, Сербия,

Д-р Маджид Тафана, Университет Ла Саль, департамент бизнес-систем и аналитики, г. Филадельфия, США,

Д-р Валентин Попов, Берлинский технический университет, департамент динамики систем и физики трения, г. Берлин, Германия,

Д-р Шанкар Чакраборти, Университет Джадавпур, департамент производственных машин, г. Калькутта, Индия,

Д-р Радун-Емил Прекуп, Политехнический университет Тимишоары, г. Тимишоара, Румыния,

Д-р Юргита Антучевичене, Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса, строительный факультет, г. Вильнюс, Литва,

Д-р Мартаз Иаздан, Школа бизнеса и маркетинга ESIC, г. Мадрид, Испания,

Д-р Прасенджит Чатерджи, Институт инженерии MCKV, департамент машиностроения, г. Хаора, Индия,

Д-р Желько Стевич, Восточно-Сараевский университет, транспортный факультет, г. Добой, Республика Сербская, БиГ,

Д-р Хамед Фазлолахтабар, Университет Дамгана, департамент промышленной инженерии, г. Дамган, Иран,

Д-р Ярослав Ватробски, Щецинский университет, факультет экономики, финансов и менеджмента, г. Щецин, Польша,

Д-р Кристиано Фрагаса, Болонский университет, департамент промышленной инженерии, г. Болонья, Италия,

Д-р Войцех Салабун, Западно-Померанский технологический университет в г. Щецин, факультет компьютерных наук и информационных технологий, г. Щецин, Польша,

Д-р Иева Меидуте-Кавалиаускиене, Литовская Военная академия им. генерала Йонаса Жемайтиса, г. Вильнюс, Литва,

Д-р Шарка Маерова, Университет обороны в г. Брно, физико-математический департамент, г. Брно, Чешская Республика,

Д-р Фатих Ецер, Университет Афьон Коджатеппе, Факультет делового администрирования, г. Афьонкарахисар, Турция,

Д-р Эрнесто Д.Р. Сантибанез Гонзалез, Университет Тальки, департамент промышленной инженерии, г. Талька, Чили,

Д-р Драган Маринкович, Берлинский технический университет, факультет машиностроительных и транспортных систем, г. Берлин, Германия,

Д-р Стефано Валвано, Университет Коре Энна, департамент авиационной инженерии, г. Энна, Италия,

Д-р Рафал Мадонски, Университет Цзинань, Центр энергетических исследований, г. Гуанчжоу, Китай,

Д-р Миленко Андрич, Университет обороны в г. Белград, Военная академия, г. Белград, Сербия,

Д-р Самарджит Кар, Национальный технологический институт, департамент математики, г. Дургапур, Индия,

Д-р Росен Митрев, Софийский технический университет, г. София, Болгария,

Д-р Боян Миланович, Университет обороны в г. Белград, г. Белград, Сербия,

Д-р Ирик Мухаметзянов, Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация,

Д-р Павел Отрисал, Университет Палацкого, Оломоуц, Чешская Республика,

Д-р Радован Радованович, Университет криминалистики и полицейской подготовки, г. Белград, Сербия.

OWNERS:

Ministry of Defence and Serbian Armed Forces

PUBLISHER:

University of Defence in Belgrade, Military Academy

EDITORIAL TEAM (the pages of the Editorial Team's members in ORCID iD, Google Scholar, Web of Science ResearcherID, Scopus Author ID, and ПИИЦ can be accessed at <http://www.vtg.mod.gov.rs/editorial-team.html>):

EDITOR IN CHIEF

Dr. Dragan Pamučar, University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, Belgrade, Serbia, e-mail: dragan.pamucar@va.mod.gov.rs

EDITOR

Nebojša Gaćeša, MSc, University of Defence in Belgrade, Military Academy, Belgrade, Serbia, e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, tel. +381 11 3603 260, +381 66 87 00 123

Editor for Mathematics and Mechanics

Dr. Dragan Trifković, University of Defence in Belgrade, Military Academy, Belgrade, Serbia

Editor for Electronics, Telecommunications and Information Technology

Dr. Boban Bondžulić, University of Defence in Belgrade, Military Academy, Belgrade, Serbia

Editor for Mechanical Engineering

Dr. Branimir Krstić, University of Defence in Belgrade, Military Academy, Belgrade, Serbia

Editor for Materials and Chemical Technologies

Dr. Radovan Karkalić, University of Defence in Belgrade, Military Academy, Belgrade, Serbia

EDITORIAL BOARD:

Dr. Ivan Gutman, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia,

Dr. Gradimir Milovanović, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia,

Dr. Ji-Huan He, Soochow University, College of Textile and Clothing Engineering, Soochow, China,

Dr. Stojan Radenović, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia,

Dr. Madjid Tavana, La Salle University, Business Systems and Analytics Department, Philadelphia, USA,

Dr. Valentin Popov, Technical University Berlin, Department of System Dynamics and Friction Physics, Berlin, Germany,

Dr. Shankar Chakraborty, Jadavpur University, Department of Production Engineering, Kolkata, India,

Dr. Radu-Emil Precup, Politehnica University of Timisoara, Department of Automation and Applied Informatics, Timisoara, Romania,

Dr. Jurgita Antuchevičienė, Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Civil Engineering, Vilnius, Lithuania,

Dr. Morteza Yazdani, ESIC Business and Marketing School, Madrid, Spain,

Dr. Prasenjit Chatterjee, MCKV Institute of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Howrah, India,

Dr. Željko Stević, University of East Sarajevo, Faculty of Transportation, Dobo, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina,

Dr. Hamed Fazlollahtabar, Damghan University, Department of Industrial Engineering, Damghan, Iran,

Dr. Jarosław Wątróbski, University of Szczecin, Faculty of Economics, Finance and Management, Szczecin, Poland,

Dr. Cristiano Fragassa, University of Bologna, Department of Industrial Engineering, Bologna, Italy,

Dr. Wojciech Salabun, West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Faculty of Computer Science and Information Technology, Szczecin, Poland,

Dr. Ieva Meidutė-Kavaliauskienė, General Jonas Žemaitis Military Academy of Lithuania, Research Group on Logistics and Defense Technology Management, Vilnius, Lithuania,

Dr. Šárka Mayerová, University of Defence in Brno, Department of Mathematics and Physics, Brno, Czech Republic,

Dr. Fatih Ecer, Afyon Kocatepe University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Afyonkarahisar, Turkey,

Dr. Ernesto D.R. Santibanez Gonzalez, Universidad de Talca, Department of Industrial Engineering, Talca, Chile,

Dr. Dragan Marinković, Technical University Berlin, Faculty of Mechanical and Transport Systems, Berlin, Germany,

Dr. Stefano Valvano, Kore University of Enna, Department of Aerospace Engineering, Enna, Italy,

Dr. Rafal Madonski, Jinan University, Energy Electricity Research Center, Guangzhou, China,

Dr. Milenko Andrić, University of Defence in Belgrade, Military Academy, Belgrade, Serbia,

Dr. Samarjit Kar, National Institute of Technology, Department of Mathematics, Durgapur, India,

Dr. Rosen Mitrev, Technical University of Sofia, Sofia, Bulgaria,

Dr. Bojan Milanović, University of Defence in Belgrade, Military Academy, Belgrade, Serbia,

Dr. Irik Mukhametzyanov, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation,

Dr. Pavel Otrisal, Palacký University, Olomouc, Czech Republic,

Dr. Radovan Radovanović, University of Criminal Investigation and Police Studies, Belgrade, Serbia.

САДРЖАЈ

ОРИГИНАЛНИ НАУЧНИ РАДОВИ

Иван Гутман

Спектрални радијус ВДБ графовских матрица 1-8

Ихаб Абдулрахман Сатам

Опсежна студија о управљању вештачком руком помоћу електроенцефалографије (ЕЕГ) 9-41

Слободан Н. Бјелић, Ненад А. Марковић

Алтернативни теоријски модел земљиног ЕМ поља заснован на хипотезама о две компоненте поља 42-65

*Никола Мирков, Душан Радивојевић, Иван Лазовић,
Узахир Рамадани, Душан Никезић*

Сателитско осматрање и дубоко учење за предвиђање аеросола 66-83

Маошенг Џенг, Хаипенг Тенг, Ји Ванг

Вишекритеријумска оптимизација заснована на вероватноћи као основа за примену новог робустног дизајна на параметре машинске обраде 84-99

ПРЕГЛЕДНИ РАДОВИ

Никола Фабиано

Аномалије у квантним теоријама поља 100-112

Ира М. Туба, Уна М. Туба, Младен Ђ. Веиновић

Методе класификације за препознавање руком писаних цифара: преглед 113-135

Зоран М. Миличевић, Зоран С. Бојковић

Војна зелена технологија: садашњост и будућност 136-152

САВРЕМЕНО НАОРУЖАЊЕ И ВОЈНА ОПРЕМА 153-167

Драган М. Вучковић

ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА 168-184

ОБАВЕШТЕЊА САРАДНИЦИМА И ЧИТАОЦИМА 185-186

СПИСАК РЕЦЕНЗЕНАТА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА 187-200

ИЗЈАВА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА О ЕТИЧКОМ ПОСТУПАЊУ 201-219

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

- Иван Гутман*
О спектральном радиусе матриц графов ВДБ 1-8
- Ихаб Абдулрахман Сатам*
Комплексное исследование об управлении искусственной рукой с помощью электроэнцефалографии (ЭЭГ) 9-41
- Слободан Н. Белич, Ненад А. Маркович*
Альтернативная теоретическая модель электромагнитного поля Земли, основанная на гипотезах о двухкомпонентном поле 42-65
- Никола Мирков, Душан Радивоевич, Иван Лазович, Узахир Рамадани, Душан Никезич*
Спутниковое дистанционное зондирование и глубокое обучение при прогнозировании распространения аэрозолей 66-83
- Маошенг Чжэн, Хайпэн Тен, Йи Вон*
Многокритериальная оптимизация, основанная на вероятности в качестве основы для применения новой робастной конструкции с параметрами механической обработки 84-99

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

- Никола Фабиано*
Аномалии в квантовых теориях поля 100-112
- Ира М. Туба, Уна М. Туба, Младен Дж. Веинович*
Методы классификации при распознавании рукописных цифр: обзор 113-135
- Зоран М. Миличевич, Зоран С. Бойкович*
Военные зеленые технологии: настоящее и будущее 136-152
- СОВРЕМЕННОЕ ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ 153-167
Драган М. Вучкович
- ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ РАБОТ 168-184
- СООБЩЕНИЯ ДЛЯ АВТОРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ 185-186
- СПИСОК РЕЦЕНЗЕНТОВ ЖУРНАЛА
«ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК» 187-200
- КОДЕКС ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЭТИКИ ЖУРНАЛА
«ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК» 201-219

CONTENTS

ORIGINAL SCIENTIFIC PAPERS

- Ivan Gutman*
On the spectral radius of VDB graph matrices..... 1-8
- Ihab Abdulrahman Satam*
A comprehensive study of EEG-based control of artificial arms 9-41
- Slobodan N. Bjelić, Nenad A. Marković*
An alternative theoretical model of the Earth's EM field based on
two-component field hypotheses 42-65
- Nikola S. Mirkov, Dušan S. Radivojević, Ivan M. Lazović,
Uzahir R. Ramadani, Dušan P. Nikezić*
Satellite remote sensing and deep learning for aerosols prediction..... 66-83
- Maosheng Zheng, Haipeng Teng, Yi Wang*
Application of new robust design by means of probability-based multi-objective
optimization to machining process parameters..... 84-99

REVIEW PAPERS

- Nicola Fabiano*
Anomalies in quantum field theories..... 100-112
- Ira M. Tuba, Una M. Tuba, Mladen Đ. Veinović*
Classification methods for handwritten digit recognition: A survey 113-135
- Zoran M. Miličević, Zoran S. Bojković*
Military green technology: present and future..... 136-152

MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT 153-167

Dragan M. Vučković

CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS 168-184


INFORMATION FOR CONTRIBUTORS AND READERS 185-186

LIST OF REFEREES OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER 187-200

PUBLICATION ETHICS STATEMENT 201-219

On the spectral radius of VDB graph matrices

Ivan Gutman

University of Kragujevac, Faculty of Science,
Kragujevac, Republic of Serbia,
e-mail: gutman@kg.ac.rs,
ORCID iD:  <https://orcid.org/0000-0001-9681-1550>

DOI: 10.5937/vojtahg71-41411; <https://doi.org/10.5937/vojtahg71-41411>

FIELD: mathematics (mathematics subject classification: primary 05C50,
secondary 05C07, 05C09)

ARTICLE TYPE: original scientific paper

Abstract:

Introduction/purpose: Vertex-degree-based (VDB) graph matrices form a special class of matrices, corresponding to the currently much investigated vertex-degree-based (VDB) graph invariants. Some spectral properties of these matrices are investigated.

Results: Generally valid sharp lower and upper bounds are established for the spectral radius of any VDB matrix. The equality cases are characterized. Several earlier published results are shown to be special cases of the presently reported bounds.

Conclusion: The results of the paper contribute to the general spectral theory of VDB matrices, as well as to the general theory of VDB graph invariants.

Keywords: Vertex-degree-based matrix, VDB matrix, vertex-degree-based graph invariant, VDB graph invariant, spectral radius (of matrix).

Introduction

This paper concerns simple connected graphs. Let G be such a graph. Its vertex and edges sets are $V(G)$ and $E(G)$, respectively, whereas its order (number of vertices) and size (number of edges) are $|V(G)| = n$ and $|E(G)| = m$, respectively. By $uv \in E(G)$, we denote the edge of G connecting the vertices u and v .

The degree (= number of first neighbors) of a vertex $u \in V(G)$ is denoted by d_u . If $d_u = r$ for all $u \in V(G)$, then G is said to be a regular graph of the degree r . If $d_u = n - 1$ for all $u \in V(G)$, then G is the complete graph (of the order n), denoted by K_n .

For other graph-theoretical notions, the readers are referred to standard textbooks (Harary, 1969; Bondy & Murthi, 1976).

In the present-day mathematical and chemical literature, a large number, well over hundred, of degree-based graph invariants of the form

$$TI(f; G) = \sum_{uv \in E(G)} f(d_u, d_v) \quad (1)$$

are being studied, where $f(x, y)$ is an appropriately chosen function with the property $f(x, y) = f(y, x)$ and $f(x, y) \geq 0$ for all $x, y = d_u, d_v$.

In chemistry, molecular physics, pharmacology, and elsewhere, these graph invariants found a great variety of applications, and are usually referred to as „topological indices“ or „molecular structure-descriptors“ (Gutman, 2013; Todeschini & Consonni, 2009; Kulli, 2020). Instead of „vertex-degree-based“ the abbreviation VDB is often used (Rada, 2014; Li et al, 2021; Monsalve & Rada, 2022).

Let the vertices of the graph G be labelled as v_1, v_2, \dots, v_n . Then, to each VDB graph invariant $TI(f; G)$, a symmetric square matrix $M(f; G)$ of the order n can be associated, whose (i, j) -element is equal to $f(d_{v_i}, d_{v_j})$ if the vertices v_i and v_j are adjacent, i.e. if $v_i v_j \in E(G)$, and is equal to zero otherwise. In particular, $TI(f; G)_{ii} = 0$ for all $i = 1, 2, \dots, n$.

As it is well known in linear algebra (Brualdi & Cvetković, 2008), the eigenvalues of $M(f; G)$ are real-valued numbers, forming the spectrum of the matrix $M(f; G)$. Further on, they will be denoted by $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ so that $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n$. Then $\lambda_1 \geq |\lambda_i|$, $i = 2, 3, \dots, n$, and therefore λ_1 is called the *spectral radius* of the corresponding VDB graph matrix (Stevanović, 2015).

In order to prove our main result, Theorem 1, we need an auxiliary lemma.

Lemma 1. Let $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n$ be the eigenvalues of the VDB matrix $M(f;G)$. Then,

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 0 \quad (2)$$

and

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i^2 = 2TI(f^2;G). \quad (3)$$

Proof. By definition of the matrix $M(f;G)$, its diagonal elements are always equal to zero. From this, Eq. (2) follows straightforwardly.

In order to arrive at Eq. (3), note that the sum of k -th powers of the eigenvalues is equal to the trace (sum of diagonal elements) of the k -th power of the respective matrix. Thus,

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \lambda_i^2 &= \text{Tr} M(f;G)^2 = \sum_{i=1}^n (M(f;G)^2)_{ii} \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M(f;G)_{ij} M(f;G)_{ji} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (M(f;G)_{ij})^2 \\ &= 2 \sum_{uv \in E(G)} (f(d_u, d_v))^2 = 2TI(f;G) \end{aligned}$$

where we used the above specified definition of the elements of the VDB matrix $M(f;G)$.

Note that the above lemma is a direct generalization of Lemma 1 in (Gutman, 2021), stated for a special case of the function f in Eq. (1), namely for $f = \sqrt{x^2 + y^2}$.

We are now prepared to state our main result

Theorem 1. Let G be a connected graph of the order n , and let λ_1 be the spectral radius of its VDB matrix $M(f; G)$. Then λ_1 is bounded as:

$$\frac{2TI(f; G)}{n} \leq \lambda_1 \leq \sqrt{\frac{2(n-1)}{n} TI(f^2; G)}. \quad (4)$$

The equality on the left-hand side holds if and only if G is regular. The equality on the right-hand side holds if $G \cong K_n$.

Proof of Theorem 1

Lower bound. We proceed in an analogous manner as in the proof of Lemma 2 in (Gutman, 2021). Thus, in view of the Rayleigh-Ritz variational principle, for an n -dimensional column-vector $\Omega = (1, 1, \dots, 1)^T$,

$$\frac{\Omega^T M(f; G) \Omega}{\Omega^T \Omega} \leq \lambda_1 \quad (5)$$

with equality if and only if $\Omega = (1, 1, \dots, 1)^T$ is an eigenvector of $M(f; G)$, corresponding to the eigenvalue λ_1 . As it is well known (Brualdi & Cvetković, 2008; Cvetković et al, 2010), this happens if and only if the graph G is regular.

The lower bound for the spectral radius follows directly from Eq. (5).

Upper bound. Eq. (2) can be rewritten as

$$\lambda_1 = -\sum_{i=2}^n \lambda_i \quad \text{i.e.,} \quad \lambda_1^2 = \left(\sum_{i=2}^n \lambda_i \right)^2$$

Using the Cauchy-Schwarz inequality, we get

$$\left(\sum_{i=2}^n \lambda_i \times 1 \right)^2 \leq \sum_{i=2}^n \lambda_i^2 \sum_{i=2}^n 1^2 = (n-1) \sum_{i=2}^n \lambda_i^2 \quad (6)$$

implying

$$\lambda_1^2 \leq (n-1) \left[\sum_{i=1}^n \lambda_i^2 - \lambda_1^2 \right] \quad \text{and} \quad n\lambda_1^2 \leq (n-1) \sum_{i=1}^n \lambda_i^2$$

i.e.,

$$\lambda_1 \leq \sqrt{\frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i^2}.$$

The upper bound for the spectral radius is followed by Eq. (3).

The equality in (6) happens if and only if $\lambda_2 = \lambda_3 = \dots = \lambda_n$, which is the case only for the complete graph K_n . Recall that the complete graph is an $(n-1)$ -regular graph, and therefore its VDB matrix is equal to $f(n-1, n-1)A(K_n)$ where $A(G)$ stands for the ordinary adjacency matrix of the graph G . Since the ordinary eigenvalues of K_n are $n-1, -1, -1, \dots, -1$ (Cvetković et al, 2010), the VDB-eigenvalues of the complete graph satisfy $\lambda_2 = \lambda_3 = \dots = \lambda_n = -f(n-1, n-1)$. The complete graph is the only connected graph whose all eigenvalues, except the spectral radius, are mutually equal.

As already mentioned, the special case of the lower bound in Theorem 1 for $f = \sqrt{x^2 + y^2}$ was reported in (Gutman, 2021). The same special case for the upper bound was recently communicated in (Lin et al, 2023).

References

- Bondy, J.A. & Murty, U.S.R. 1976. *Graph Theory with Applications*. New York: Macmillan Press. ISBN: 0-444-19451-7.
- Brualdi, R.A. & Cvetković, D. 2008. *A Combinatorial Approach to Matrix Theory and Its Applications*. New York: Chapman & Hall. Available at: <https://doi.org/10.1201/9781420082241>. ISBN: 9780429144677.
- Cvetković, D., Rowlinson, P. & Simić, K. 2010. *An Introduction to the Theory of Graph Spectra*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN: 9780521134088.
- Gutman, I. 2013. Degree-based topological indices. *Croatica Chemica Acta*, 86(4), pp.351-361. Available at: <https://doi.org/10.5562/cca2294>.
- Gutman, I. 2021. Spectrum and elergy of the Sombor matrix. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 69(3), pp.551-561. Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-31995>.
- Harary, F. 1969. *Graph Theory*. Boca Raton: CRC Press. Available at: <https://doi.org/10.1201/9780429493768>. ISBN: 9780429493768.

Kulli, V.R. 2020. Graph indices. In: Pal, M., Samanta, S. & Pal, A. (Eds.), *Handbook of Research of Advanced Applications of Graph Theory in Modern Society*, pp.66-91. Hershey, USA: IGI Global. Available at: <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-9380-5.ch003>.

Li, F., Ye, Q., Broersma, H., Ye, R. & Zhang, X. 2021. Extremality of VDB topological indices over f-benzenoids with given order. *Applied Mathematics and Computation*, 393(art.number:125757). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.amc.2020.125757>.

Lin, Z., Zhou, T. & Miao, L. 2023. On the spectral radius, energy and Estrada index of the Sombor matrix of graphs. *Transactions on Combinatorics*, 12, pp.191-205.

Monsalve, J. & Rada, J. 2022. Energy of a digraph with respect to a VDB topological index. *Special Matrices*, 10(1), pp.417-426. Available at: <https://doi.org/10.1515/spma-2022-0171>.

Rada, J. 2014. The linear chain as an extremal value of VDB topological indices of polyomino chains. *Applied Mathematical Sciences*, 8(103), pp.5133-5143. Available at: <https://doi.org/10.12988/ams.2014.46507>.

Stevanović, D. 2015. *Spectral Radius of Graphs*. Cambridge, Massachusetts: Academic Press. ISBN: 9780128020685.

Todeschini, R. & Consonni, V. 2009. *Molecular Descriptors for Chemoinformatics*. Weinheim: Wiley-VCH. ISBN: 978-3-527-31852-0.

О спектральном радиусе матриц графов ВДБ

Иван Гутман

Крагуевацкий университет, естественно-математический факультет,
г. Крагуевац, Республика Сербия

РУБРИКА ГРНТИ: 27.29.19 Краевые задачи и задачи на собственные значения для обыкновенных дифференциальных уравнений и систем уравнений

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

Резюме:

Введение/цель: Матрицы графа, основанные на вершинных степенях (ВДБ), образуют особый класс матриц, соответствующих в настоящее время широко исследованным инвариантам графа, основанным на вершинных степенях (ВДБ). В данной статье исследованы некоторые спектральные свойства подобных матриц.

Результаты: Получены общепринятые нижняя и верхняя границы спектрального радиуса матриц ВДБ. Также представлены случаи, в которых применяются равенства. В статье показано, что ранее

опубликованные результаты являются частными случаями пределов, которые теперь более подробно описаны.

Выводы: Результаты настоящей работы вносят вклад в общую спектральную теорию матриц ВДБ, а также в общую теорию инвариантов графов ВДБ.

Ключевые слова: матрица основанная на степени вершин, матрица ВДБ, инвариант графа, основанный на степени вершин, инвариант графа ВДБ, спектральный радиус (матрицы).

Спектрални радијус ВДБ графовских матрица

Иван Гутман

Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет,
Крагујевац, Република Србија

ОБЛАСТ: математика

КАТЕГОРИЈА (ТИП) ЧЛАНКА: оригинални научни рад

Сажетак:

Увод/циљ: На степенима чворова засноване, ВДБ графовске матрице образују класу специјалних матрица које одговарају, данас често истраживаним, на степенима чворова заснованим, ВДБ графовским инваријантима. Испитиване су неке спектралне особине ових матрица.

Резултати: Добијене су општеважеће доње и горње границе за спектрални радијус ВДБ матрица. Окарактерисани су и случајеви када важе једнакости. За неколико раније публикованих резултата је показано да су специјални случајеви сада у наведеним границама.

Закључак: Резултати изложени у раду представљају допринос општој спектралној теорији ВДБ матрица, као и општој теорији ВДБ графовских инваријанти.

Кључне речи: графовске матрице засноване на степенима чворова, ВДБ матрице, графовске инваријанте засноване на степенима чворова, ВДБ графовске инваријанте, спектрални радијус (матрице).

EDITORIAL NOTE: The author of this article, Ivan Gutman, is a current member of the Editorial Board of the *Military Technical Courier*. Therefore, the Editorial Team has ensured that the double blind reviewing process was even more transparent and more rigorous. The Team made additional effort to maintain the integrity of the review and to minimize any bias by having another associate editor handle the review procedure independently of the editor – author in a completely transparent process. The Editorial

Team has taken special care that the referee did not recognize the author's identity, thus avoiding the conflict of interest.

КОММЕНТАРИЙ РЕДКОЛЛЕГИИ: Автор данной статьи Иван Гутман является действующим членом редколлегии журнала «Военно-технический вестник». Поэтому редколлегия провела более открытое и более строгое двойное слепое рецензирование. Редколлегия приложила дополнительные усилия для того чтобы сохранить целостность рецензирования и свести к минимуму предвзятость, вследствие чего второй редактор-сотрудник управлял процессом рецензирования независимо от редактора-автора, таким образом процесс рецензирования был абсолютно прозрачным. Редколлегия во избежание конфликта интересов позаботилась о том, чтобы рецензент не узнал кто является автором статьи.

РЕДАКЦИЈСКИ КОМЕНТАР: Аутор овог чланка Иван Гутман је актуелни члан Уређивачког одбора *Војнотехничког гласника*. Због тога је уредништво спровело транспарентнији и ригорознији двоструко слепи процес рецензије. Уложило је додатни напор да одржи интегритет рецензије и необјективност сведе на најмању могућу меру тако што је други уредник сарадник водио процедуру рецензије независно од уредника аутора, при чему је тај процес био апсолутно транспарентан. Уредништво је посебно водило рачуна да рецензент не препозна ко је написао рад и да не дође до конфликта интереса.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 27.11.2022.

Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 14.01.2023.

Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 15.01.2023.

© 2023 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2023 Автор. Опубликовано в «Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier» (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией «Creative Commons» (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2023 Аутор. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у складу са Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



A comprehensive study of EEG-based control of artificial arms

Ihab Abdulrahman Satam

Óbuda University, Doctoral School of Safety and Security
Sciences, Budapest, Hungary;
Northern Technical University, Technical Institute / Al-hawija,
Electronic Techniques Department, Republic of Iraq,
e-mail: ihab.satam@uni-obuda.hu,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9749-0944>

DOI: 10.5937/vojtehg71-41366; <https://doi.org/10.5937/vojtehg71-41366>

FIELD: mechanics, electronics

ARTICLE TYPE: original scientific paper

Abstract:

Introduction/purpose: The electroencephalography (EEG) signal has a great impact on the development of prosthetic arm control technology. EEG signals are used as the main tool in functional investigations of human motion. The study of controlling prosthetic arms using brain signals is still in its early stages. Brain wave-controlled prosthetic arms have attracted researchers' attention in the last few years.

Methods: Several studies have been carried out to systematically review published articles as a means of offering researchers and experts a comprehensive summary of the present, state-of-the-art EEG-based control techniques used in the prosthetic arm and other technologies.

Results: 175 articles were studied, compared, and filtered to only include the articles that have strong connections to the study.

Conclusion: This study has three goals. The first one is to gather, summarize, and evaluate information from the studies published between 2011 and 2022. The second goal is to extensively report on the holistic, experimental outcomes of this domain in relation to current research. It is systematically performed to provide a wealthy image and grounded evidence of the current state of research covering EEG-based control of prosthetic arms to all experts and scientists. The third goal is to recognize the gap in knowledge that demands further investigation and to recommend directions for future research in this area.

Keywords: EEG, BCI, comprehensive study, prosthetic arms, controllers.

Introduction

The absence of the upper limb results in severe impairment in everyday life, which can further influence both the social and mental state

(Abdulrahman Satam, 2021). For these reasons, developments in cosmetic and body-driven prostheses date from some centuries ago, and they have been evolving ever since. Research showed that the estimated percentage of impaired people is rising up due to wars, conflicts, diseases, accidents, and forgotten minefields from previous battles and wars.

A prosthesis is much more than a device; it also completes a wearer's sense of wholeness. It gives emotional comfort. The history of prosthetics is not just about the advancement of medical science, it is a history of human beings who miss an essential part of themselves. The earliest known prosthetic was not an eye, leg, or arm. It was a toe, first made by Egyptians around 3000 years ago. Then development continued with the Roman Empire to the end of the Middle Ages and finally to the civil war in the United States of America.

A decade ago, prosthetic limbs were developed as a practical complementary system for impaired people. Prosthetics, or artificial limbs, are used to replace limbs that were lost or absent limbs from birth. They enable those with congenital limb differences and amputees alike to improve function and mobility. Due to advances in medical science, prosthetics have improved and are capable of remarkable things (Osama & Allauddin, 2022).

In addition to the development of the prosthetic arm (Figure 1) design, scientists are focusing on improving the control of the techniques for the purpose of accuracy, performance enhancement, and the comfort of the prosthesis.



Figure 1 – Prosthetic arm
Рис. 1 – Протез руки
Слика 1 – Протетичка рука

Ensuring the smoothness and effective control techniques of the prosthetic limb is an important factor in the interface between the wearable prosthesis and the human since the prosthetic limb is donned by a human.

Therefore, those control strategies can be classified according to the human-robot interaction method. The control of the prosthetic arm is influenced by electrophysiological signals. These signals have been well-known tools to examine the capacity and conduct of the human movement in ongoing research.

Electroencephalography (EEG) has been one of frequently used physiological signals in the control techniques of prosthetic limbs, especially in the upper limbs. EEG is considered a non-invasive and convenient method that may be appropriate for realistic application. Recently, it was found that fewer endeavors have been made to efficiently audit these reviews, as a way of offering analysts and specialists a synopsis of the current, best-in-class EEG-based control systems utilized for assistive innovation. Hence, this research has three primary objectives.

The primary aim is to deliberately assemble, abridge, assess, and organize data with respect to accuracy and estimations of the past research distributed in the publications between 2011 and 2018.

The second objective is to broadly report on all the trial results of this domain's present research. It is methodically performed to give a clear picture and grounded proof of the momentum conditions of research covering EEG-based control uses and benefits for controlling assistive robotics to every specialist and researcher. The third objective is to perceive the whole of information that requests in-depth examination and to suggest ways for future research in this domain (Mandekar et al, 2022). To achieve these objectives, the following research questions (RQs) have been put forward:

(Q1) What are the types of EEG signals that are used to control the prosthetic arm?

(Q2) How do these signals translate to control commands?

The solutions to these questions will guide the reader and enhance their knowledge of the recent development of prosthetic arms based on EEG signals. A more extensive image of various emergent topics/themes, experiments, and concepts will be offered. This paper is structured into six sections.

The following section provides a background of EEG signals and prosthetic limbs. The third section describes the methodology through which the review processes were conducted. The fourth section presents the SLR results, followed by the fifth section which reports on the results of the research questions as organized according to their sequences. Finally, the sixth section presents a discussion of the review and its conclusion.

Table 1 – Symbols

Таблица 1 – Обозначения

Табела 1 – Симболи

Symbol	Meaning
EEG	Electroencephalography
ECoGs	electrocorticograms
MEGs	magnetoencephalograms
fMRI	functional magnetic resonance imaging
fNIRS	Functional near-infrared spectroscopy
BCI	Brain-Computer Interface
SVM	Support Vector Method
FFT	Fast Fourier transform
CSP	Common spatial Pattern
LDA	Linear discriminant analysis
PSD	Power Spectral Density
LSTM	Long*short term Memory
BPNN	Back Propagation Neural Network
BMI	Brain Machine Interface
PET	Positron Emission Tomography
BFN	Brain Functional Network
ANN	Artificial Neural Network
ERP	Event-related Potential
WT	Wavelet transform
MLP	Multi-layer Perceptron
K-NN	K-Nearest Neighbor
NB	Naïve Bayes
FES	Functional Electrical Simulation

Preliminaries and literature review

In the BCI system, EEG signals are most commonly used not only for prosthetics but also for any controllable devices such as robotics arms, Exoskeletons, Wheelchairs, drones, etc. Bridges et al. (Bridges et al, 2011) and his team provide an overview of human-machine interface architecture. The article contains good information about the control system. Yanagisawa et al. (Yanagisawa et al, 2011) shows a new method of controlling a prosthetic arm using ECoG signals. The system proved its effectiveness in decoding the hand movement of a patient who suffered from a stroke and used that signal to control a prosthetic hand. Another research implemented by Taha and his team (Beyrouthy et al, 2017) is about a system that extracts the EEG signals from the brain and uses them to control a smart 3D prosthetic arm. The system showed great results and presented a reliable alternative for an invasive system. Researchers in (Bright et al, 2016) succeeded in developing an EEG-based brain control system for the prosthetic arm using a BCI Neurosky mind wave set. The system reached an accuracy of 80 %. The team of researchers in (Elstob & Secco, 2016) controlled a 5 DOF robotic and prosthetic hand. They used two software frameworks. The method showed good results both technically and economically. A study of experimenting how transradial amputees could control grasp preshaping in a prosthetic arm using an EEG-based closed Loop BMI system is done by Agashe et al. (Agashe et al, 2016). The results showed that the EEG-based BMI system is a feasible solution. Healthy participants involved in a study implemented by Vidaurre et al. (Vidaurre et al, 2016) were able to use non-invasive Motor Imagery BCI to achieve linear control of an Upper Limb FES controlled Neuro Prosthesis. An embedded system was designed by (Rashid et al, 2018) in order to control the finger movement of the prosthetic arm using EEG signals. The signal classification accuracy of this study reached an acceptable percent of 79 %. Faiman et al. (Faiman et al, 2018) investigated whether spontaneous resting-state functional connectivity could predict the degree of motor adaptation of the right (dominant) upper limb reaching in response to a robot-mediated force field. Spontaneous neural activity was measured using resting-state electroencephalography (EEG) in healthy adults before a single session of motor adaptation. Noel & Snider (Noel & Snider, 2019) used the Deep Neural Network to control the prosthetic arm. The Neural Network was used to classify the signal to detect person's intention of extending the right index finger. The model achieved an accuracy of 63.3%. Gannouni et al. (Gannouni et al, 2020) presented a study that uses machine learning in order to anticipate the

movement of all five fingers. The proposed system achieved a signal classification accuracy of 81%. A 62% accuracy was achieved for an inexpensive mind-controlled prosthetic arm based on EEG signals. The system was implemented by (Chinta et al, 2020). Fuentes-Gonzalez et al. (Fuentes-Gonzalez et al, 2021) designed a prosthetic arm using blender software. The control of the prosthetic arm was done using EEG signals. The prosthetic arm was fitted to a 64-year-old man who had suffered from an electric shock. Ali et al. (Ali et al, 2021) build an inexpensive smart functional prosthesis arm in accordance with functional and non-functional requirements to meet users' goals and requirements. Setiawan et al. (Setiawan et al, 2021) designed a system to control a prosthetic hand using EEG signals to execute flexion and extension of fingers. Chaudhry et al (Chaudhry et al, 2022) discussed EEG control algorithms for prosthetic arms. They developed a cheap three-dimensional prosthetic arm; however, it was only a prototype and could not be applied for amputees. An EEG-based control system is not restricted to prosthetic arms only since exoskeleton and robotic arms can also be included in that area. Xu, et al. (Xu et al, 2011) developed a rehabilitation system for an upper limb stroke patient where the assistive device was based on motor imaginary EEG. The system proved feasible and is fully capable of exploring patient's motor initiatives and guiding stroke patients to perform rehabilitation training effectively. The teams in (Ramos-Murguialday et al, 2012) developed a robotic hand exoskeleton based BCI to move fingers in flexion and extension movements. The results suggest that feedback contingency (proprioceptive stimulation paired with EEG SMR desynchronization) influences the motor network enhancing significantly SMR down-regulation. Formaggio et al. (Formaggio et al, 2013) present a study to perform a robot assisted task using a Bi-Manu track robot assisted arm trainer. Eight subjects participated in the study. The results suggest new perspectives for the assessment of patients with neurological disease. Tung et al. (Tung et al, 2013) performed a study of EEG to track the effect of a BCI based therapy on brain plasticity. The results suggest that motor recovery improvement comes from increasing activation in the lesion hemisphere during the BCI therapy. Krichner et al. (Krichner et al, 2014) carried out an experiment to prove that EEG and EMG can improve the adaptability of assistive devices in accordance with demands of users. The results show that both EEG and EMG predict a movement before it is physically executed. Witkowski et al. (Witkowski et al, 2014) introduced and tested a novel hybrid brain-neural computer interaction (BNCI) system fusing electroencephalography (EEG) and electrooculography (EOG) to enhance reliability and safety of continuous hand exoskeleton-driven

grasping motions. Looned et al. (Looned et al, 2014) introduced a wearable and portable system consisting of a novel lightweight Robotic Arm Orthosis (RAO), a Functional Electrical Stimulation (FES) system, and a simple wireless Brain-Computer Interface (BCI). This system is able to process electroencephalographic (EEG) signals and translate them into motions of the impaired arm. The researchers in (Hortal et al, 2015) created a system based on a hybrid upper limb exoskeleton for neurological rehabilitation. The movement was controlled by an EEG-based BMI. The system showed the combined use of a hybrid upper limb exoskeleton. Brauchle and his team in (Brauchle et al, 2015) tested the feasibility of a 3D robotic assistant to produce movements with a multi-joint exoskeleton during MI synchronization of sensorimotor oscillations in the B-band. The team of researchers in (Elnady et al, 2015) tested the feasibility of using FES. Robotic training devices facilitate motor task completion in post-stroke individuals. A robotic training device was operated to assist a pre-defined goal-directed motor task. The results showed that the participants' ability to use proprioception to control a motor output did not affect their ability to use the BCI-driven exoskeleton with FES. A novel system for the neuro-motor rehabilitation of upper limbs was presented in (Comani et al, 2015). The system was validated in three sub-acute post-stroke patients. The system permits synchronized cortical and kinematic measures by integrating high-resolution EEG, a passive robotic device and Virtual Reality. The brain functional re-organization was monitored in association with motor patterns replicating activities of daily living (ADL). The patients underwent 13 rehabilitation sessions. Soekadar et al. (Soekadar et al, 2015) introduced a novel brain/neural-computer interaction (BNCI) system that integrates electroencephalography (EEG) and electrooculography (EOG) to improve control of assistive robotics in daily life environments. In (Bhagat et al, 2016), researchers demonstrated the feasibility of detecting a motor intent from the brain activity of chronic stroke patients using an asynchronous electroencephalography (EEG)-based brain machine interface (BMI). Another investigation was implemented in (Tang et al, 2016). They investigated whether self-induced variations of the electroencephalogram (EEG) can be useful as control signals for a man-made upper-limb exoskeleton. A BMI based on event-related desynchronization/synchronization (ERD/ERS) is proposed. The study showed that the system is effective to control the upper limb exoskeleton. A rehabilitation approach based on BCI providing contingent sensory feedback of brain activity was presented by Alexander et al. (Frolov et al, 2017). The results proved that adding BCI control to exoskeleton assistive devices can improve the rehabilitation process for

post stroke patients. The researchers in (Buerkle et al, 2021) presented a novel approach of how upper-limb movement intentions can be measured with a mobile electroencephalogram (EEG). The results suggested high detection accuracies and potential time gains of up to 513 ms to be achieved in a semi-online system. Thus, the time advantages included in a simulation demonstrated the potential to increase a system's reaction time and therefore improve the safety and the fluency of Human-Robot Collaboration. The EEG based control systems have application in the field of robotic arms. Steinisch et al. (Steinisch et al, 2013) proposed a system for neuro-motor rehabilitation of the upper limbs in stroke survivors. The system is composed of a passive robotic device (Trackhold) for kinematic tracking and gravity compensation, five dedicated virtual reality (VR) applications for training of distinct movement patterns, and high-resolution EEG for synchronous monitoring of cortical activity. Another study was conducted by Shedeed et al. (Shedeed et al, 2013). They presented a BMI system based on EEG signals to control three movements (open arm, close arm, and close hand). The signal classification accuracy reached up to 91%. The researchers in (Bhattacharyya et al, 2014) proposed a novel approach toward EEG-driven position control of a robot arm by utilizing motor imagery. The results showed that the system is effective in the rehabilitation process. The team in (Xu et al, 2015) designed a BCI-based online robot control system. The study included 30 participants. The system proved its effectiveness and reliability. The total accuracy of the system reached up to 91 %. Meng et al. (Meng et al, 2016) designed a system to control a robotic arm to perform reach and grasp based on non-invasive BCI technology. Thirteen participants were included in this research. The system showed that the subjects can control the arm through modulation of their brain with the training. Karakoc et al. (Karakoc et al, 2017) designed a robotic arm using solidwork software. The arm can be controlled using brainwaves. The study was successful – however, although the arm was successfully controlled, it was not applicable (only a prototype). Bousseta et al. (Bousseta et al, 2018) proposed a novel BCI system that consists of controlling a robot arm based on the user's thoughts. Four subjects (1 female and 3 males) aged between 20 and 29 participated in the experiment. They were instructed to imagine the execution of movements of the right hand, the left hand, both right and left hands or the movement of the feet depending on the protocol established. A dynamical system conceptual and preliminary design together with system modeling are introduced in (Szabolcsi, 2019). Both dynamical system design and analysis tasks based on classical and modern control engineering approaches are handled in (Szabolcsi, 2020) using MATLAB.

Research methodology used in the study

An extensive literature search was carried out. The search covered studies between 2011 and 2018. Only full-text papers published in English were considered. In this research, the combination of keywords (BCI or Brain-Computer Interface or EEG or Electroencephalography) and (Prosthetic Limb, Prosthetic Arms or Robot) and (Control Method) is used. Figure 2 shows the process of how the chosen papers were selected in this research.

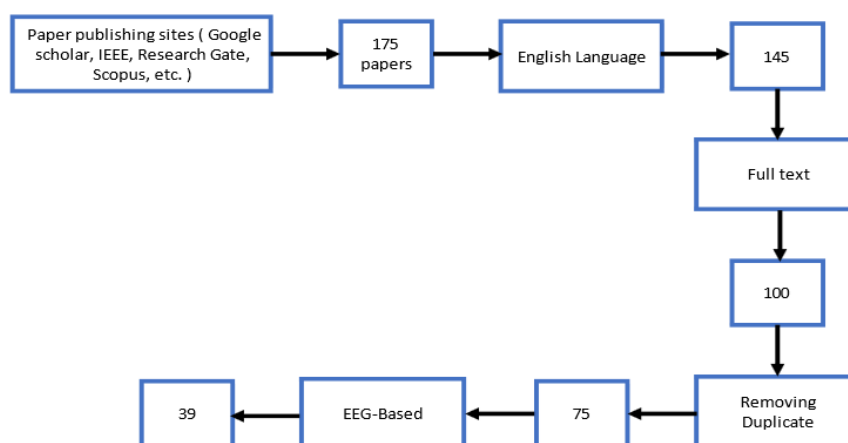


Figure 2 –Research method
 Рис. 2 – Метод исследования
 Слика 2 – Метод истраживања

From the figure above, the number of selected papers was decreased due to the application of several filters depending on the type of the papers, e.g. full text or not. Only English language papers were chosen, also depending on the type of input signals, i.e. EEG signals. Only the articles that dealt with an upper limb (Arm, Hand) were included.

Figure 3 shows the distributions of the articles regarding the EEG-Based Control method for artificial upper limbs (as prosthetic arms or assistive devices or robotic arms). Years from 2013 till mid of 2016 witnessed a rise in research interest in this area.

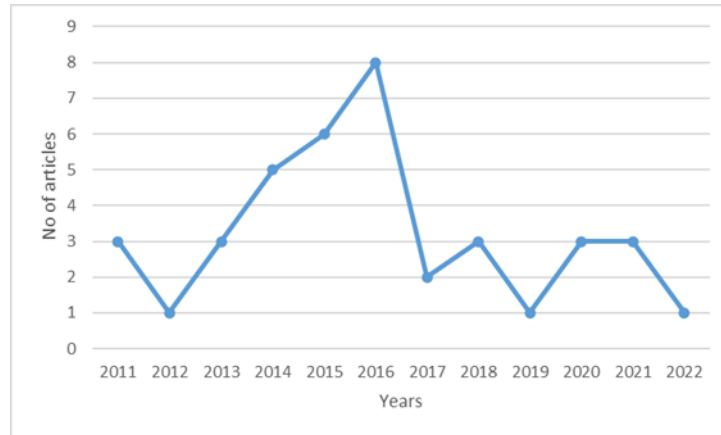


Figure 3 – Publication distribution
 Рис. 3 – Распространение публикаций
 Слика 3 – Распoдела публикација

Background

Prosthetic limbs

In this section, the focus of the prosthetic limb will be on the prosthetic arms type. The prosthetic arm consists of several components that work together to make the arm useful.

- Limb. The limbs of a prosthetic arm are formed out of lightweight, yet durable materials.
- Socket. The socket connects the prosthesis to the residual limb to ensure that it fits securely. A poor fit can cause considerable discomfort and reduce the function of the prosthetic arm. To circumvent this problem, prosthetics are made using a personalized mold to fit the exact shape of the residual limb.
- Suspension system. The suspension system is the component that secures the prosthetic to the residual limb. There are different suspension systems, including a harness, an elastic sleeve, a suction socket, or a self-suspending socket.
- Control system. While the brain controls a natural limb and nerve impulses, a prosthetic arm cannot be controlled the same way. Control systems are myoelectric, body-powered, or motor-controlled.

Electroencephalography (EEG)

Electroencephalography (EEG) is the most common brain signal that has been utilized in brain-machine interface applications. This popularity

is due to several facts: EEG signals are non-invasive, low cost, compatible, portable and have a high temporal resolution in comparison with other brainwave measurements such as electrocorticograms (ECoGs), magnetoencephalograms (MEGs), functional magnetic resonance imaging (fMRI) and near-infrared spectroscopy (fNIRS).

Electroencephalography can be defined as the measurement of the electric brain activity caused by currents induced by neurons within the brain (Murphy et al, 2017). The EEG signal can be detected in a non-invasive way by placing the electrode on the scalp. This justifies why the EEG measurement is the most widespread brain activity measurement technique. In addition, it is comparatively affordable and provides a high temporal resolution (about 1 ms). However, it has a weak signal and is prone to several artifacts and relatively poor spatial resolution.

In EEG measurement, detected waveforms reveal cortical electrical activity. The signal intensity of EEG activity is often quite small and measured in the microvolt (μV) range (Übeyli, 2009; Acharya et al, 2019). The main EEG rhythms are classified based on the frequency range as alpha (α), beta (β), delta (δ), theta (θ) and gamma as shown in Table 1.

Table 1 – EEG frequencies
Таблица 1 – Частоты ЭЭГ
Табела 1 – ЕЕГ фреквенције

EEG	Frequencies	Description
Delta δ	0.5-4	Appear in infant and deep sleep
Theta θ	4-8	Appear in partial and temporal areas in children
Alpha α	8-13	Occur in awoken adults in the parietal and frontal region of the scalp
Beta β	13-30	These waves are related to the movements and commonly appear in the frontal and central lobe. The decreasing of the Beta rhythm indicates a movement, preparation of movements, planning a move, or imagining a movement. This decrease is most dominant in the contralateral motor cortex. This attenuation in Beta waves is called event-related desynchronization. The rhythms increase after the movement and are known as event-related synchronization.
Gamma γ	>30	These are higher rhythms that have frequencies of more than 30 Hz.

Results

During the systematic review, 39 articles were chosen for principal studies and all of them were using EEG as an input signal.

However, the output was either a prosthetic limb, an exoskeleton device, or a robotic arm.

Figure 4 shows the number of studies that dealt with each one considered in this paper.

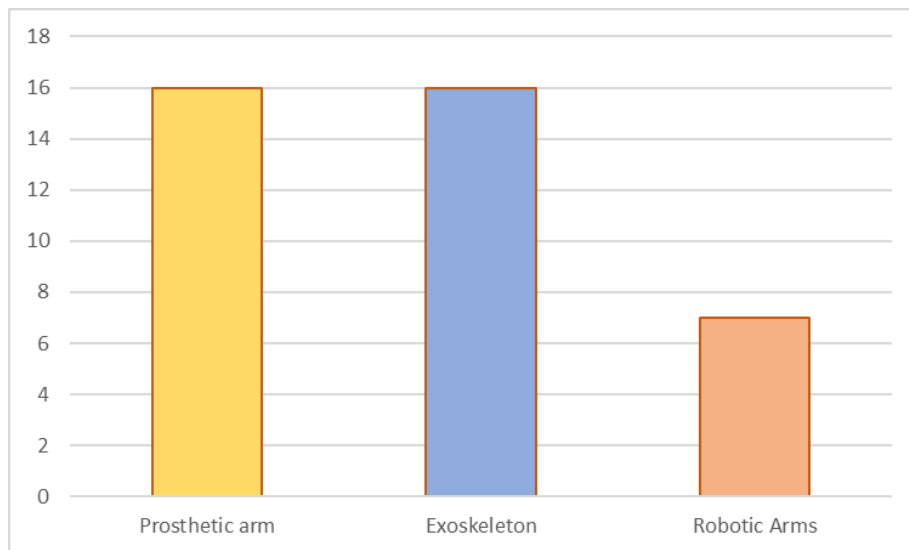


Figure 4 – Articles dealing with EEG application

Рис. 4 – Статји о примении ЕЕГ

Слика 4 – Чланци о примени ЕЕГ апликације

The systematic review results in 39 papers, chosen as principal studies and published in the field of EEG-based control of prosthetic arms, exoskeleton, and robotic arms, are shown in Tables 2,3, and 4, respectively.

Table 2 – Prosthetic arm
Таблица 2 – Протез руки
Табела 2 – Протетичка рука

Reference No.	EEG Extraction Method	Controller Used	No. of movements	year
(Bridges et al, 2011)	Not specified	Not specified	Grasp	2011
(Yanagisawa et al, 2011)	Feature extraction: bandpass filter (Fast Fourier Transform) Classifier : Support Vector Machine SVM	Not Specified	Grasp, extension of the second and third finger (scissor shape)	2011
(Beyrouthy et al, 2017)	Not specified	Raspberry Pi + Arduino	Close and open hand	2016
(Bright et al, 2016)	Not specified	Arduino UNO	Flexion, extension, pinch	2016
(Elstob & Secco, 2016)	CSP spatial filter for extraction Linear Discriminant analysis LDA for classifier	Arduino UNO	Open, close	2016
(Agashe et al, 2016)	High-pass and low-pass second-order Butterworth filters	Built-in controller	Grasp	2016
(Vidaurre et al, 2016)	Band Pass filter for Extraction, LDA as a classifier	Not specified	Control, right hand or left hand	2016
(Rashid et al, 2018)	Data Processing: low and high pass filter Feature extraction : calculation o band power from PSD Classification: Logistic regression classifier network	Arduino UNO	Finger flexion and extension	2018
(Faiman et al, 2018)	Data was filtered with Bandpass and Notch filter Data extraction using Fast Fourier Transform	Not specified	Reaching	2018



Reference No.	EEG Extraction Method	Controller Used	No. of movements	year
(Noel & Snider, 2019)	Extraction and analysis : Power spectral density Classification : Support vector machine	Not specified	Flexion and extension of fingers	2019
(Gannouni et al, 2020)	Extracting CSP Classifying: LDA	Not specified	Finger movements	2020
(Chinta et al, 2020)	Classification : LSTM (Long-Short Term Memory Model	Not specified	Upward and downward arm movement	2020
(Fuentes-Gonzalez et al, 2021)	Not specified	Arduino UNO	Open and close hand	2020
(Ali et al, 2021)	Not specified	Not specified	Arm movement, fingers open and close	2021
(Setiawan et al, 2021)	RC Filter OP AMP for Signal Extraction	Arduino UNO	Flexion and extension of fingers	2021
(Chaudhry et al, 2022)	Extraction : FFT Classification: SVM	Arduino UNO	Fingers flexion and extension	2022

Table 3 – Exoskeleton
Таблица 3 – Экзоскелет
Табела 3 – Егзоскелет

Reference No.	EEG Extraction Method	Controller Used	No. of movements	year
(Xu et al, 2011)	Extraction: WT Classification: LDA	Not specified	Right and left arm	2011
(Ramos-Murguialday et al, 2012)	Spatial filter	Not specified	Fingers flexion and extension	2012
(Formaggio et al, 2013)	Sampling : Band Pass Filter and FFT	Not specified	Hand movement	2013
(Tung et al, 2013)		Not specified	Upper arm movement	2013

Reference No.	EEG Extraction Method	Controller Used	No. of movements	year
(Krichner et al, 2014)	Sampling: FFT Band Pass Filter and Spatial filter Classification: SVM	Not specified	Upper arm movement	2014
(Witkowski et al, 2014)	Sampling Band Pass Filter Preprocessing: Laplacian filter	Not specified	Hand movement	2014
(Looned et al, 2014)	Extraction: Spatial Filter Classifier: Linear Classifier	Not specified	Arm movement and grasp	2014
(Hortal et al, 2015)	Sampling : Notch Filter Extracting : Band Pass Filter Classifier: SVM	Not specified	Elbow flexion and extension	2015
(Brauchle et al, 2015)	Digitization: High Pass Filter Classification : Linear Classification	Not specified	Arm reaching movement	2015
(Elnady et al, 2015)	Extract: common spatial pattern Algorithm Classifier: Linear Discriminant Analysis LDA	Not specified	Elbow flexion , extension hand open and close	2015
(Comani et al, 2015)	Samplings: notch and Bandpass filter	Not specified	Upper arm movement	2015
(Soekadar et al, 2015)	Sampling band pass filter preprocessing: Laplacian +- filter	Not specified	Upper arm movement	2015
(Bhagat et al, 2016)	Sampling : High then Low Pass Filter Classification: SVM	Not specified	Elbow flexion extension	2016
(Tang et al, 2016)	Sampling : Notch and Band Pass Filter Classifier: LDA, SVM, BPNN	Not specified	Right- and left-hand movement both feet movement	2016
(Frolov et al, 2017)	Extraction: Band Pass Filter classify: Bayesian classifier	Not specified	Hand open and close	2017
(Buerkle et al, 2021)	Extraction :FFT Classification: SVM	Not specified	Right and left hand	2021

Table 4 – Robotic arm
 Таблица 4 – Роботизированная (бионическая) рука
 Табела 4 – Роботичка рука

	Reference No.	EEG Extraction Method	Controller Used	No. of movements	year
1	(Steinisch et al, 2013)	Sampling : Notch and Bandpass filter	Not specified	Arm movement	2013
2	(Shedeed et al, 2013)	Extraction: WT, FFT, PCA Classifier: SVM	Not specified	Close and open arm Close hand	2014
3	(Bhattacharyya et al, 2014)	Extraction: FFT Classifier: SVM	Not specified	Arm movement, left, right and forward	2014
4	(Xu et al, 2015)	Extraction: WT Classifier: LDA	Not specified	Arm move upward and downward	2015
5	(Meng et al, 2016)	Not specified	Not specified	Arm movement: left, right, up, down	2016
6	(Karakoc et al, 2017)	Not specified	Arduino	Open and close hand	2017
7	(Bousseta et al, 2018)	Extraction: FFT Classifier: SVM	Not specified	Arm base right, left Elbow up and down	2018

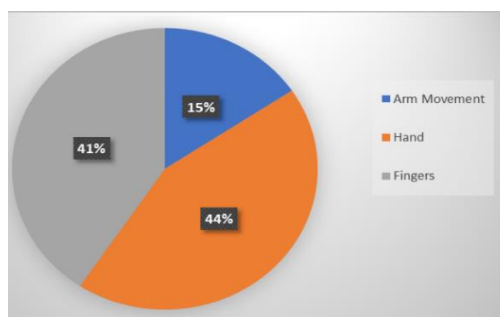


Figure 5 – EEG signal control in the prosthetic arm research studies from Table 2
 Рис. 5 – Управление сигналом ЭЭГ в исследованиях о протезировании руки из Таблицы 2

Слика 5 – Управљање ЕЕГ сигналом у истраживачким студијама које се баве протетичком руком (табела 2)

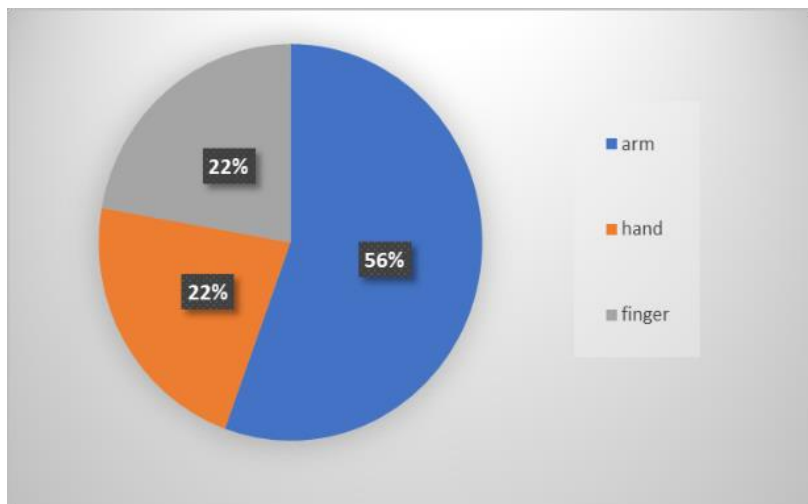


Figure 6 – EEG signal control in the exoskeleton research studies from Table 3
Рис. 6 – Управление сигналом ЭЭГ в исследованиях экзоскелета из Таблицы 3
Слика 6 – Управљање ЕЕГ сигналом у истраживачким студијама које се баве екзоскелетом (табела 3)

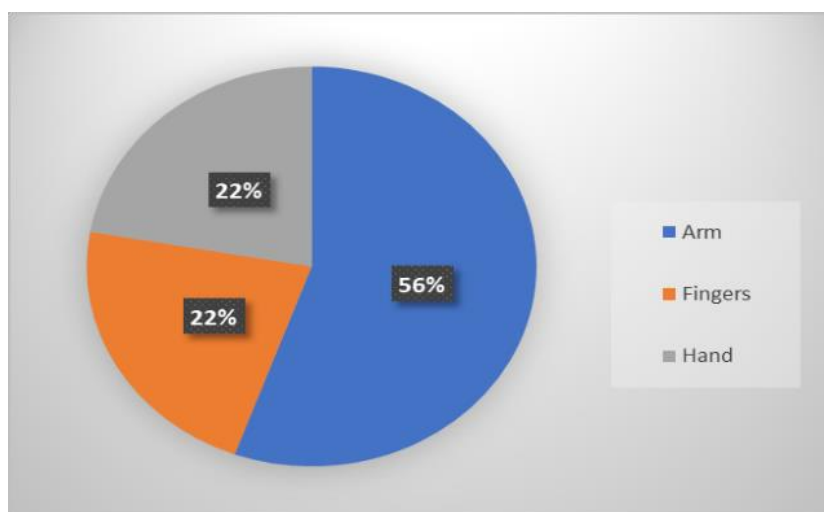


Figure 7 – EEG signal control in the robotic arm research studies from Table 4
Рис. 7 – Управление сигналом ЭЭГ в исследованиях роботизированной руки из Таблицы 4
Слика 7 – Управљање ЕЕГ сигналом у истраживачким студијама које се баве роботичком руком (табела 4)

EEG signal types

EEG is nowadays considered a successful non-invasive realistic and practical Brain-Machine Interface BMI Technique. This is due to the fact that other techniques are considered high cost, e.g. magnetoencephalography (MEG) and positron emission tomography (PET).

Three key elements characterise the EEG-based prosthetic arm: the type of EEG signals, which part of the prosthetic arm is under control, and how to translate the EEG signal to a control command to manage the prosthesis. Figure 8 shows these key elements.

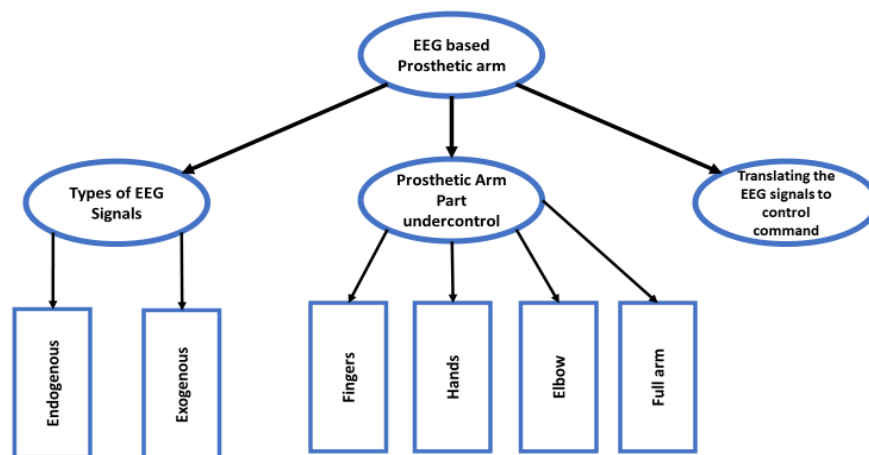


Figure 8 – Research elements

Рис. 8 – Элементы исследования

Слика 8 – Елементи истраживања

Endogenous and exogenous EEG signals

Depending on the movement type, the prosthetic arm can be managed by utilizing exogenous or endogenous EEG signals.

Table 5 shows the differences between these two types.

Table 5 – EEG signal types
 Таблица 5 – Типы сигналов ЭЭГ
 Табела 5 – Типови ЕЕГ сигнала

EEG Signal	Description	Advantages	Disadvantages	Types	Description
Exogenous	Generated by applying external stimuli like auditory or virtual clue	Minimum training for participants	1- Require a lot of focus. 2- Participants can be really exhausted from strong stimuli.	Steady State Visually Evoked Potential (SSVEP)	The reaction to the stimuli is at different frequencies. If the participant looks at a flashing light with specific frequency, the EEG signal from the visual cortex would be at the same frequency
				P-300 Based Interface	The same as SSVEP but the data transfer rate is lower
Endogenous	Does not need external stimuli	Participants with neurological problems can control prosthesis automatically	1- Need more training 2- Data transfer rate is lower	Sensorimotor Rhythms (SMR)	Endure two kinds of amplitude modulations known as event-related desynchronization (ERD) and event-related synchronization (ERS)
				Slow Cortical Potentials (SCP)	Slow event-related direct-current shifts of the electroencephalogram. Slow cortical potential shifts in the electrical negative direction reflect the depolarization of large cortical cell assemblies, reducing their excitation threshold.

Abdulrahman Satam, I., A comprehensive study of EEG-based control of artificial arms, pp.9-41

Prosthetic arm parts

The control of a prosthetic arm has different paradigms represented by whether the control includes only fingers, hand, elbow, or a full arm. Every part requires different types of signals. Besides, the time of training is dependent on the parts.

A - Fingers

Both human hands have four fingers and a thumb each. The fingers have two main moves: flexion and extension. The flex movement is mainly for grasping, while extension is for reaching things. Due to flexion, several modes can be made, i.e. bending, making a fist, gripping, grasping and folding fingers. On the other hand, the extension of fingers includes the following modes: pointing, stretching out, and spreading out.

The thumb is responsible for 50% of the hand function. The thumb has two joints at the end and middle which flex and extend, just like the fingers. The next joint down, however, is highly specialized and allows several unique movements not possible in the fingers. These are the following motions: circumduction, abduction, adduction, and repulsion.

There are several studies regarding finger movements using EEG signals implemented over the last few years. Paek et al. (Paek et al, 2014) investigated how the finger tapping movement can be decoded from the scalp EEG signals. The study shows that finger kinematics can be inferred from delta band filtered fluctuation of the amplitude of EEG signals across the scalp using linear decoders with memory. Ketenci & Kayikcioglu (Ketenci & Kayikcioglu, 2019) studied the effect of theta brainwaves on movement detection. Four right-handed participants performed extensions with their fingers using EEG. They proved that theta signals participate in movement execution. Mohamed & Aharonson (Mohamed & Aharonson, 2021) studied the movement of wrist and fingers together (i.e. left finger and wrist or right finger and wrist). The results suggest that a combination of classifiers and features from different frequency bands could improve BCI performance to enable more dexterous control of a bionic hand. Rashid and his team (Rashid et al, 2018) designed a system that can be used to control the fingers of a prosthetic limbs using EEG signals. For this system, a two-staged classifier was used. The classifier was able to distinguish between three finger movements, the thumb, and the fist with an accuracy of 70%. A novel method of classification of four finger movements (thumb movement, index finger movement, middle and index finger combined movement, and fist movement) of the right hand on the basis of EEG (Electroencephalogram) data of the movements was

presented by Javed's team (Javed et al, 2017). The PSD and Linear Regression models were used to classify the signals. These classifiers had an accuracy of 65%. Liao et al. (Liao et al, 2014) investigated the discrimination of individual fingers from one hand using non-invasive EEG. The experimental results demonstrated that a movement-related spectral structure could be decoupled from EEG power spectrum density data using the Principal Component Analysis with an accuracy achieved of 77.11% .

B - Hand

The hand movements include the fingers and the wrist movements. The wrist joint flexes and extends, but also deviates radially and ulnarly (moves from side to side). The word radially means "toward the thumb side". The term ulnarly means "toward the pinky side". One might use this motions when swinging a hammer. A study of implementing an algorithm for wrist movement detection was implemented by Ghani et al. (Ghani et al, 2013) - the movements of the hand were flexion and extension. The accuracy achieved by this algorithm was up to 91.93 % using discrete cosine transformation of energy and entropy. Huong et al. (Huong et al, 2018) used Event-Related Potential (ERP) components of P300, and the advanced features combined in Artificial Neural Network (ANN) were used to classify the electroencephalogram (EEG) signals associated with the left and right-hand movements. The results of classification are quite good and promising for the application in a BCI context to mentally control a computer or a machine.

Ting Li et al. (Li et al, 2018) proposed a model of voluntary hand movement decoding based on an HLM. The original intention of this design was to identify a computing architecture that could contain and describe complex data, such as that of an EEG BFN. Ramalingam et al. (Ramalingam et al, 2016) use machine learning algorithms to extract and classify signals from the brain to execute the motion of fingers and wrist rotation. four classes of right-hand movements were considered. The descriptive statistical features were computed from EEG signals. Feature selection was carried out to reduce the classifier complexity and an accuracy of 80.55% was achieved using the C4.5 decision tree algorithm.

C - Elbow

The elbow is one of the most important parts of the arm because it allows the hand to move in almost any position so that various activities can be done. The movements that can be done with the elbow are flexion and extension. Ji-hoon et al. presented a study of the classification of

forearm movements according to elaborated rotation angles using electroencephalogram (EEG) signals (Jeong et al, 2020). They used the Hierarchical Low Convolutional Neural Network (HF-CNN) model for robust classification. The experimental results demonstrate the possibility of decoding complex kinematics information using EEG signals. Ghani et al. (Ghani et al, 2012) used EEG to analyze brain activity in order to translate human elbow movements to the movements of an artificial actuator. The work achieved 73% accuracy in the classification of the elbow movements using EEG. Faizal et al. designed an orthosis control system as a rehabilitation device by using a classification method with EEG and EMG signals, so that subjects who use this tool can carry out rehabilitation in upper arm movements, especially in the elbow joint. The system reached an accuracy of 85.2% with three movements: relax, flexion, and extension (Ferdiansyah et al, 2020).

Translating the EEG signal to the control command

EEG signal decoding has several stages in order to reach the desired output. These common stages are preprocessing, feature extraction, and classification. At each stage, an algorithm is applied.

A - Preprocessing

EEG records electrical potentials generated by nerve cells. Electrodes are placed on the scalp and recorded by amplification. By this procedure, the obtained data shows a continuous graphic with the spatial distribution of the voltage changes over time. In order to translate brain activity into commands, there are three steps to be applied. First, the brain activity is recorded with an acquisition device. Then, artifacts are unwanted faulty parts of signals that are removed from signals (Gupta & Singh, 1996).

B - Feature extraction

Relevant features are extracted by methods such as Fast Fourier Transform (FFT), Wavelet Transform (WT), and Eigenvectors (Zhang et al, 2008). There are different methods for feature extraction of the signal such as FFT, WT, Eigenvectors, Time-frequency Distributions, and Autoregressive Method. Table 6 shows every method mentioned earlier with their advantages and disadvantages.

Table 6 – Feature extraction techniques
 Таблица 6 – Методы выявления признаков
 Табела 6 – Технике издвајања карактеристика

Name	Advantages	Disadvantages
FFT	1- Good tool for stationary signal processing 2- It is more appropriate for narrowband signals, such as sine wave 3- It has an enhanced speed over virtually all other available methods in real-time applications	1- Not good with nonstationary signals like EEG. 2- Suffers from large noise sensitivity
WT	1- It is better suited for the analysis of sudden and transient signal changes	Needs selecting a proper mother wavelet
Eigen vector	Provides suitable resolution to evaluate the sinusoid from the data	Lowest eigenvalue may generate false zeros when Pisarenko's method is employed
Time frequency distribution	1- It gives the feasibility of examining great continuous segments of the EEG signal 2- TFD only analyzes clean signals for good results	1- Time-frequency methods are oriented to deal with the concept of stationary; as a result, a windowing process is needed in the preprocessing module 2- It is quite slow (because of the gradient ascent computation) 3- Extracted features can be dependent on each other
Autoregressive	1- AR limits the loss of spectral problems and yields improved frequency resolution 2- Gives good frequency resolution 3- Spectral analysis based on the AR model is particularly advantageous when short data segments are analyzed, since the frequency resolution of an analytically derived AR spectrum is infinite and does not depend on the length of analyzed data	1- The model order in AR spectral estimation is difficult to select 2- The AR method will give poor spectral estimation once the estimated model is not appropriate, and the models' orders are incorrectly selected 3- It is readily susceptible to heavy biases and even large variability

C - Classification

A classifier utilizes values for independent variables (features) as inputs to predict the corresponding class to which an independent variable belongs. A classifier has a number of parameters that require training from a training dataset (Wen et al, 2021). A trained classifier will model the association between classes and corresponding features and is capable of identifying new instances in an unseen testing dataset. Several techniques of classification are explained in Table 7.

Table 7 – Classification techniques
Таблица 1 – Методы классификации
Табела 1 – Технике класификације

No	Method	Description
1	SVM	The SVM is a supervised learning algorithm that uses a kernel trick to transform input data into higher dimensional space, after which it segregates the data via a hyper-plan with maximal margins. Due to its ability to manage large datasets, the algorithm is widely used for binary classification problems in machine learning.
2	MLP	The MLP is a non-linear neural network based method comprising three sequential layers: input, hidden and output, respectively, where the hidden layer transmits input data to the output layer. However, the MLP model can cause over-fitting due to insufficient or excessive numbers of neurons.
3	NB	The NB classifier provides simple and efficient probabilistic classification based on Bayes' theorem, which posits that extracted features are not dependent. The NB model uses (i) a maximum probability algorithm to determine the class of earlier probabilities, and (ii) a feature's probability distribution from a training dataset. Results are then employed with a maximized posteriori decision tree to find the specific class label for a new test instance.
4	K-NN	The k-nearest neighbor is a supervised learning algorithm that identifies a testing sample's class according to the majority class of k-nearest training samples; i.e., a class label is allocated to a new instance of the most common class amongst KNN in the "feature" space. In this study, the k value was set to three.
5	K-fold cross validation	All classification models in the present work were trained and tested with EEG data and then confirmed using k-fold cross validation, which is a commonly used technique that compares (i) performances of two classification algorithms, or (ii) evaluates the performance of a single classifier on a given dataset (Wong, 2015). It has the advantage of using all instances in a dataset for either training or testing, where each instance is employed for validation exactly once.
6	LDA	It consists of the statistical properties of the data calculated for each class. For a single input variable (x), these are the mean and the variance of the variable for each class. For multiple variables, these are the same properties calculated over the multivariate Gaussian, namely the means and the covariance matrix. These statistical properties are estimated from the data and plug into the LDA equation to make predictions. These are the model values that would be saved to file for the model.

Conclusion

The study of EEG-based prosthetic arms includes a wide range of fields to be familiar with, such as anatomy, signal processing, control methods, and design. All these fields represent sciences in themselves. Although researchers have done good work regarding prosthetic arm control, more needs to be done, such as increasing the accuracy in EEG signal extracting and faster control.

The use of automatic prosthetic arms is already an accepted method. It is considered one of the methods that aim to be applicable for lower limbs, wheelchairs, cars, and even drones.

In future research based on a Ph.D. thesis, the five extraction methods mentioned in Table 6 and the six classification methods mentioned in Table 7 will be used to control the full motion of the arm moving an object from one place to another using LabView or MATLAB simulation. Subsequently, a method with high accuracy will be applied for an actual prosthetic arm using Raspberry pi 4 controller.

References

Abdulrahman Satam, I. 2021. Review Studying of the Latest Development of Prosthetic Limbs Technologies. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 12(12), pp.721-731 [online]. Available at: <https://www.ijser.org/research-paper-publishing-december-2021.aspx> [Accessed: 20 November 2022].

Acharya, U.R., Hagiwara, Y., Nitin, Deshpande, S.N., Suren, Koh, J.E.W., Oh, S.L., Arunkumar, N., Ciaccio, E.J. & Lim, C.M. 2019. Characterization of focal EEG signals: A review. *Future Generation Computer Systems*, 91, pp.290-299. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.08.044>.

Agashe, H.A., Paek, A.Y. & Contreras-Vidal, J.L. 2016. Chapter 4 - Multisession, noninvasive closed-loop neuroprosthetic control of grasping by upper limb amputees. *Progress in Brain Research*, 228, pp.107-128. Available at: <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2016.04.016>.

Ali, H.A., Goga, N., Vasilateanu, A., Ali, L.A., Abd-Almuhsen, G.S. & Naji, H.K. 2021. A Quantitative Research to Determine User's Requirements for the Mind-Controlled Prosthesis Arm Intelligent System. In: *2021 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, Pitesti, Romania, pp.1-8, July 01-03. Available at: <https://doi.org/10.1109/ECAI52376.2021.9515168>.

Beyrouthy, T., Kork, S.A., Korbane, J.A. & Abouelela, M. 2017. EEG Mind Controlled Smart Prosthetic Arm – A Comprehensive Study. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 2(3), pp.891-899. Available at: <https://doi.org/10.25046/aj0203111>.

Bhagat, N.A., Venkatakrishnan, A., Abibullaev, B., Artz, E.J., Yozbatiran, N., Blank, A.A., French, J., Karmonik, C., Grossman, R.G., O'Malley, M.K., Francisco, G.E. & Contreras-Vidal, J.L. 2016. Design and Optimization of an EEG-Based Brain Machine Interface (BMI) to an Upper-Limb Exoskeleton for Stroke Survivors. *Frontiers in Neuroscience*, 10(March), art.number:122, pp.1-17. Available at: <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00122>.

Bhattacharyya, S., Konar, A. & Tibarewala, D.N. 2014. Motor imagery, P300 and error-related EEG-based robot arm movement control for rehabilitation purpose. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 52, pp.1007-1017. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11517-014-1204-4>.

Bousseta, R., Ouakouak, I.El, Gharbi, M. & Regragui, F. 2018. EEG Based Brain Computer Interface for Controlling a Robot Arm Movement Through Thought. *IRBM*, 39(2), pp.129-135. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2018.02.001>.

Brauchle, D., Vukelić, M., Bauer, R. & Gharabaghi, A. 2015. Brain state-dependent robotic reaching movement with a multi-joint arm exoskeleton: Combining brain-machine interfacing and robotic rehabilitation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(October), art.number:564, pp.1-13. Available at: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00564>.

Bridges, M.M., Para, M.P. & Mashner, M.J. 2011. Control system architecture for the modular prosthetic limb. *Johns Hopkins Apl Technical Digest*, 30(3), pp.217-222 [online]. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=aaefaff90b3f4102edb9c8de565a08ff1641deb5> [Accessed: 20 November 2022].

Bright, D., Nair, A., Salvekar, D. & Bhisikar, S. 2016. EEG-based brain controlled prosthetic arm. In: *2016 Conference on Advances in Signal Processing (CASP)*, Pune, India, pp.479-483, June 09-11. Available at: <https://doi.org/10.1109/CASP.2016.7746219>.

Buerkle, A., Eaton, W., Lohse, N., Bamber, T. & Ferreira, P. 2021. EEG based arm movement intention recognition towards enhanced safety in symbiotic Human-Robot Collaboration. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 70(August), art.number:102137. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102137>.

Chaudhry, A., Khan, U., Palla, M.R. & Singh, S.B. 2022. A Prosthetic Arm Based on Electroencephalography by Signal Acquisition and Processing on MATLAB. *IJRESM - International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 5(1), pp.119-124 [online]. Available at: <https://journals.resaim.com/ijresm/article/view/1691> [Accessed: 20 November 2022].

Chinta, A., Mathur, M. & Lal, A.M. 2020. Mind Wave Controlled Prosthetic ARM Without using Brain Implants. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(5), pp.1615-1618. Available at: <https://doi.org/10.35940/ijrte.e4801.018520>.

Comani, S., Velluto, L., Schinaia, L., Cerroni, G., Serio, A., Buzzelli, S., Sorbi, S. & Guarnieri, B. 2015. Monitoring Neuro-Motor Recovery From Stroke With High-Resolution EEG, Robotics and Virtual Reality: A Proof of Concept. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 23(6), pp.1106-1116. Available at: <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2015.2425474>.

Elnady, A.M., Zhang, X., Xiao, Z.G., Yong, X., Randhawa, B.K., Boyd, L. & Menon, C. 2015. A single-session preliminary evaluation of an affordable BCI-controlled arm exoskeleton and motor-proprioception platform. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(March), art.number:168, pp.1-14. Available at: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00168>.

Elstob, D. & Secco, E.L. 2016. A Low Cost Eeg Based BCI Prosthetic Using Motor Imagery. *International Journal of Information Technology Convergence and Services (IJITCS)*, 6(1), pp.23-36. Available at: <https://doi.org/10.5121/ijitcs.2016.6103>.

Faiman, I., Pizzamiglio, S. & Turner, D.L. 2018. Resting-state functional connectivity predicts the ability to adapt arm reaching in a robot-mediated force field. *Neuroimage*, 174, pp.494-503. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.03.054>.

Ferdiansyah, F.A., Prajitno, P. & Wijaya, S.K. 2020. EEG-EMG based bio-robotics elbow orthotics control. *Journal of Physics: Conference Series*, 1528(art.number:012033), pp.1-6. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1528/1/012033>.

Formaggio, E., Storti, S.F., Galazzo, I.B., Gandolfi, M., Geroin, C., Smania, N., Spezia, L., Waldner, A., Fiaschi, A. & Manganotti, P. 2013. Modulation of event-related desynchronization in robot-assisted hand performance: brain oscillatory changes in active, passive and imagined movements. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 10(art.number:24). Available at: <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-24>.

Frolov, A.A., Mokienko, O., Lyukmanov, R., Biryukova, E., Kotov, S., Turbina, L., Nadareyshvily, G. & Bushkova, Y. 2017. Post-stroke Rehabilitation Training with a Motor-Imagery-Based Brain-Computer Interface (BCI)-Controlled Hand Exoskeleton: A Randomized Controlled Multicenter Trial. *Frontiers in Neuroscience*, 11(July), art.number:400, pp.1-11. Available at: <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00400>.

Fuentes-Gonzalez, J., Infante-Alarcon, A., Asanza, V. & Loayza, F.R. 2021. A 3D-Printed EEG based Prosthetic Arm. In: *2020 IEEE International Conference on E-health Networking, Application & Services (HEALTHCOM)*, Shenzhen, China, pp.1-5, March, 01-02. Available at: <https://doi.org/10.1109/HEALTHCOM49281.2021.9399035>.

Gannouni, S., Belwafi, K., Aboalsamh, H., Alebdi, B., Almassad, Y., AISamhan, Z. & Alobaedallah, H. 2020. EEG-Based BCI System to Control Prosthesis's Finger Movements (PREPRINT). *Reacerch Square*. Available at: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-49613/v1>.

Ghani, F., Gaur, B., Varshney, S., Farooq, O. & Khan, Y.U. 2013. Detection of wrist movement using EEG signal for brain machine interface. In: *2013 International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering and Environment*, Bandung, Indonesia, pp.5-8, June 23-26. Available at: <https://doi.org/10.1109/TIME-E.2013.6611954>.

Ghani, F., Jilani, M., Raghav, M., Farooq, O. & Khan, Y.U. 2012. Elbow movement detection using brain computer interface. In: *2012 8th International Conference on Computing Technology and Information Management (NCM and ICNIT)*, Seoul, Korea (South), pp.736-740, April 24-26 [online]. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6268597> [Accessed: 20 November 2022].

Gupta, S. & Singh, H. 1996. Preprocessing EEG signals for direct human-system interface. *Proceedings IEEE International Joint Symposia on Intelligence and System*, 1996, pp.32-37. Available at: <https://doi.org/10.1109/ijsis.1996.565048>.

Hortal, E., Planelles, D., Resquin, F., Climent, J.M., Azorín, J.M. & Pons, J.L. 2015. Using a brain-machine interface to control a hybrid upper limb exoskeleton during rehabilitation of patients with neurological conditions. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 12(art.number:92). Available at: <https://doi.org/10.1186/s12984-015-0082-9>.

Huong, N.T.M., Linh, H.Q. & Khai, L.Q. 2018. Classification of left/right hand movement EEG signals using event related potentials and advanced features. In: *Vo Van, T., Nguyen Le, T., Nguyen Duc, T. (Eds.) 6th International Conference on the Development of Biomedical Engineering in Vietnam (BME6). BME 2017. IFMBE Proceedings*, 63, pp.209-215. Available at: https://doi.org/10.1007/978-981-10-4361-1_35.

Javed, A., Tiwana, M.I., Tiwana, M.I., Rashid, N., Iqbal, J. & Khan, U.S. 2017. Recognition of finger movements using EEG signals for control of upper limb prosthesis using logistic regression. *Biomedical Research*, 28(17), pp.7361-7369 [online]. Available at: <https://www.biomedres.info/biomedical-research/recognition-of-finger-movements-using-eeg-signals-for-control-of-upper-limb-prosthesis-using-logistic-regression-8334.html> [Accessed: 20 November 2022].

Jeong, J-H., Lee, B-H., Lee, D-H., Yun, Y-D. & Lee, S-W. 2020. EEG Classification of Forearm Movement Imagery Using a Hierarchical Flow Convolutional Neural Network. *IEEE Access*, 8, pp.66941-66950. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2983182>.

Karakoc, A., Dogan, D. & Akinci, T.C. 2017. Robotic Arm Control Using The Brain Waves. *The Journal of Cognitive Systems*, 2(2), pp.51-54 [online]. Available at: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jcs/issue/42261/530481> [Accessed: 20 November 2022].

Ketenci, S. & Kayikcioglu, T. 2019. Investigation of Theta Rhythm Effect in Detection of Finger Movement. *Journal of Experimental Neuroscience*, 13, pp.1-5. Available at: <https://doi.org/10.1177/1179069519828737>.

Krichner, E.A., Tabie, M. & Seeland, A. 2014. Multimodal Movement Prediction - Towards an Individual Assistance of Patients. *PLOS ONE*, 9(1), art.ID:e85060, pp.1-9. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085060>.

Li, T., Xue, T., Wang, B. & Zhang, J. 2018. Decoding Voluntary Movement of Single Hand Based on Analysis of Brain Connectivity by Using EEG Signals. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12(November), art.number:381, pp.1-14. Available at: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00381>.

Liao, K., Xiao, R., Gonzalez, J. & Ding, L. 2014. Decoding Individual Finger Movements from One Hand Using Human EEG Signals. *PLOS ONE*, 9(1), art.number: e85192, pp.1-12. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085192>.

Looned, R., Webb, J., Xiao, Z.G. & Menon, C. 2014. Assisting drinking with an affordable BCI-controlled wearable robot and electrical stimulation: a preliminary investigation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11(art.number:51). Available at: <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-51>.

Mandekar, S., Holland, A., Thielen, M., Behbahani, M. & Melnykowycz, M. 2022. Advancing towards Ubiquitous EEG, Correlation of In-Ear EEG with Forehead EEG. *Sensors*, 22(4), art.number:1568. Available at: <https://doi.org/10.3390/s22041568>.

Meng, J., Zhang, S., Bekyo, A., Olsoe, J., Baxter, B. & He, B. 2016. Noninvasive Electroencephalogram Based Control of a Robotic Arm for Reach and Grasp Tasks. *Scientific Reports*, 6(art.number: 38565), pp.1-15. Available at: <https://doi.org/10.1038/srep38565>.

Mohamed, A-K. & Aharonson, V. 2021. Four-class BCI discrimination of right and left wrist and finger movements. *IFAC-PapersOnLine*, 54(21), pp.91-96. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.12.016>.

Murphy, D.P., Bai, O., Gorgey, A.S., Fox, J., Lovegreen, W.T., Burkhardt, B.W., Atri, R., Marquez, J.S., Li, Q. & Fei, D-Y. 2017. Electroencephalogram-Based Brain-Computer Interface and Lower-Limb Prosthesis Control: A Case Study. *Frontiers in Neurology*, 8(December), art.number:696, pp.1-8. Available at: <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00696>.

Noel, T.C. & Snider, B.R. 2019. Utilizing Deep Neural Networks for Brain: Computer Interface-Based Prosthesis Control. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 35(1), pp.93-101 [online]. Available at: <http://ccsc.org/publications/journals/NW2019.pdf> [Accessed: 20 November 2022].

Osama, M. & Allauddin, U. 2022. Design and modelling of lower prosthetic limb for additive manufacturing. In: *IMEC-2022: 11th International Mechanical Engineering Conference*, Karachi, Pakistan, p.27, January 14-15 [online]. Available at: https://imec.neduet.edu.pk/sites/default/files/IMEC_Proceedings_2022.pdf [Accessed: 20 November 2022].

Paek, A.Y., Agashe, H.A. & Contreras-Vidal, J.L. 2014. Decoding repetitive finger movements with brain activity acquired via non-invasive electroencephalography. *Frontiers in Neuroengineering*, 7(March), art.number:3, pp.1-18. Available at: <https://doi.org/10.3389/fneng.2014.00003>.

Ramalingam, V.V., Pandian, A. & Parivel, R. 2016. Controlling Artificial Limb Movement System using EEG Signals. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(47), pp.1-7. Available at: <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i47/107945>.

Ramos-Murguialday, A., Schürholz, M., Caggiano, V., Wildgruber, M., Caria, A., Hammer, E.M., Halder, S. & Birbaumer, N. 2012. Proprioceptive Feedback and Brain Computer Interface (BCI) Based Neuroprostheses. *PLOS ONE*, 7(10), art.ID: e47048, pp.1-10. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047048>.

Rashid, N., Iqbal, J., Javed, A., Tiwana, M.I. & Khan, U.S. 2018. Design of Embedded System for Multivariate Classification of Finger and Thumb Movements Using EEG Signals for Control of Upper Limb Prosthesis. *BioMed Research International*, 2018(art.ID:2695106). Available at: <https://doi.org/10.1155/2018/2695106>.

Setiawan, J.D., Alwy, F., Ariyanto, M., Samudro, L. & Ismail, R. 2021. Flexion and Extension Motion for Prosthetic Hand Controlled by Single-Channel EEG. In: *2021 8th International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Semarang, Indonesia, pp.47-52, September 23-24. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICITACEE53184.2021.9617220>.

Shedeed, H.A., Issa, M.F. & El-Sayed, S.M. 2013. Brain EEG signal processing for controlling a robotic arm. In: *2013 8th International Conference on Computer Engineering & Systems (ICCES)*, Cairo, Egypt, pp.152-157, November 26-28. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICCES.2013.6707191>.

Soekadar, S.R., Witkowski M., Vitiello, N. & Birbaumer, N. 2015. An EEG/EOG-based hybrid brain-neural computer interaction (BNCI) system to control an exoskeleton for the paralyzed hand *Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik*, 60(3), pp.199-205. Available at: <https://doi.org/10.1515/bmt-2014-0126>.

Steinisch, M., Tana, M.G. & Comani, S. 2013. A Post-Stroke Rehabilitation System Integrating Robotics, VR and High-Resolution EEG Imaging. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 21(5), pp.849-859. Available at: <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2013.2267851>.

Szabolcsi, R. 2019. *Modern Control Engineering*. Budapest: Óbuda University. ISBN: 978-963-449-1880.

Szabolcsi, R. 2020. *Control System Design Using MATLAB*. Budapest: Óbuda University. ISBN: 978-963-449-1873.

Tang, Z., Sun, S., Zhang, S., Chen, Y., Li, C. & Chen, S. 2016. A Brain-Machine Interface Based on ERD/ERS for an Upper-Limb Exoskeleton Control. *Sensors*, 16(2), art.number:2050. Available at: <https://doi.org/10.3390/s16122050>.

Tung, S.W., Guan, C., Ang, K.K., Phua, K.S., Wang, C., Zhao, L., Teo, W.P. & Chew, E. 2013. Motor imagery BCI for upper limb stroke rehabilitation: An evaluation of the EEG recordings using coherence analysis. In: *2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Osaka, Japan, pp.261-264, July 03-07. Available at: <https://doi.org/10.1109/EMBC.2013.6609487>.

Übeyli, E.D. 2009. Combined neural network model employing wavelet coefficients for EEG signals classification. *Digital Signal Processing*, 19(2), pp.297-308. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2008.07.004>.

Vidaurre, C., Klauer, C., Schauer, T., Ramos-Murguialday, A. & Müller, K-R. 2016. EEG-based BCI for the linear control of an upper-limb neuroprosthesis. *Medical Engineering & Physics*, 38(11), pp.1195-1204. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2016.06.010>.

Wen, T., Du, Y., Pan, T., Huang, C. & Zhang, Z. 2021. A Deep Learning-Based Classification Method for Different Frequency EEG Data. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2021(art.ID:1972662). Available at: <https://doi.org/10.1155/2021/1972662>.

Witkowski, M., Cortese, M., Cempini, M., Mellinger, J., Vitiello, N. & Soekadar, S.R. 2014. Enhancing brain-machine interface (BMI) control of a hand exoskeleton using electrooculography (EOG). *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11(art.number:165). Available at: <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-165>.

Xu, B., Peng, S., Song, A., Yang, R. & Pan, L. 2011. Robot-Aided Upper-Limb Rehabilitation Based on Motor Imagery EEG. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 8(4). Available at: <https://doi.org/10.5772/45703>.

Xu, B., Song, A., Zhao, G., Xu, G., Pan, L., Yang, R., Li, H. & Cui, J. 2015. Design and evaluation of a motor imagery electroencephalogram-controlled robot system. *Advances in Mechanical Engineering*, 7(3). Available at: <https://doi.org/10.1177/1687814015573607>.

Yanagisawa, T., Hirata, M., Saitoh, Y., Goto, T., Kishima, H., Fukuma, R., Yokoi, H., Kamitani, Y. & Yoshimine, T. 2011. Real-time control of a prosthetic hand using human electrocorticography signals: Technical note. *JNS – Journal of Neurosurgery*, 114(6), pp.1715-1722. Available at: <https://doi.org/10.3171/2011.1.JNS101421>.

Zhang, A., Yang, B. & Huang, L. 2008. Feature extraction of EEG signals using power spectral entropy. In: *2008 International Conference on BioMedical Engineering and Informatics*, Sanya, China, pp.435-439, May 27-30. Available at: <https://doi.org/10.1109/BMEI.2008.254>.

Комплексное исследование об управлении искусственной рукой с помощью электроэнцефалографии (ЭЭГ)

Ихаб Абдулрахман Сатам

Обудский университет, Докторская школа безопасности,
г. Будапешт, Венгрия;

Северный технический университет, Технический институт / Аль-Хавия,
департамент электронной техники, Республика Ирак

РУБРИКА ГРНТИ: 45.31.31 Электрические аппараты низкого напряжения
ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

Резюме:

Введение/цель: Сигнал электроэнцефалографии (ЭЭГ) оказывает большое влияние на развитие технологии управления протезом руки. Сигналы ЭЭГ используются в качестве основного инструмента в функциональных исследованиях движений человека. Изучение управления протезом руки с помощью сигналов головного мозга все еще находится на ранней стадии, так как данный вид управления начали исследовать всего несколько лет назад.

Методы: Было проведено несколько исследований с целью систематического обзора опубликованных статей, для того чтобы исследователи и специалисты могли ознакомиться с новейшими методами управления с помощью сигналов ЭЭГ, используемых не только в области протезирования конечностей, но и в других технологиях.

Результаты: В ходе исследования проанализировано 175 статей, из которых отобраны только непосредственно относящиеся к теме данного исследования.

Выводы: Данное исследование преследует три цели. Первая цель заключается в сборе, систематизации исследований и оценке полученной информации из трудов, опубликованных в период с 2011 по 2022 год. Вторая цель состоит в представлении подробного отчета о целостных экспериментальных достижениях в этой области, а также о текущих исследованиях. Таким образом систематизированный материал предоставляет большое количество примеров, описанных в новейших исследованиях об управлении протезом руки с помощью ЭЭГ. Третья цель состоит в выявлении проблем, требующих дальнейшего изучения, и в рекомендации направлений для будущих исследований в данной области.

Ключевые слова: ЭЭГ, ЭМГ, комплексное исследование, протез руки, управление.

Опсежна студија о управљању вештачком руком помоћу електроенцефалографије (ЕЕГ)

Ихаб Абдулрахман Сатам

Универзитет Обуда, Школа докторских безбедносних студија,
Будимпешта, Мађарска;
Северни технички универзитет, Технички институт / Ал-хавија,
Одьење за електронске технике, Република Ирак

ОБЛАСТ: механика, електроника

КАТЕГОРИЈА (ТИП) ЧЛАНКА: оригинални научни рад

Сажетак:

Увод/циљ: Сигнал у електроенцефалографији (ЕЕГ) има велики утицај на развој технологије управљања протетичком руком. При функционалном испитивању људског покрета као главно средство користе се ЕЕГ сигнали. Контрола протетичке руке путем можданих таласа је још у раним фазама испитивања. Истраживачи се тек од пре неколико година баве овом врстом управљања.

Метод: Неколико студија је имало за циљ да систематично обради до сада објављена истраживања како би се истраживачима и стручњацима пружио свеобухватни преглед најновијих техника управљања путем ЕЕГ сигнала које се користе не само за протетичке руке већ и за друге технологије.

Резултати: Упоредијено је 175 чланака, а изабрани су само они који су најтешње повезани са студијом.

Закључак: Ова студија има три циља. Први је да скуп, систематизује и процени информације објављене у студијама у периоду од 2011. до 2022. године. Други је да пружи детаљнији извештај о холистичким, експерименталним постигнућима у овој области, као и о садишњим истраживањима. Систематично урађена студија обезбеђује мноштво примера из савремених истраживања управљања протетичком руком путем ЕЕГ сигнала. Трећи циљ јесте да се укаже на области које захтевају даља истраживања, као и да се препоруче правци за њихово спровођење.

Кључне речи: ЕЕГ, ВСИ, свеобухватна студија, протетичка рука, контролери.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 24.11.2022.

Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 28.01.2023.

Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 29.01.2023.

© 2023 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2023 Автор. Опубликовано в «Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier» (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией «Creative Commons» (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).


© 2023 Аутор. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у складу са Creative Commons лиценцом (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



An alternative theoretical model of the Earth's EM field based on two-component field hypotheses

Slobodan N. Bjelić^a, Nenad A. Marković^b

^a University of Priština – Kosovska Mitrovica, Faculty of Technical Sciences, Kosovska Mitrovica, Republic of Serbia,
e-mail: slobodanbjelic49@yahoo.com,
ORCID iD:  <https://orcid.org/0000-0001-5642-8936>

^b Kosovo and Metohija Academy of Applied Studies,
Department Uroševac – Leposavić, Leposavić, Republic of Serbia,
e-mail: nen.mark74@yahoo.com, **corresponding author**,
ORCID iD:  <https://orcid.org/0000-0001-6960-1953>

DOI: 10.5937/vojtehg71-41987; <https://doi.org/10.5937/vojtehg71-41987>

FIELD: theoretical electrical engineering, electromagnetics

ARTICLE TYPE: original scientific paper

Abstract:

Introduction/purpose: The paper describes an alternative theoretical model of the Earth's EM field based on two-component field hypotheses. The paper consists of several parts, one part of which is a model showing the rotation of the magnetically conducting sphere of magnetization M in a foreign magnetic field. The last part defines theoretical models for the calculation of the components of the electromagnetic field of electrically conductive, dielectric and magnetically conductive spheres which are exposed to the influence of a foreign electromagnetic field.

Methods: In the work, the responses of electrically conductive, dielectric and magnetically conductive spheres to the influence of external EM fields were investigated using the analytical method.

Results: The obtained solutions in the form of analytical formulas will be applied to research the impact of the Sun's EM field on the planets and especially on the Earth.

Conclusion: The resulting formulas of the electric and magnetic field strength and induction and their solutions can be applied to electrically conductive, dielectric and magnetically conductive spheres. In comparison to already known formulas, they are simple and have higher accuracy.

Key words: theory, model, electromagnetism, components, spheres, rotation, magnetic field.

Introduction

Since the Earth's magnetic field protects life on Earth from the effects of cosmic particles, the weakening of the field reduces protection. In astrophysics, the Earth's magnetic field is defined as a physical field created and maintained by the rotation of charged magma in the nucleus (dynamo theory) (Jacobs, 1987). The axis of the magnetic poles moves towards the geographical axis but there is no real explanation for the phenomenon. In 2019, magnetic lines of force entered the northern magnetic pole in part of the Arctic soil in Canada, and the position of the pole moved towards Siberia at a speed of 55 km/year. F. Laimorver (University of Leeds) says that the location of the North Magnetic Pole oscillates between two magnetic fields between Canada and Siberia and is currently dominated by the Siberian field. Although field disturbances are not considered a cataclysm, bird and fish deaths in Arkansas in 2011 were explained by their sensitivity to gender shifts. Changes in the location of the magnetic poles occur every 250,000 years. The N-magnetic pole is moving towards Siberia due to the movement of larger masses of waterway between the Arctic and Siberia, with small but influential charges (Bjelić, 2021a).

The vectors of the electric field of solar waves are a sign that components of the Earth's EM field are just a response to Sun's EM waves. The Van Allen radiation belt is a zone of charged particles, created by the solar wind, cosmic rays and particles, and the magnetic fields of the planet, no matter how they are created, keep them. The planet Earth has 2 main Van Allen (VA) bands at 640-58000 km above the ground and radiation levels vary. VA probes discovered the third one (lasted 4 weeks until it was destroyed by the interplanetary wave of the Sun). The hypothesis of 2 magnetic fields (Canada, Siberia) is controversial because in the same part of space there can only be a resultant field. The sun's rays bring particles to Earth (ionized) and propagate through the atmosphere like EM waves (non-ionized part).

Electric and magnetic field and the postulate of amplitude attenuation from the kinetic theory of gases

The division of the Earth's EM field into electric and magnetic components is relative because static loads create the electric field component and their displacement the magnetic field component, Figure 1.

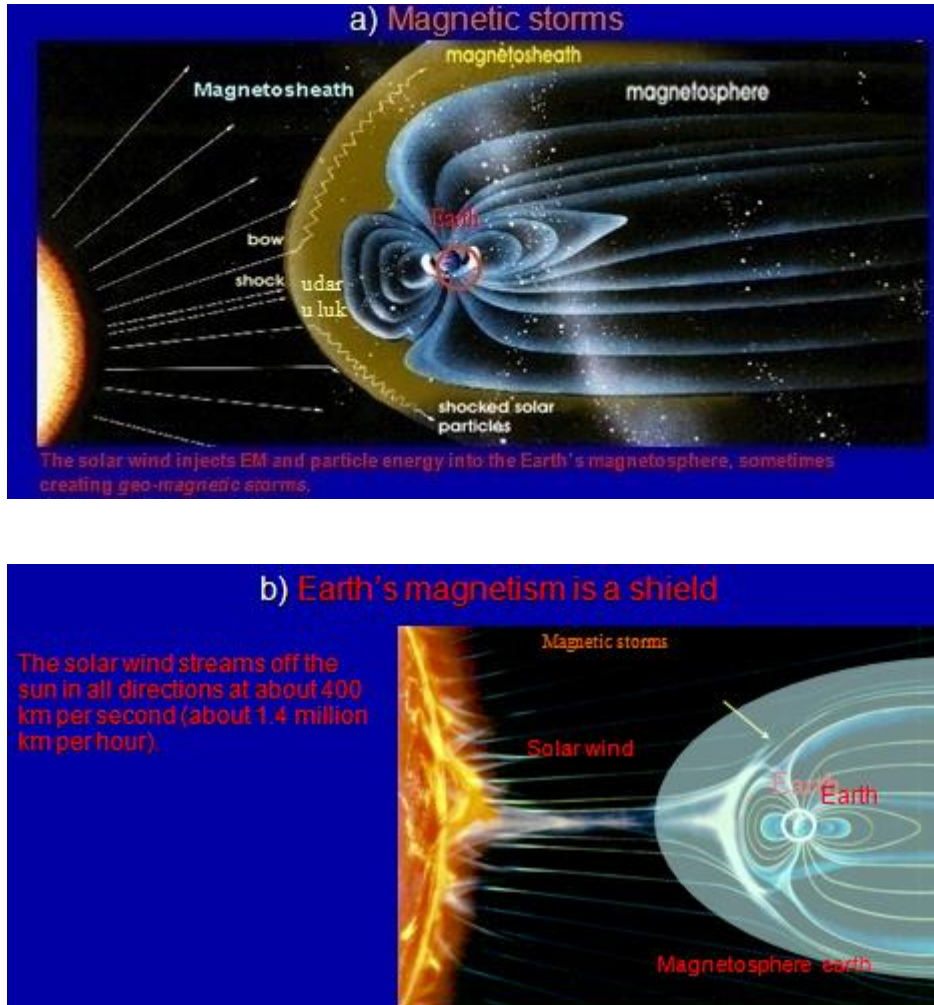


Figure 1 – a) Solar wind brings EM energy into the Earth's magnetosphere and creates geomagnetic storms, b) The Sun does not support permanent radiation belts because it does not have a stable, global dipole EM field (Bjelić, 2021b)

Рис 1 – а) Солнечный ветер приносит электромагнитную энергию в магнитосферу Земли и создает геомагнитные бури, б) Солнце не поддерживает постоянные радиационные пояса, поскольку у него нет стабильного глобального дипольного ЭМ поля (Bjelić, 2021b)

Слика 1 – а) Соларни ветар уноси ЕМ енергију у магнетосферу Земље и ствара геомагнетне олује, б) Сунце не подржава трајне појасеве зрачења јер нема стабилно, глобално диполно ЕМ поље (Bjelić, 2021b)

In the vicinity of stationary charge carriers, there is only a component of the electric field, and the moving carrier creates a component of the magnetic field. At EM wave velocities much lower than the light velocity, $v \ll c$ changing the coordinate system does not change ratios of electric and magnetic field strengths at the same load distribution or for the same currents: field components have the same relationship defined in any mathematical space coordinate system (Mihajlović, 1993).

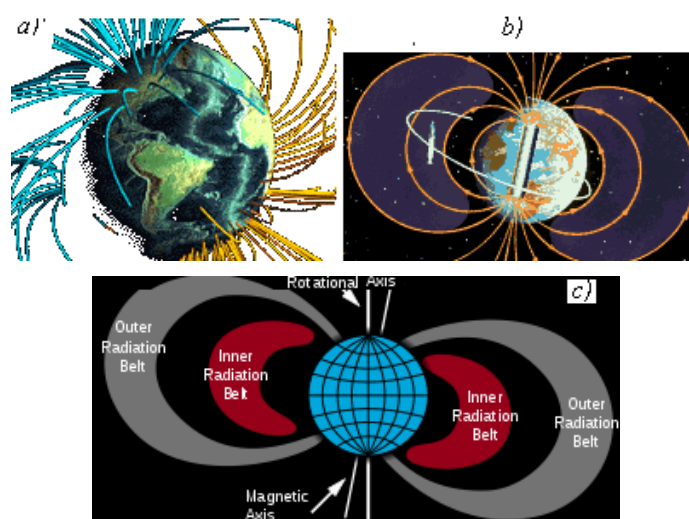


Figure 2 – Earth's magnetic field: a) line of the Earth's field, b) line of the magnetic field with respect to the rotation, c) belts of Van Allen radiation rings, red-inner, gray-outer radiation belt (Bjelić, 2021b)

Рис 2 – Магнитное поле Земли: а) силовые линии Земли, б) силовые линии магнитного поля по отношению к направлению вращения, в) радиационный пояс Ван Аллена, красная-внутренняя, серая-внешняя полоса излучения (Bjelić, 2021b)
 Слика 2 – Магнетно полје Земље: а) линије полја Земље, б) линија магнетног полја у односу на смер ротације, в) појасеви Ван Аленових прстенова радијације: црвени – унутрашњи, сиви – спољни појас радијације (Bjelić, 2021b)

The parameters ϵ_a , μ_a , σ (dielectric, magnetic and specific electrical parameters) at each point of space where the EM field acts connect two pairs of vectors (Lamb, 1883a; Prodanović, 2006):

$$\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon_r, \quad \epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}, \quad \vec{D} = \epsilon_a \vec{E} \text{ F/m}, \quad (1)$$

$$\mu_a = \mu_0 \mu_r, \quad \mu_0 = 1.256 \times 10^{-7} \text{ H/m}, \quad \vec{B} = \mu_a \vec{H} \text{ H/m}, \quad (2)$$

$$\sigma = \text{Sm}, \quad \rho = \sigma^{-1} \text{ } \Omega/\text{m}, \quad \vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} \text{ Sm } \Omega/\text{m}, \quad (3)$$

where \vec{D} is electrostatic induction, \vec{E} is electric field strength, \vec{B} is magnetic induction, \vec{H} is field strength, and \vec{J} is current density.

Under normal conditions, the parameters of the media are constant scalar values, and the media are linear and isotropic. As the field strength increases, the linearity may be disturbed, the media become nonlinear, and the parameters depend on the field strength. In anisotropic media, the relations between pairs of vectors depend on orientations and are not parallel, and asymmetric tensors $\|\epsilon_a\|$, $\|\mu_a\|$, $\|\sigma\|$, are used to describe the medium. The medium is homogeneous if these parameters are the same at all points of the EM field and inhomogeneous if they are different.

In equation (1,2,3) the pairs of vectors \vec{D} , \vec{E} , \vec{B} , \vec{H} and \vec{J} are collinear and the values are linearly dependent. For the analysis of EM fields on the ground and in higher layers of the Earth's space, alternative models are:

- electrostatic system: solid sphere and outer layers with charge carriers (ionosphere),
- electrostatic and magnetic dipole which can create the electric and magnetic components of the EM field,
- elementary resonator of the electric component of the EM field, as suggested by Tesla,
- planet – a body that rotates under the action of forces created by the components of the EM field.

EM waves of a foreign source (the Sun) penetrating the ionosphere bring ions (electrons) in that layer into a state of forced oscillations and by means of an electric field transfer to electrons part of their energy which passes into kinetic energy of electrons and, when there is no electron collision with neutral ionic gas molecules, it returns to the wave during the half-cycle when electrons slow down.

In real conditions in the ionosphere, despite the great dilution of the gas, collisions of electrons and neutral molecules are inevitable. Electrons in collisions transfer part of the energy from the EM wave to neutral molecules and it is lost for the wave because there is no interaction between neutral molecules and the wave that would allow the energy to return to the wave. The consequence of energy loss is a weakening of the amplitude of the waves - the greater the loss, the greater is the number of waves per unit volume and the average number of collisions suffered by an electron per unit time.

A group of EM waves moving through the layers of the atmosphere has different amplitudes and frequencies. For the movement of part of the EM spectrum (groups of EM waves) through the layers of the atmosphere with the parameters ε_0 , μ_0 the general solution is determined from Maxwell's equations (Lamb,1883b; Bjelić, 2021b):

$$\text{first (I): } \text{rot}\vec{H} = j\omega\varepsilon_0\vec{E} + \vec{J}, \quad (4)$$

$$\text{others (II): } \text{rot}\vec{E} = -j\omega\mu_0\vec{H}. \quad (5)$$

The general solution abstracts the cause of the vectors \vec{H} , \vec{E} and \vec{J} , but must take into account the dependences:

- individual components of the total current density \vec{J}_{tot} , of the electric field strength, and
- the strength of the magnetic field \vec{H} from the total current density \vec{J}_{tot} .

If the values for $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ F/m, $\sqrt{\mu_r / \varepsilon_r} \approx 1$, $c \approx 2.988 \times 10^8$ ms⁻¹, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ ms⁻¹A⁻¹V, the average value of the Earth's magnetic field strength is:

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \frac{1}{c} \vec{E}, \quad (6)$$

where $H_0 \approx 24$ A/m.

In the unit of volume $\tau = z$ length in the time interval (t), the number of particles $n(\tau)$ moves without collisions and the longer the interval, the smaller the number of collisions $n(\tau)$. Therefore, the interval length function $n(\tau)$ must be decreasing and the increment-differential of the function must be negative and proportional to: $d\tau$, $n(\tau)$ and some constant α :

$$dn = -\alpha \cdot n(\tau)d\tau, \quad n(\tau) = A \cdot e^{\alpha \cdot t}. \quad (7)$$

The number of particles $\tau = z = 0$ moving without collision is equal to the sum of particles in a unit of volume $A = N_1$, a $dn(\tau)$ and the number of particles for which the duration of free movement without collision is between $d\tau$ and $\tau + d\tau$.

The mean collision-free travel time T is then:

$$T = - \int_{\tau=0}^{\infty} \tau \frac{dn}{N_1} = - \int_0^{\infty} \tau \cdot d(e^{-\alpha\tau}) = - \left[\tau \cdot e^{-\alpha\tau} + \frac{1}{\alpha} e^{-\alpha\tau} \right]_0^{\infty}. \quad (8)$$

From equation (8), $\alpha = 1/T$. The mean number of particle collision per unit time is:

$$n(\tau) = N_1 e^{-\nu \cdot t} \quad (\nu = 1/T, \alpha = \nu). \quad (9)$$

The EM field is changed according to the simple periodic law and the calculation of complex numbers can be:

$$dv / dt = (q / m) E_0 e^{j\omega \cdot t}. \quad (10)$$

If the velocity of the ion v_0 at the time of the last collision $t - \tau$, in direction of the EM field, at the time t , the velocity is:

$$v = \int_{t-\tau}^t \frac{q}{m} E_0 e^{j\omega \cdot t} dt + v_0 = \frac{q}{j\omega \cdot m} E_0 e^{j\omega \cdot t} (1 - e^{-j\omega \cdot \tau}) + v_0. \quad (11)$$

The number dn of ions (electrons) having the velocity v is equal to the number of ions in which the duration of motion at that number of collisions is between τ and $\tau + d\tau$:

$$dn = -N_1 \nu \cdot e^{-\nu \cdot \tau} d\tau. \quad (12)$$

The number of dn ions moving at a speed v form a convection current having an elemental density:

$$dJ = qv|dn| = qV_1 \nu \cdot e^{-\nu \cdot \tau} d\tau. \quad (13)$$

The total convection current density $\tau = 0$ and $\tau = 0$ is obtained by integrating this equation within the limits of:

$$J = \frac{N_1 q^2 \nu}{j\omega \cdot m} E_0 e^{j\omega \cdot t} \int_0^{\infty} (1 - e^{-j\omega \tau}) e^{-\nu \tau} d\tau + N_1 q \bar{v}_0. \quad (14)$$

For the mean ion velocity after the collision v_0 , after integration, the current J is:

$$J = \frac{N_1 q^2}{m} \frac{1}{\nu + j\omega} E_0 e^{j\omega \cdot t}. \quad (15)$$

The value of J in equation (15), can be added to the component of current density of dielectric displacement:

$$\partial D / \partial t = dD / dt = j\omega \epsilon_0 E_0 e^{j\omega \cdot t}, \quad (16)$$

and the value of the total current density is obtained, which also contains the common attenuation factor $\omega_c = N_1 q^2 / m \varepsilon_0$:

$$\begin{aligned}
 J_{tot} &= J + \frac{dD}{dt} = \left[\frac{N_1 q^2}{m} \frac{1}{\nu + j\omega} + j\omega \varepsilon_0 \right] E_0 e^{j\omega t} = \\
 &= \left[\frac{N_1 q^2}{m \varepsilon_0} \frac{1}{\nu + j\omega} + j\omega \right] \varepsilon_0 E_0 e^{j\omega t} = \left[\frac{\omega_c}{\nu + j\omega} + j\omega \right] \varepsilon_0 E_0 e^{j\omega t}
 \end{aligned} \tag{17}$$

The parameter ε in equation (17) is the part in constant $\hat{\varepsilon} = \varepsilon - j(\sigma / \omega)$ that describes the monochromatic wave ω ionosphere:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \left(1 - \frac{\omega_c^2}{\nu^2 + \omega^2} \right) - j \frac{\varepsilon_0 \omega_c^2 \nu}{\omega (\nu^2 + \omega^2)}. \tag{18}$$

The ionosphere in which collisions are not neglected acts as a semiconductor with constants:

$$\text{dielectric: } \varepsilon = \varepsilon_0 \left(1 - \frac{\omega_c^2}{\nu^2 + \omega^2} \right), \tag{19}$$

$$\text{electrical conductivity: } \sigma = \frac{\varepsilon_0 \omega_c^2 \nu}{\nu^2 + \omega^2}.$$

For the velocity $\nu = 0$, the conductivity is zero and the ionosphere can be treated as a dielectric with an apparent dielectric constant if the impact of collision of ions and the Earth's magnetic field component is neglected:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \left(1 - \frac{\omega_c^2}{\nu^2 + \omega^2} \right) = \varepsilon_0 \left(1 - \frac{N_1 q^2}{\varepsilon_0 \omega^2 m} \right). \tag{20}$$

Theory influence of ionized medium on EM waves was formulated by Eccles-Larmour in the postulate that electric load is squared and that charged particles, positive ions and negative electrons, have the same effect on the apparent dielectric constant. The influence on propagation of EM waves is inversely proportional to the mass of particles and the main influence in the ionosphere has electrons-particles of lower mass. For a free hydrogen ion, lightest-ion effect is 1830 times less than the effect of an electron because it has 1830 electron masses. The influence of a free ion of geocoronium is not known because its mass and charge of protons and electrons are not known. If f – is the frequency of the $m - hr$ EM wave, then the apparent dielectric constant is:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \left(1 - \frac{f_c^2}{f^2} \right), \quad (21)$$

where $f_c^2 = \frac{N_1 q^2}{4\pi^2 \varepsilon_0 m}$.

For low-conductivity dielectrics ω_c^2 is proportional to the number of free electrons N_1 and the number $n(\tau)$:

$$\alpha = \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \Rightarrow \alpha = \frac{1}{2c} \frac{v\omega_c^2}{(v^2 + \omega^2)n}. \quad (22)$$

The attenuation factor ω_c^2 (depending on nN_1) is largest in the ionosphere in which this product is greatest.

If collisions are ignored as for a monochromatic EM wave, the following force components act on the ion:

- $q\vec{E}$ – force of action of the alternating electric field of the EM wave,
- $\mu_0 q \cdot \vec{v} \times H_0$ – EM forces due to the movement of ions in the unchanging magnetic field of the Earth,
- $\mu_0 q \cdot \vec{v} \times \vec{H}$ – force due to the movement of ions in the alternating magnetic field of the EM wave.

In the ionized environment, $\vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \frac{1}{c} \vec{E}$ and in accordance to the

2nd Newton's law, the equation of motion of ions is:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{E} + \mu_0 q \cdot \vec{v} \times H_0 + \mu_0 q \cdot \vec{v} \times \vec{H} = q\vec{E} + \mu_0 q \cdot \vec{v} \times \left[H_0 + \frac{1}{\mu_0} \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \frac{\vec{E}}{c} \right]. \quad (23)$$

Nikola Tesla was the first to realize that higher layers of the atmosphere are important for the Earth's electrical conductivity due to a stable line of conductivity and that the Earth resonantly oscillates at 6.2 and 30 Hz (according to measurements 8.14 and 20 Hz).

Tesla's principles of transmission using Super Low Frequency Resonance, SNF, in the ionosphere, and NF waves (1-300 Hz) are used to transmit radio signals. According to the assumption, the Sun as a source of EM fields has two components: electric and magnetic, and the magnetic poles of the Sun change their polarity every 22 years. According to Maxwell's theory: the components of the electric and magnetic fields are part of the EM field, and if there is one in space, there must be another

component as well. Solar EM waves propagate towards the Earth through several layers of the atmosphere at various speeds. The ionized layer of the atmosphere has heterogeneous properties and the linearly polarized EM wave is divided into two components of opposite directions of rotation and natural velocities of propagation. The speed of propagation and the refractive index depend on the orientation of the Earth's magnetic field towards the direction of propagation of the Sun's EM waves.

Alternative theoretical model of the EM field of the Earth by authors

The model is based on two hypotheses for the Earth's interior and on two hypotheses for the EM field components:

- the interior is only a well-conducting medium for the strength of the electric field generated by solar ion waves in the ionosphere and exosphere,
- the interior is only a well-conducting magnetic medium for the magnetic field created by solar ionic winds in the upper layers (ionosphere exosphere),
- the first-electric is formed by the parameters of stable conductivity of the solid Earth and the ionosphere; the higher layers of the Earth are a good dielectric medium for the component of the electric field generated by ionic winds and EM waves from the Sun in the upper layers of the atmosphere (exosphere and ionosphere),
- the second-magnetic is formed by the parameters of the current of stable conductivity of the solid Earth and the domain of the ionosphere.

The Earth is only a well-conducting magnetic medium for the magnetic field of solar ionic winds in the upper atmosphere (exosphere + ionosphere with stable electrical conductivity parameters).

The total current density in addition to four basic ones also has two new components (in the first Maxwell's equation):

$$\vec{J}_{tot} = \sigma \vec{E} + \partial \vec{D} / \partial t + \rho v_{\rho} + \sigma \vec{E}_{out.side} + \sigma (\vec{v} \times \vec{B}) + rot(\vec{D} \times \vec{v}), \quad (24)$$

where $\sigma \vec{E}$ – is the current density of conduction, $\partial \vec{D} / \partial t$ – is the current density of dielectric conductivity, ρv_{ρ} – is the convection of free charges and foreign field conductivity $\sigma \vec{E}_{out.sid}$, $rot(\vec{D} \times \vec{v})$ – is the density due to the motion of polarized dielectric, and $\sigma (\vec{v} \times \vec{B})$ – is the density of motion of the medium with the velocity v in the field induction B .

Any EM source in space, which creates components of the total current J_{tot} , or currents generated during the movement of electrostatics of a neutral body, is a source of EM energy because the propagation of the current allows its transmission:

$$\int_V \vec{J} \cdot \vec{E}_e \cdot dV = \frac{\partial W}{\partial t} + \int_V \frac{J^2}{\sigma} dV + \oint_S (\vec{E} \times \vec{H}) \cdot \vec{dS}. \quad (25)$$

Equation (25) defines the principle of radiation or EM energy transfer ($J = J_{tot}$). The member on the left is the power of the radiation source and on the right there are the members of its distribution and the propagation of the current components J , in connection with the propagation of EM energy. The system of fixed electrostatic loads determines the character of the electrostatic field and defines a stationary field in the environments where the electrical conductivity is equal to zero:

$$\text{rot} \vec{E} = 0, \text{div} \vec{D} = \rho_{conv.}, \vec{D} = \epsilon_a \vec{E}. \quad (26)$$

The electrostatic field is vortexless because $\text{rot} \vec{E} = 0$ at all points of the field and $\vec{E} = -\text{grad} \varphi$ shows that the vortex-free potential field is shown as a gradient of some potential function. The sign (-) means that the vector \vec{E} is directed from a point of higher to a point of lower potential. In the area where $J_{cond} = 0$, the magnetic field is: $\text{rot} \vec{H} = 0$, $\text{div} \vec{B} = 0$, $\vec{B} = \mu_a \vec{H}$.

Elementary electric and magnetic dipoles

The elementary electric source of radiation (Hertz's dipole) is a simple system of EM wave radiation: a short straight conductor of the length $l = d$ connects two small spheres that alternately charge and empty and maintain the time-varying current in the conductor, Figure 3.

The current and the load are connected by the relation $i = dq / dt$ and the dipole length is small in relation to the wavelength of the emitting waves. The current along the dipole is uniformly distributed (similar to the effect of an AC generator that would maintain forced electrical oscillations in the center of the dipole). For the electric and magnetic dipole model of the Earth, the basic condition that the dipole model of the Earth $\Delta \vec{\ell} = \vec{d} \rightarrow 0$ is not realistic is not fulfilled, but the obtained solutions will be useful for the development of a theoretically correct alternative model of the Earth's EM field. The equations of magnetostatics and the equations of electrostatics are identical for the domain $\rho_{con} = 0$. If the circulation in the loop is $\int_l H dl = 0$, the magnetic field in the area without conduction

current is potential. Similarly to the electrostatic field in a dielectric according to Gauss's theorem, the strength of the magnetic field is $\vec{H} = (B / \mu_0) - M$, and the general form of Ampere's law is $rot\vec{H} = \vec{J}$. The macroscopic magnetization of the medium has a dimension and a unit as a vector \vec{H} (on the surface $\vec{S} = |S|\vec{n}$ of ferromagnets are Ampere surface currents with the longitudinal density $\vec{J}_{sa} = \vec{M} \times \vec{n}$). Magnetization is mathematically described by the equation:

$$\vec{M} = \frac{\sum m}{\Delta V}, \quad m = \sum m_i = \sum \frac{1}{2} \oint \vec{l} \cdot \vec{r} \times d\vec{r} = \frac{1}{2} \int_{\Delta V} \vec{r} \times \vec{J}_a dV. \quad (27)$$

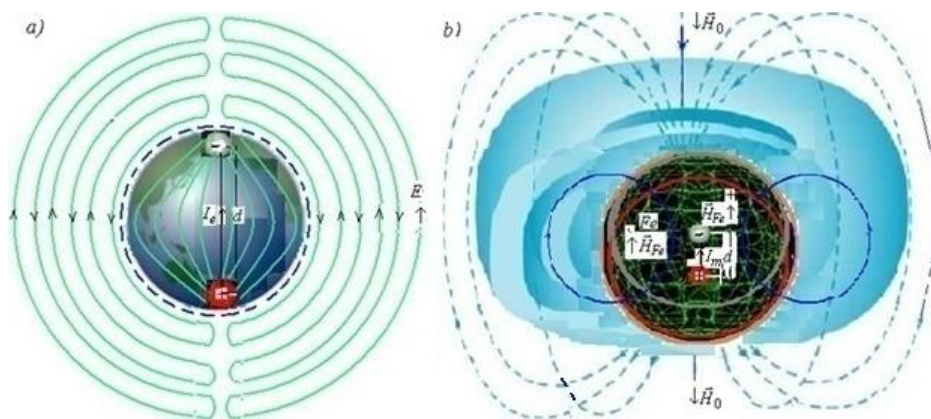


Figure 3 – Earth as: a) elementary resonator of the electric component of the EM field, b) Earth as a system that acts as an elementary dipole of the magnetic field (Bjelić, 2021b)
 Рис 3 – Земля как: а) элементарный резонатор электрической составляющей ЭМ поля, б) Земля как система, которая ведет себя как элементарный диполь магнитного поля (Bjelić, 2021b)
 Слика 3 – Земља као: а) елементарни резонатор електричне компоненте ЕМ поља, б) Земља као систем који се понаша као елементарни дипол магнетног поља (Bjelić, 2021b)

In the domain where the density of the conductivity current is equal to zero, the magnetic field is: $rot\vec{H} = 0$ and the field strength is a degradant of some scalar function φ_m , $H = -grad\varphi_m$. The vector field \vec{B} is always vortexless (without original $div\vec{B} = div\mu_0(\vec{H} + \vec{M}) = 0$, $div\vec{H} = -div\vec{M}$). If the operation div is applied:

$$div\vec{H} = -divgrad\varphi_m = -\Delta\varphi_m, \quad (28)$$

where $\operatorname{div} \vec{M} = \Delta \varphi_m$.

By introducing the density of the magnetic pseudomass $\rho_m = \operatorname{div} \vec{M} = -\operatorname{div} \vec{H}$, equation (28) can be written as for the electric scalar potential without parameters $1/\varepsilon_0$ on the right side (Laplace and Poisson equation):

$$\Delta \varphi_m = -\rho_m, \quad \Delta \varphi = -(\rho / \varepsilon_0). \quad (29)$$

The solutions of both equations with a negative sign must have the same form:

$$\varphi_m = \frac{1}{4\pi} \int_V \frac{\rho_m}{R} dV, \quad \varphi = \frac{1}{4\pi \varepsilon_0} \int_V \frac{\rho}{R} dV. \quad (30)$$

Magnetic dipoles and resonators are fictitious quantities (not real), but their use is justified because closed and alternating currents in closed contours and permanent magnets can be replaced by equivalent linear magnetic currents and concentrated magnetic loads.

The missing components for a full symmetry of electrical and magnetic quantities are introduced into Maxwell's equations: $\vec{J}_{outside}^m$ – foreign magnetic current and $\rho_{outside}^m$ – foreign magnetic load.

The rotor of the magnetic field strength in the first Maxwell's equation can be equal to the sum of several components of the total current density: conductivity currents, dielectric displacement currents, and foreign source currents.

The rotor $\operatorname{rot} \vec{H}$ in the 2nd Maxwell's equation can be equated with a similar sum of current densities (inverse): displacement magnetic currents $i\omega \vec{B}$, magnetic conductivity currents and foreign source currents.

If the volumetric densities of magnetic loads are introduced in the 4th equation, it becomes symmetric with the 2nd Maxwell's equation. With these additions, the system of equations becomes pairwise symmetric (Petković, 2016):

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= i\omega \vec{\varepsilon}_a \dot{\vec{E}} + \vec{J}_{ct} \quad (1), \quad \operatorname{rot} \dot{\vec{E}} = -i\omega \vec{\mu}_a \dot{\vec{H}} - \vec{J}_{ct}^m \quad (2), \\ \vec{\varepsilon}_a \operatorname{div} \dot{\vec{E}} &= \rho_{ct} \quad (3), \quad \vec{\mu}_a \operatorname{div} \dot{\vec{H}} = \rho_{ct}^m \quad (4). \end{aligned} \quad (31)$$

Although experiments still have not confirmed the existence of magnetic loads in nature, the symmetrical form of Maxwell's equations has become attractive. Magnetic currents and loads in equations as well as electric currents and static loads are related by continuity equations in the system of Maxwell's equations.

Invariance of equations and replacement of electrical and magnetic quantities

In equation (31), all electrical quantities can be replaced by magnetic ones, and magnetic ones by electric ones. With respect to certain rules for signs, without changing the coordinate system and the system of Maxwell's equations, Figure 4.a,b, the quantities only change places in pairs: the vector \vec{E} with the vector \vec{H} , where the flux of EM energy, defining the Poynting vector $\vec{\Pi} = \vec{E} \times \vec{H}$, remained unchanged.

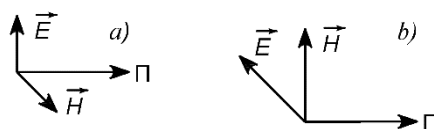


Figure 4 – Poynting vector $\vec{\Pi}$ is determined by: a) electrical and magnetic quantities, b) their invariance

Рис 4 – Вектор Пойнтинга определяется: а) электрическими и магнитными величинами, б) их инвариантностью

Слика 4 – Пойнтингов вектор $\vec{\Pi}$ одређују: а) електричне и магнетне величине, б) њихова инваријантност

Equation (2) of system (31) $\text{rot}\vec{H} = i\omega\tilde{\epsilon}_a\vec{E} + \vec{J}_{\text{outside}}$ passes into (1) if it is $\tilde{\epsilon}_a$ replaced by $\tilde{\mu}_a$, and \vec{J}_{outside} replaced by $-\vec{J}_{\text{outside}}^m$. From equation (2) of system (31) equation (1) can be obtained if it is $\tilde{\mu}_a$ replaced by $\tilde{\epsilon}_a$, and $-\vec{J}_{\text{outside}}^m$ and replaced by \vec{J}_{outside} . The rules are similar for the replacement of electrostatic and magnetic load parameters $\text{div}\vec{B} = 0$ in (3) and (4) equations $\text{div}\vec{D} = \rho$. Common rules in the process of changing the values of parameters and sizes are:

$$\begin{aligned} \vec{E} &\rightarrow \vec{H}, \quad \vec{J} \rightarrow \vec{J}^m, \quad \rho \rightarrow \rho_m, \quad \tilde{\epsilon}_a \Leftrightarrow \tilde{\mu}_a, \\ \vec{H} &\rightarrow \vec{E}, \quad \vec{J}^m \rightarrow \vec{J}, \quad \rho_m \rightarrow \rho, \quad \tilde{\epsilon}_a \Leftrightarrow \tilde{\mu}_a. \end{aligned} \quad (32)$$

The principle of permutation and invariance are the properties of Maxwell's equations: The source of the EM field can be foreign: electric \vec{J}_{outside} and similar magnetic currents $-\vec{J}_{\text{outside}}^m$. If solutions of variant 1 are known, the solution of variant 2 is determined by applying the second substitution $\tilde{\epsilon}_a \Leftrightarrow \tilde{\mu}_a$ rule in wave impedance:

$$Z_w = |Z_w| e^{j\varphi_w} = \frac{\dot{E}}{H} = \frac{j\omega\tilde{\mu}_a}{\tilde{\epsilon}_a}. \quad (33)$$

The principle of permutation in Maxwell's equations was first applied by A.A. Pistolkorso also gave a pre-message for solving physical fields in infinite space. This principle is used in solving the problem of the Earth's magnetic field, because the universe is a sphere with the infinite radius $R \rightarrow \infty$, which is also the outer boundary surface of that sphere. The monochromatic EM field is defined in the infinite domain unambiguously if:

- there are electrical or magnetic losses at every point in the domain of the physical environment,
- the field source is given in the domain of the environment and the EM field weakens infinitely faster than the value $1/R^n$,
- there are the tangential components \vec{E} or \vec{H} on the inner side of the boundary surface of the area,
- all field sources are at the final distance from the coordinate origin.

A magnet is considered to be analogous to a dielectric, although a magnetic conductor similar to an electrical conductor does not exist - there are no magnetic conductors (Đorđević & Olćan, 2012). The EM field on the Earth and in its atmosphere can be formed by elementary electromagnetic dipoles radiation sources in two variants, as:

- a resonator of the electric component of the EM field, and
- a system in which the Earth acts as an elementary magnetic dipole and a source of magnetic field.

Any source in space, capable of creating the total current J_{tot} , is a source of EM energy radiation because the propagation of total current components is related to the transmission of EM energy. Problems in electrostatics are easier to solve if the potential φ is used instead of the vector \vec{E} and the relationship between the components of field strength and potential in the Cartesian system are the equations:

$$E_x = -\frac{\partial\varphi}{\partial x}, E_y = -\frac{\partial\varphi}{\partial y}, E_z = -\frac{\partial\varphi}{\partial z}. \quad (34)$$

By introducing the equations of the components into the differential form of Gaussian theorem, Poisson equation becomes:

$$\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)^2 = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}, \quad (35)$$

and it determines the relationship between the scalar potential and the electrical load density.

The general form of Poisson equation is obtained by substituting $\text{div}\vec{E} = \rho / \varepsilon_0$ when \vec{E} is substituted by $\vec{E} = -\text{grad}\varphi$ and then $\text{divgrad}\varphi = -(\rho / \varepsilon_0)$ in the domains where there are no electrical loads $\rho = 0$. Then for $\text{divgrad}\varphi = 0$ one obtains:

$$\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)^2 = 0. \quad (36)$$

$\text{divgrad}\varphi$ refers to the square of the Laplace operator $\Delta = \nabla^2$ (nabla Hamilton operator). Poisson equation $\Delta\varphi = -\rho / \varepsilon_0$ combines the potential and charge densities of a field at a point in the field.

The electric field strength of dielectric and metal loaded and unloaded spheres in an external homogeneous electric field of strength is E_0 . Poisson equation in the spherical coordinates is:

$$\Delta\varphi = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial\varphi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin\alpha} \cdot \frac{\partial}{\partial\alpha} \left(\sin\alpha \frac{\partial\varphi}{\partial\alpha} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2\alpha} \frac{\partial^2\varphi}{\partial\beta^2}. \quad (37)$$

Dielectric sphere: The potential at any point of the field depends on all the charges that create the field, and not only on the free ones, and therefore equation (37) is used to solve electro- and magnetostatic fields. Laplace equation was first used to describe the potential fields of celestial mechanics and then for EM fields. In domain V , Figure 5, three charge densities can be distributed and the field is created by three components:

- volumetric – $\rho \neq 0$, $\rho \cdot dV \neq 0$ in the volume; $\frac{\rho \cdot dV}{4\pi\varepsilon_a r}$,
- surface – $\eta \neq 0$, $\eta \cdot dS \neq 0$ on the surface; $\frac{\eta \cdot dS}{4\pi\varepsilon_a r}$,
- linear – $\tau \neq 0$, $\tau \cdot dl \neq 0$ on the line; $\frac{\tau \cdot dl}{4\pi\varepsilon_a r}$.

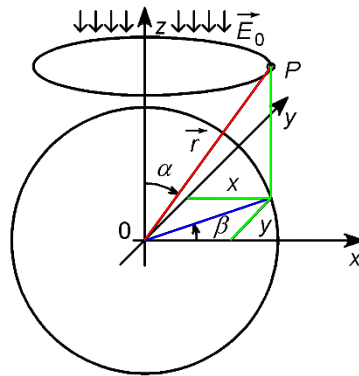


Figure 5 – Effect of a foreign electric field \vec{E}_0 on a dielectric sphere

Рис 5 – Воздействие постороннего электрического поля \vec{E}_0 на диэлектрическую сферу

Слика 5 – Дејство страног електричног поља \vec{E}_0 на диелектричну сферу

In a spherical system, the field is symmetric and the potential components at the point $\vec{r} \neq 0$ are calculated in accordance with:

$$\vec{E} = \vec{E}_r = -\frac{\partial \varphi}{\partial r} \leftrightarrow \varphi = -\int \vec{E} \cdot d\vec{r} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} + C. \quad (38)$$

The functions $\rho = \rho(r)$, $\eta = \eta(r)$ and $\tau = \tau(r)$ are not known, which makes integration difficult and rarely used.

The value of the potential is the sum (integral) of the elementary components of the potential of all charges:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_a} \int_V \frac{\rho \cdot dV}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_a} \int_S \frac{\eta \cdot dS}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_a} \int_\ell \frac{\tau \cdot d\ell}{r}. \quad (39)$$

The assumptions are: at infinity, the potential is equal to zero and all charges that can create a field are distributed in the domains of defined limits. The foreign field E_0 of the direction $(-z)$ acts on the sphere. Near the sphere, the field is deformed and not homogeneous which depends on ϵ_a the size of sphere and the load q on the sphere.

Metal (conductive) sphere: The field lines come to the boundary surface at right angles.

If there was no previous charge on the sphere, the charge generated by electrostatic induction is distributed on the surface of the sphere, and the field lines end or begin with these charges. The metal sphere can be a

carrier of additional charge, which is also distributed on the boundary surface.

Under the influence of a foreign electric field, the dielectric sphere will be polarized, and due to the influence of the charges created by the polarization of the dielectric, the foreign electric field E_0 is deformed. The shape of the field lines on the surface depends on the boundary conditions in the spherical system, ie. on the conditions-equality:

- tangential components of the field strength at the boundary surface $E_{it} = E_{et}$, the index i for the internal space, the index e for the external space, which arises from $\oint_{\ell} \vec{E} d\vec{\ell} = 0$ field domain,
- normal components of electrostatic induction (according to Gauss's theorem).

If a sphere is a dielectric and there are no free charges on it, Laplace equation must be integrated to solve the field in the sphere. The field strength and potentials of the charged dielectric sphere are calculated according to Gauss's law and the solutions are given in Table 1.

Table 1 – Field strength in the sphere
 Таблица 1 – Напряженность электрического поля внутри сферы
 Табела 1 – Јачине електричног поља на сфери

$\alpha = 0$, Field strength, N pol		Equator $\alpha = 90^0$, Field strength		$\alpha = 180^0$, Field strength, S pol	
$E_{R1} = -3E_0$	$E_{\alpha} = 0$	$E_{R1e} = 0$	$E_{\alpha} = E_0(1 - R_1^3 / R_1^3) \sin \alpha = 0$	$E_{R1} = -3E_0$, $E_{\alpha} = 0$	$E_{\alpha} = 0$

In the conductive sphere, $\vec{E} = 0$ and $\varphi = const.$:

$$\varphi^M(r) = C_1 / r + C_2, \quad C_1 = A_1 A_4, \quad C_2 = A_2 A_4. \quad (40)$$

The solution of the first part of the equation is:

$$\frac{1}{M(r)} \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \frac{\partial M(r)}{\partial r} \right] = p \quad \text{or} \quad 2r \frac{dM}{dr} + r^2 \frac{d^2 M(r)}{dr^2} = p. \quad (41)$$

By applying the Euler shift, the following was obtained:

$$M = Cr^n, \quad \frac{dM}{dr} = nCr^{n-1}, \quad \frac{d^2 M}{dr^2} = Cn(n-1)r^{n-2}. \quad (42)$$

By replacing the derivative in the equation:

$$2rnCr^{n-1} + r^2Cn(n-1)r^{n-2} = pCr^n \text{ or } n^2 + n - p = 0, \quad (43)$$

the roots of the quadratic equation are obtained: $n_{1,2} = -\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{4} + p}$.

The value for p is determined if it is adopted that $N = B\cos\alpha$:

$$\frac{1}{N(\alpha)\sin\alpha} \cdot \frac{d}{d\alpha} \left(\sin\alpha \frac{dN}{d\alpha} \right) = \frac{-2B\sin\alpha\cos\alpha}{B\cos\alpha\sin\alpha} = -p \Leftrightarrow p = 2. \quad (44)$$

Substituting p in the root of the quadratic equation gives $n_{1,2} = 1, 2$ and the solution for that part of the potential is:

$$\varphi^N = (C_3r + C_4/r^2)\cos\alpha. \quad (45)$$

The general solution for both parts is:

$$\varphi = \varphi^M + \varphi^N = (C_1/r) + C_2 + (C_3r + C_4/r^2)\cos\alpha. \quad (46)$$

The constants C_1 , C_2 , C_3 and C_4 determine the type of a sphere: conductive, dielectric or magnetic. The conditions on the boundary surface are important for determining the constants conducting a sphere in a foreign field. Very distant points can be conditionally considered to be infinitely distant. The field of an unloaded dielectric or metal sphere in a foreign electric field is defined by Laplace equation (there are no free charges in the sphere and outside it).

Model of a dielectric sphere in a foreign homogeneous electric field: For an electrostatically unloaded dielectric sphere, the solution is determined from the general solution of equation (46), and the potentials and the constants have an index i for internal space, and e for external space (Dziewonski & Anderson, 1981):

$$\varphi_i = \frac{C_{1i}}{r} + C_{2i} + \left(C_{3i}r + \frac{C_{4i}}{r^2} \right) \cos\alpha, \quad (47)$$

$$\varphi_e = \frac{C_{1e}}{r} + C_{2e} + \left(C_{3e}r + \frac{C_{4e}}{r^2} \right) \cos\alpha \quad (48)$$

Eight constants are determined. The potential φ for r and $r \rightarrow \infty$ is $\varphi = \varphi_0 + E_0r \cos\alpha$. After replacement in equation (48), we get $C_{2e} = \varphi_0$, $C_{3e} = E_0$. For a point charge, the field strength is $E = q / 4\pi \cdot \varepsilon_0 \varepsilon_r r^2$ and the potential is:

$$\varphi = -\int E dr = (q / 4\pi \cdot \varepsilon_0 \varepsilon_r r) + C. \quad (49)$$

Analogously, a component C_{1e} / r is a component of the total charge of a sphere. If there is a total of electricity sphere $q = Q = 0$ in the equation for φ_e , this constant is equal $C_{1e} = 0$. The constant C_{4e} is determined from:

$$\varphi_e = \varphi_0 + (E_0 r + C_{4e} / r^2) \cos \alpha. \quad (50)$$

The potential in the dielectric φ_i is the final value for all points $C_{1i} = 0$, $C_{4i} = 0$. If there were $C_{1i} \neq 0$, the component in the center of the sphere C_{1i} / r for $R_1 = 0$ of the sphere would be infinite. The constants C_{2i} for the potential in the field of spheres and the potential in the outer domain C_{2e} of the field are equal to the constants for the outer domain $C_{2i} = C_{2e} = \varphi_0$. The potential in the dielectric is: $\varphi = \varphi_0 + C_{3i} r \cos \alpha$. The constants C_{4e} and C_{3i} are determined from the boundary $E_{it} = E_{et}$ conditions. From the equations of the potential φ_e and φ_i for $r = R_1$ (this is a condition equivalent to the condition), it follows:

$$C_{3i} R_1 = E_0 R_1 + (C_{4e} / R_1^2). \quad (51)$$

From the equality of normal electrostatic inductions at the limit, there is $D_{1n} = D_{2n}$:

$$\begin{aligned} -\varepsilon_i \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial r} \right)_{r=R_1} &= -\varepsilon_e \left(\frac{\partial \varphi_e}{\partial r} \right)_{r=R_1}, \\ \varepsilon_i (C_{3i})_{r=R_1} &= \varepsilon_e \left(E_0 - \frac{2C_{4e}}{R_1^3} \right)_{r=R_1}. \end{aligned} \quad (52)$$

The potential in the dielectric, given the common solution of these two equations, is:

$$C_{3i} = E_0 \frac{3\varepsilon_e}{2\varepsilon_e + \varepsilon_i}, \quad C_{4i} = C_{4e} = R_1^3 E_0 \frac{\varepsilon_e - \varepsilon_i}{2\varepsilon_e + \varepsilon_i}, \quad (53)$$

$$\varepsilon_i E_0 \frac{3\varepsilon_e}{2\varepsilon_e + \varepsilon_i} = \varepsilon_e E_0 \left(1 - 2 \frac{\varepsilon_e - \varepsilon_i}{2\varepsilon_e + \varepsilon_i} \right). \quad (54)$$

For the selected spherical coordinate system, the potential component in the dielectric is:

$$\varphi_i = \varphi_0 + E_0 r \frac{3\varepsilon_e}{2\varepsilon_e + \varepsilon_i} \cos \alpha = \varphi_0 + E_0 \frac{3\varepsilon_e}{2\varepsilon_e + \varepsilon_i} z, \quad z = r \cos \alpha. \quad (55)$$

The electric field strength in the dielectric is:

$$E_{zi} = -\frac{\partial \varphi_e}{\partial z} = -E_0 \frac{3\varepsilon_e}{2\varepsilon_e + \varepsilon_i}. \quad (56)$$

The strength of the field E has the direction of the axis z , it does not depend on the coordinate and the field is homogeneous. The dielectric potential:

$$\varphi_e = \varphi_0 + E_0 \left(r + \frac{R_1^3}{r^2} \frac{\varepsilon_e - \varepsilon_i}{2\varepsilon_e + \varepsilon_i} \right) \cos \alpha, \quad (57)$$

$$E_{re} = -\frac{\partial \varphi_e}{\partial r} = E_0 \left(1 - \frac{2R_1^3}{r^3} \frac{\varepsilon_e - \varepsilon_i}{2\varepsilon_e + \varepsilon_i} \right) \cos \alpha, \quad (58)$$

$$E_{\alpha e} = -\frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \alpha} = E_0 \left(1 + \frac{R_1^3}{r^3} \frac{\varepsilon_e - \varepsilon_i}{2\varepsilon_e + \varepsilon_i} \right) \sin \alpha.$$

For $Q=0$ on the surface of the sphere, there is $r=R_1$, $E_r = -3E_0 \cos \alpha$ i.e. E_r the components at all points on the sphere are three times larger than the components of the foreign field.

Conclusion

The field of a statically unloaded sphere that has no free charges is dielectric and is located in a foreign electric homogeneous field defined by Laplace equation. In the new model, equation (29) is used, but eight integration constants must be determined (in the sphere – index i , and outside the sphere – index e).

The conditions on the boundary surface are important for determining the constants conducting a sphere in a foreign field. Very distant points can be conditionally considered to be infinitely distant. The field of an unloaded dielectric and metal sphere in a foreign electric field is defined by Laplace equation (there are no free charges in the sphere and outside it).

References

Bjelić, S.N. 2021a. *Atmospheric and commutation overvoltages in electrical distribution networks*. Chişinău, Moldova: Generis Publishing. ISBN: 978-1-63002-486-5 [online]. Available at: <http://generis-publishing.com/book.php?title=atmospheric-and-commutation-overvoltages-in-electrical-distribution-networks> [Accessed: 20 October 2022].

Bjelić, S.N. 2021b. *Alternative theoretical models of the Earth's electromagnetic field*. Niš, Serbia: Control P. ISBN: 978-86-900399-2-0.

Dziewonski, A.M. & Anderson, D.L. 1981. Preliminary reference Earth model. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 25(4), pp. 297-356. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(81\)90046-7](https://doi.org/10.1016/0031-9201(81)90046-7).

Đorđević, A. & Olćan, D. 2012. *Ispitivanje elektromagnetske kompatibilnosti* (in Serbian). Belgrade: Akademska misao. ISBN: 978-86-7466-444-5.

Jacobs, J.A. 1987. Chapter Four The Earth's Magnetic Field. In: Jacobs, J.A (Eds.) *International Geophysics (Book series)*, 37, pp. 191-296. Cambridge, Massachusetts: Academic Press. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0074-6142\(08\)60712-3](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(08)60712-3).

Lamb, H. 1883a. XIII. On electrical motions in a spherical conductor. *Philosophical Transactions*, 174, pp. 519-549. Available at: <https://doi.org/10.1098/rstl.1883.0013>.

Lamb, H. 1883b. On the Induction of Electric Currents in Cylindrical and Spherical Conductors. *Proceedings of the London Mathematical Society*, s1-15(1), pp. 139-150. Available at: <https://doi.org/10.1112/plms/s1-15.1.139>.

Mihajlović, J.S. 1993. *Spectral analysis of secular variations and magnetic storms at the Grock Geomagnetic Observatory*. Master's thesis. Belgrade: Faculty of Mining and Geology (in Serbian).

Petković, D.M. 2016. *Elektromagnetna zračenja, Sveska III, Elektromagnetizam*. Niš: Unigraf-X-Copy. ISBN: 978-86-6093-015-8 [online]. Available at: <https://www.znrfak.ni.ac.rs/serbian/010-STUDIJE/OAS-4-1/II%20GODINA/PREDMETI/203-ELEKTROTEHNIKA/ET%20-%20Literatura/ELEKTROMAGNETIZAM.pdf> (in Serbian) [Accessed: 20 October 2022].

Prodanović, G. 2006. Mathematical analysis of geomagnetic field. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 54(1), pp. 88-96 (in Serbian). Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg0601088P>.

Альтернативная теоретическая модель электромагнитного поля Земли, основанная на гипотезах о двухкомпонентном поле

Слободан Н. Белич^а, Ненад А. Маркович^б

^а Приштинский университет в г. Косовска Митровица, Факультет технических наук, г. Косовска Митровица, Республика Сербия

^б Косовско-Метохийская академия профессиональных исследований, отделение Урошевац – Лепосавич, Республика Сербия, **корреспондент**

РУБРИКА ГРНТИ: 37.15.00 Геомagnetизм и высокие слои атмосферы

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

Резюме:

Введение/цель: В данной статье описана альтернативная теоретическая модель ЭМ поля Земли, основанная на гипотезах о двухкомпонентности. Статья состоит из нескольких частей, в

одной из которых представлена модель, показывающая вращение магнитопроводящей сферы с намагниченностью M во внешнем магнитном поле. В последней части статьи представлены теоретические модели расчета составляющих электромагнитного поля электропроводящих, диэлектрических и магнитопроводящих сфер, которые подвергаются воздействию постороннего электромагнитного поля.

Методы: В статье аналитическим методом были исследованы отклики электропроводящих, диэлектрических и магнитопроводящих сфер на воздействие внешних электромагнитных полей.

Результаты: Полученные решения в виде аналитических формул будут применяться в исследованиях воздействия ЭМ поля Солнца на планеты и особенно на Землю.

Выводы: Полученные формулы напряженности и индукции электрического и магнитного полей и их решения применимы к электропроводным, диэлектрическим и магнитопроводящим сферам, а по сравнению с известными формулами они отличаются простотой и большей точностью.

Ключевые слова: теория, модель, электромагнетизм, компоненты, сферы, вращение, магнитное поле.

Алтернативни теоријски модел земљиног ЕМ поља заснован на хипотезама о две компоненте поља

Слободан Н. Бјелић^а, Ненад А. Марковић^б

^а Универзитет у Приштини – Косовска Митровица, Факултет техничких наука, Косовска Митровица, Република Србија

^б Академија струковних студија косовско метохијска, Одсек Урошевац – Лепосавић, Република Србија, **аутор за преписку**

ОБЛАСТ: теоријска електротехника, електромагнетика
КАТЕГОРИЈА (ТИП) ЧЛАНКА: оригинални научни рад

Сажетак:

Увод/циљ: У раду је описан алтернативни теоријски модел ЕМ поља Земље заснован на хипотезама о две компоненте. У једном делу рада модел приказује ротацију магнетно проводне сфере магнетизације M у страном магнетном пољу. У последњем делу дефинисани су теоријски модели за прорачун компоненти електромагнетног поља електрично проводне, диелектричне и магнетно проводне сфере које су изложене утицајима страног електромагнетног поља.

Методе: Аналитичким методама истраживани су одзиви електрично проводне, диелектричне и магнетно проводне сфере на утицаје спољних ЕМ поља.

Резултати: Добијена решења у облику аналитичких формула биће примењена за истраживање утицаја ЕМ поља Сунца на планете и посебно на Земљу.

Закључак: Добијене формуле јачине и индукције електричног и магнетног поља и њихова решења могу се применити на електрично проводну, диелектричну и магнетно проводну сферу и, у односу на познате формуле, једноставне су и тачније.

Кључне речи: теорија, модел, електромагнетизам, компоненте, сфере, ротација, магнетно поље.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 22.10.2022.

Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 28.01.2023.

Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 30.01.2023.

© 2023 The Authors. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2023 Авторы. Опубликовано в «Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier» (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией «Creative Commons» (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2023 Аутори. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у складу са Creative Commons лиценцом (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).





Satellite remote sensing and deep learning for aerosols prediction

Nikola S. Mirkov^a, Dušan S. Radivojević^b, Ivan M. Lazović^c,
Uzahir R. Ramadani^d, Dušan P. Nikezić^e

University of Belgrade, "Vinča" Institute of Nuclear Sciences -
National Institute of the Republic of Serbia,
Belgrade, Republic of Serbia

^a e-mail: nmirkov@vin.bg.ac.rs,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3057-9784>

^b e-mail: dusanr@vin.bg.ac.rs,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1959-3152>

^c e-mail: ivan.lazovic@vin.bg.ac.rs,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3877-5157>

^d e-mail: uzahir@vin.bg.ac.rs,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3702-0094>

^e e-mail: dusan@vin.bg.ac.rs, **corresponding author**
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8885-2683>

DOI: 10.5937/vojtehg71-40391; <https://doi.org/10.5937/vojtehg71-40391>

FIELD: engineering

ARTICLE TYPE: original scientific paper

Abstract:

Introduction/purpose: The paper presents a new state-of-the-art method that involves NASA satellite imagery with the latest deep learning model for a spatiotemporal sequence forecasting problem. Satellite-retrieved aerosol information is very useful in many fields such as PM prediction or COVID-19 transmission. The input data set was MODAL2_E_AER_OD which presents global AOT for every 8 days from Terra/MODIS. The implemented machine learning algorithm was built with ConvLSTM2D layers in Keras. The obtained results were compared with the new CNN LSTM model.

Methods: Computational methods of Machine Learning, Artificial Neural Networks, Deep Learning.

Results: The results show global AOT prediction obtained using satellite digital imagery as an input.

Conclusion: The results show that the ConvLSTM developed model could be used for global AOT prediction, as well as for PM and COVID-19 transmission.

ACKNOWLEDGMENT: The authors are grateful for the financial support from the Ministry of Education and Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

Key words: aerosol optical thickness, NASA Earth observations, ConvLSTM2D, COVID-19, particulate matter dispersion.

Introduction

Technological development together with rapid development of information technologies forms a modern basis for various scientific disciplines. One of such disciplines is Environment and Environmental protection. In recent decades, the development of remote sensing and open access of satellite images, as a part of the big data revolution, has provided scientists with a new opportunity for their research (Lin et al., 2018; Wang et al., 2013). One of many remote sensing applications is satellite data sets of aerosol optical thickness (AOT) or aerosol optical depth (AOD) (Shi et al., 2020; Wei et al., 2020). It is the same measurement that may be made from the ground using a sun photometer or from satellites like Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on NASA's Terra satellite. Satellite measurements of aerosols are based on the fact that particles change the way the atmosphere reflects and absorbs visible and infrared light.

Today, scientists use arrays of satellite, aircraft, and ground-based instruments to monitor aerosols. The key quantity they report on is AOT, a measure of the amount of light that aerosols scatter and absorb in the atmosphere (Filonchyk et al., 2019). AOT is the fundamental measurement of quantity and distribution of aerosols. The Sun provides the energy that drives Earth's climate, but not all of the energy that reaches the top of the atmosphere finds its way to the surface. That is because aerosols, and clouds seeded by them, reflect about a quarter of the Sun's energy back to space (Colbeck & Lazaridis, 2013).

AOT is a measure of in what amount airborne particles prevent light from traveling through the atmosphere. Aerosols absorb and scatter incoming sunlight, thus reducing visibility and increasing optical thickness. An optical depth of less than 0.05 indicates a clear sky with relatively few aerosols and maximum visibility, whereas a value of 1 indicates hazy conditions. Optical depths above 2 or 3 represent very high concentrations of aerosols.

Aerosol particle pollution, i.e. airborne solid particles and liquid droplets, comes in a range of sizes. Particles smaller than 2.5 micrometers pose the greatest risk to human health because they are small enough to be breathed deep into the lungs and, in some cases, to enter the bloodstream.



These fine particles, about 30 times smaller than the width of a human hair, are also a major cause of poor visibility. Different specialists describe particles based on their shape, size, and chemical composition. Toxicologists refer to aerosols as ultrafine, fine, or coarse matter. Regulatory agencies, as well as meteorologists, typically call them particulate matter $PM_{2.5}$ or PM_{10} , depending on their size. In some fields of engineering, they are called nanoparticles. The media often uses everyday terms that hint at aerosol sources, such as smoke, ash, and soot (Nikezić et al., 2017).

Aerosols or airborne particulate matters (PM), which originate from both natural and anthropogenic emission sources, substantially influence the climate, environment and human health. Satellite remote sensed AOT represents columnar aerosol loading of the atmosphere and can be empirically converted into PM mass as the primary predictor (You et al., 2016). In literature review of the related work, there are studies that show a connection and a relationship between aerosols and PM prediction (Elperin et al., 2017; Kumar et al., 2007). It follows that the model presented in this study can also be applied to forecast PM and not only AOT.

Data and methodology

In the era of big data, to find the right piece of data as well as to prepare it for use, is quite a challenge. With globalization and the Internet many data sets are available as open sources. NASA's data policy ensures that all NASA data are available fully, openly, and without restrictions. Satellite imagery from NASA Earth Observations (NEO) is available for bulk downloading and analysis. The resolution of satellite images varies depending on the instrument used and the altitude of the satellite's orbit. Different global data sets are represented with daily, weekly, and monthly snapshots, and images are available in a variety of formats.

Scientists use measurements from the MODIS sensor aboard NASA's Terra and Aqua satellites to map the amount of aerosol that is in the air all over the world. Because aerosols reflect visible and near-infrared light back to space, scientists can use satellites to make maps of where there are high concentrations of these particles. Although most aerosols remain suspended in the atmosphere for short periods, typically between 4 days and a week, they can travel vast distances. Particles moving within the atmosphere at 5 meters per second will travel thousands of kilometers in a week.

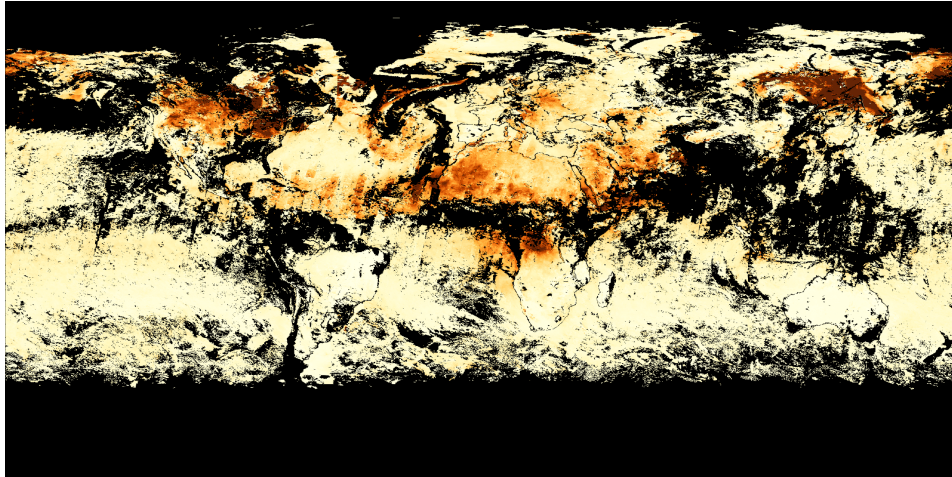


Figure 1 – AOT from Terra/MODIS on 2021-07-12
Рис. 1 – AOT от Terra/MODIS на 12.07.2021 г.
Слика 1 – AOT са Terra/MODIS на дан 12.07.2021.

Dust plumes from the Sahara frequently cross the Atlantic and reach the Caribbean. Winds sweep a mixture of Asian aerosols - particularly dust from the Gobi Desert and pollution from China - eastward over Japan and toward the central Pacific Ocean. Smoke from wildfires in Siberia and Canada can find its way to the Arctic ice cap.

NEO data sets are available in RGB as PNG files among other formats and all files are at full NEO resolution (3600x1800 pixels). Fig. 1 shows one sample of the data set MODAL2_E_AER_OD which presents global AOT for every 8 days from the Terra/MODIS ([NASA NEO Nasa Earth Observations, 2022a](#); [NASA NEO Nasa Earth Observations, 2022b](#)). Optical thickness of less than 0.1 (palest yellow) indicates a crystal clear sky with maximum visibility, whereas a value of 1 (reddish brown) indicates very hazy conditions.

The MODIS aboard NASA's Terra and Aqua satellites is used to monitor AOT over most of the globe (oceans and the moist parts of the continents) on a daily basis, every 8 days and monthly. The MODIS is used to monitor aerosols' mass concentration, optical properties, and radiative forcing. MODIS' aerosol information is used to study aerosol climatology, to monitor the sources and sinks of specific aerosol types (such as sulfates and other industrial/urban aerosol and biomass burning aerosol), to serve as inputs



for climate modeling and detection of the fingerprints of anthropogenic climate change, and to perform atmospheric corrections of remotely-sensed surface reflectance over the land. By (Kumar et al., 2007) MODIS' aerosol information can be used for PM prediction. The report by (Lin et al., 2018) states that the estimation of $PM_{2.5}$ concentrations from AOT requires a vertical correction and a humidity correction. Except for the prediction of AOT and PM, MODIS' aerosol information can be used for COVID-19 transmission (Tang et al., 2020; Zoran et al., 2021; Eleftheriadis et al., 2021). By (Zoran et al., 2021) it has been more than one year since the first cases of the new coronavirus variant SARS CoV-2 that invades host cells using an endocytic pathway were detected in Wuhan, Hubei province in China. This coronavirus is a new enveloped virus positive-sense, single-stranded RNA with roughly spherical or moderately pleomorphic virions of approximately 60–140 *nm* with an average to 0.1 μm in diameter (Zoran et al., 2021). Several epidemiologic studies linked exposure to ambient air pollution with PM and gaseous pollutants and occurrence of numerous respiratory viral infectious diseases transmission during several seasons (Zoran et al., 2021). Under laboratory conditions, it was demonstrated that there is a long time viability of SARS-CoV-2 in ambient aerosols, as an important source of COVID-19 transmission (Zoran et al., 2021). The report by (Tang et al., 2020) presents prevention and control countermeasures to reduce the potential aerosol transmission under different occasions because current evidence on SARS-CoV-2 has limitations, but is strongly indicative of aerosols as one of several routes of COVID-19 transmission (Tang et al., 2020). The present study takes satellite-retrieved AOT from MODAL2_E_AER_OD which presents the snapshots from the year 2000 to present time on every 8 days (NASA NEO Nasa Earth Observations, 2022a; NASA NEO Nasa Earth Observations, 2022b). This data set is input data in the used deep learning (DL) model. The promise of DL is that it can solve complex problems automatically, faster and more accurately than a manually specified solution and at a larger scale. Traditional time series forecasting methods focus on univariate data with linear relationships and fixed and manually-diagnosed temporal dependence. Neural networks add the capability of learning possibly noisy and nonlinear relationships with arbitrarily defined but fixed numbers of inputs and outputs supporting multivariate and multi-step forecasting.

DL is part of a broader family of ML methods based on artificial neural networks (ANN) with representation learning. In DL, a convolutional neural network (CNN, or ConvNet) is a class of ANN, most commonly applied to analyze visual imagery. In a CNN, the input is a tensor with the shape: (number of inputs) x (input height) x (input width) x (input channels). After passing through a convolutional layer, an image becomes abstracted to a feature map, also called an activation map, with the shape: (number of inputs) x (feature map height) x (feature map width) x (feature map channels) (Valueva et al., 2020; Vaddi & Manoharan, 2020). A common application of a CNN is to extract spatial information from images.

Recurrent neural networks (RNN) add the explicit handling of ordered observations and the promise of learning temporal dependence from context. Long Short-Term Memory (LSTM) networks are a type of RNN that are capable of learning the relationships between elements in an input sequence. LSTM can process not only single data points (such as images), but also entire sequences of data. LSTM networks are well-suited to classifying, processing and making predictions based on time series data, since there can be lags of unknown duration between important events in a time series (Hochreiter & Schmidhuber, 1997).

Spatio-temporal prediction (STP) in DL is usually done by a CNN and LSTM where a CNN (Convolution2D) serves well for capturing image or spatial features, whilst LSTM is used to detect correlations over time (Dey et al., 2021). However, by stacking these kinds of layers, the correlation between space and time features may not be captured properly. To solve this, the authors in (Shi et al., 2015) proposed a network structure capable of capturing spatiotemporal correlations, namely ConvLSTM (Shi et al., 2015). In Keras, this is reflected in the ConvLSTM2D class, which computes convolutional operations in both the input and the recurrent transformations to capture spatiotemporal data at the same time. ConvLSTM2D is a Recurrent layer, just like LSTM, but internal matrix multiplications are exchanged with convolution operations. As a result, the data that flows through the ConvLSTM cells keeps the input dimension instead of being just a 1D vector with features (Shi et al., 2015; Donahue et al., 2015; Hu et al., 2020; Valueva et al., 2020). The main difference between ConvLSTM and LSTM is the number of input dimensions. As LSTM input data is one-dimensional, it is not suitable for spatial sequence data such as video,

satellite, or a radar image data set. ConvLSTM is designed for 3D data as its input.

Deep Learning Model

Shapes of the required input and output data for individual layers may vary with different types of layers used in the Deep Neural Networks. There are many possibilities to manage and manipulate data shapes through the network to achieve the desired goal. For reshaping data between two layers, we can use additional Reshape layers with the condition that the number of elements that are reshaped stays the same. If we need to add time steps for recursive purposes, we can add a TimeDistributed layer. Also, in the existing recursive layers like LSTM and ConvLSTM, there are attributes called `return_sequences` that allow that layer input and output data stay in the same shape for next layer.

The data input shape for an LSTM layer is always in the form (samples, time steps, features) that is a 3D tensor, and its output is the same with the option `return_sequences = True`. When this option is False, the output is in the form (samples, features). Considering that ConvLSTM combines the performance of both Conv and LSTM layers, its data input shape is (samples, time steps, rows, cols, channels), that is a 5D tensor. Its output with the option `return_sequences = True` has a similar 5D shape except that the number of channels becomes the number of filters. When this option is set to False, time steps are restricted (Xavier, 2019).

The DL model used in this study consists of 3 x ConvLSTM2D layers and the final layer Conv3D as an output. The Conv3D layer creates a convolution kernel that is convolved with the layer input to produce a tensor of outputs, i.e. height, width, and channel of the image. The ConvLSTM2D layer was followed by Dropout and BatchNormalization. In ML, early stopping is a form of regularization used to avoid overfitting and it was used in the model with a Reduce learning rate when a metric has stopped improving. The DL model is done in Keras. Keras is an open-source software library that provides a Python interface for artificial neural networks. Keras acts as an interface for the TensorFlow library.

The input data set was MODAL2_E_AER_OD, a set of PNG satellite-retrieved images from 2000-02-18 to 2021-09-14 on every 8 days (993 snapshots in PNG format with 3600x1800 pixels resolution). The images were resized to 288x144 pixels (hardware could not support origi-

nal resolution of images), converted to JPG, normalized by dividing with 255 and stored in the NumPy array with a sequence of 10 frames. MODAL2_E_AER_OD data set was split on train and test subsets. The train/test ratio during the testing phase was 70/30, 80/20 and 90/10. The optimum was achieved with the 80/20 train/test split.

After many trials and tests, it was concluded that the most optimal result was obtained for the batch size=5 and epochs=50. Also, the best results gave the activation function 'hard_sigmoid' for the Conv3D layer and the optimizer 'adam' (learning_rate = 0.001) for a model compile. An activation function is a mathematical gate between the input feeding the current neuron and its output and the idea of activation functions is derived from the neuron-based model of the human brain which consists of a complex network of biological neurons in which a neuron is activated based on certain input from the previous neuron.

As part of the optimization algorithm, the error for the current state of the model must be estimated repeatedly. This requires the choice of an error function, conventionally called a loss function, which can be used to estimate the loss of the model so that the weights can be updated to reduce the loss on the next evaluation. A regression predictive modeling problem involves predicting a real-valued quantity, so, for the loss function, the Mean-Squared Error (MSE) was used, and for the metrics Root-Mean-Squared Error (RMSE). Figure 2 depicts the used DL model.

After the process of DL model training was finished, prediction of the first image from the test dataset was done and it was compared with the original first image from the test dataset. This type of prediction is known as sequence-to-one and it is possible to predict more images (sequence-to-sequence type of prediction) (Nikezić et al., 2022).

Results and discussions

The saved DL model was loaded to predict the first image from the test dataset, Fig. 3a. Fig. 3b shows the original first image from the test dataset.

The evaluation of the DL model is based on the evaluation metrics i.e. MSE=0.0116. The MSE is always positive regardless of the sign of the predicted and actual values and a perfect value is 0.0 while the range is from zero to infinity. These results prove that the proposed ML model can

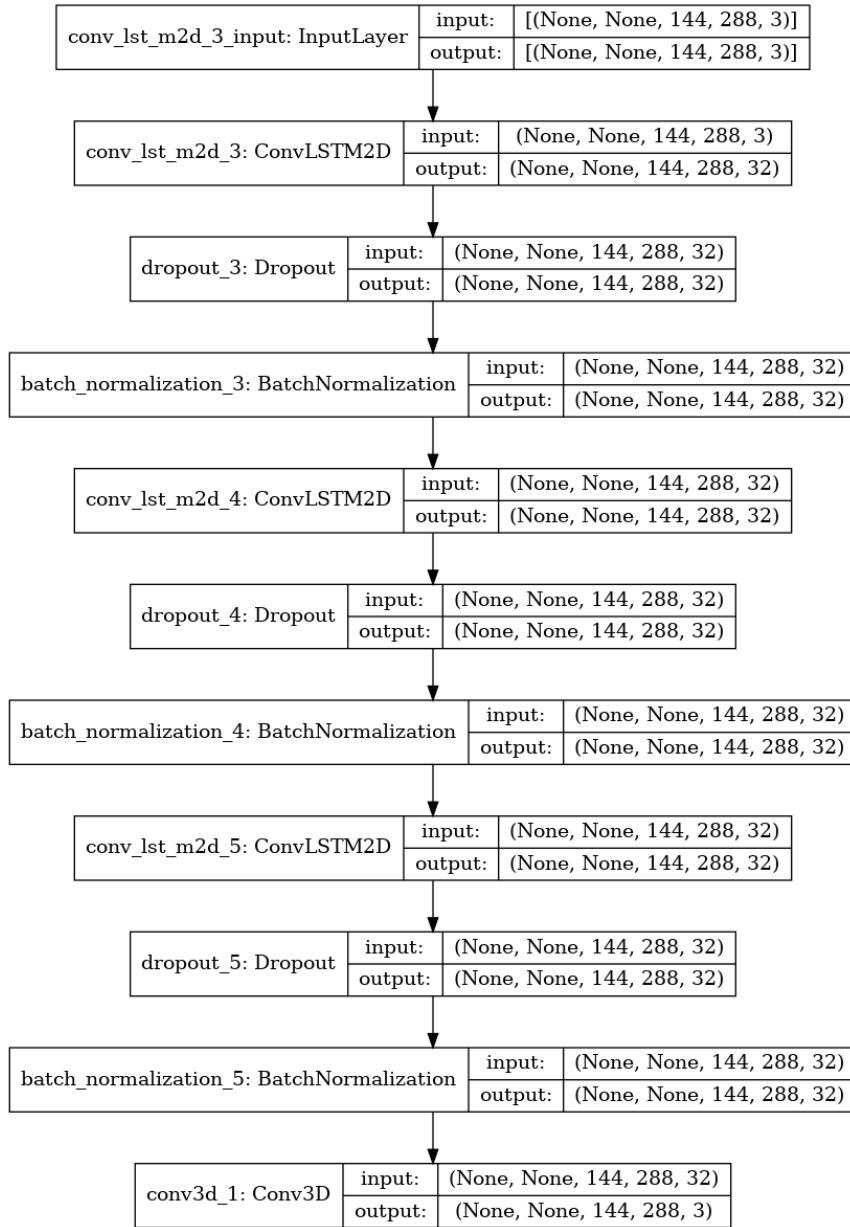


Figure 2 – Plot of the ConvLSTM model graph
 Рис. 2 – Изображение графа модели ConvLSTM
 Слика 2 – Приказ графа ConvLSTM модела

be used for AOT forecasts. Figure 4 shows the line plots of loss over 50 training epochs.

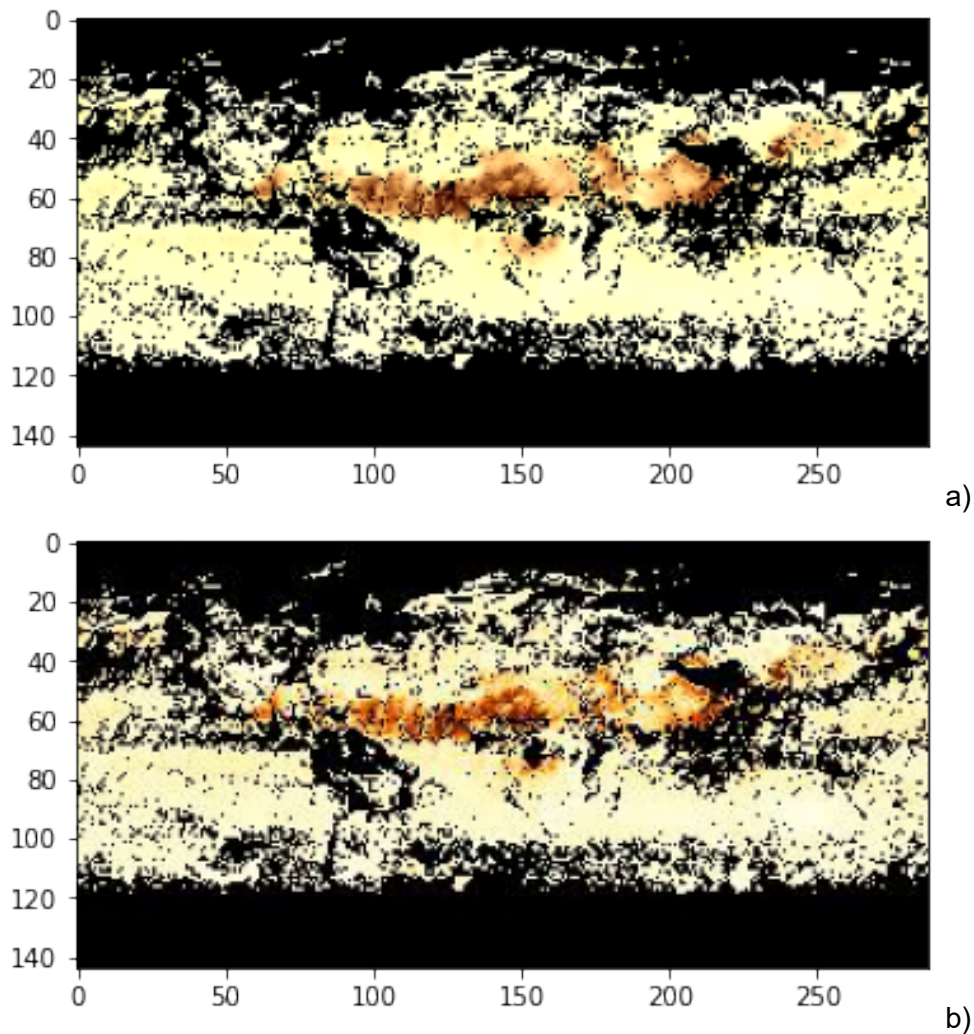


Figure 3 – Global AOT a) predicted and b) actual (real)

Рис. 3 – Глобальный АОТ а) прогнозируемый и б) фактический (реальный)

Слика 3 – Глобални АОТ а) предвиђени и б) реални

For STP, as mentioned, it is common to use CNN + LSTM models (Ding et al., 2020). To compare ConvLSTM and CNN LSTM, the new CNN LSTM model has been developed. Figure 5 depicts the new CNN LSTM model.

The evaluation metrics was for MSE 0.1117 and in comparison with the ConvLSTM model (MSE 0.0116) presents a higher value. Lower values of MSE indicate a better fit.

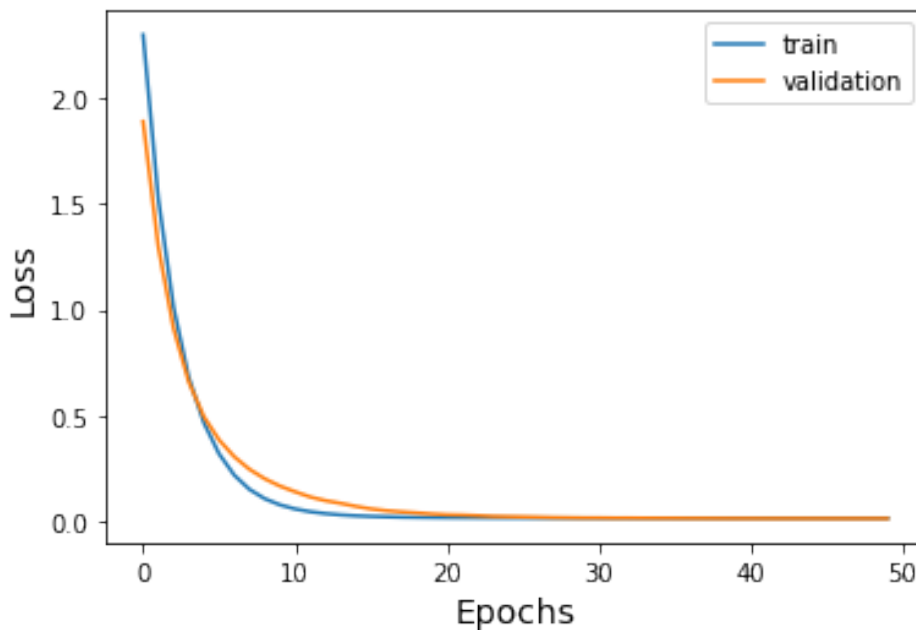


Figure 4 – Line plots of loss over 50 training epochs

Рис. 4 – Линейное изображение потерь за 50 тренировочных периодов

Слика 4 – Губици током 50 епоха тренирања

For better comparison, the next statistics was done. The Mean Absolute Error (MAE) is a measure of errors between the paired observations expressing the same phenomenon and is used for predictions in a segment of 9 frames per image, Table 1.

The range for the MAE is from zero to infinity and lower values are better. From the obtained results, it can be concluded that the ConvLSTM model required well-structured input data, right selection and optimal tuned model hyperparameters before it could be utilized for reliable AOT predictions.

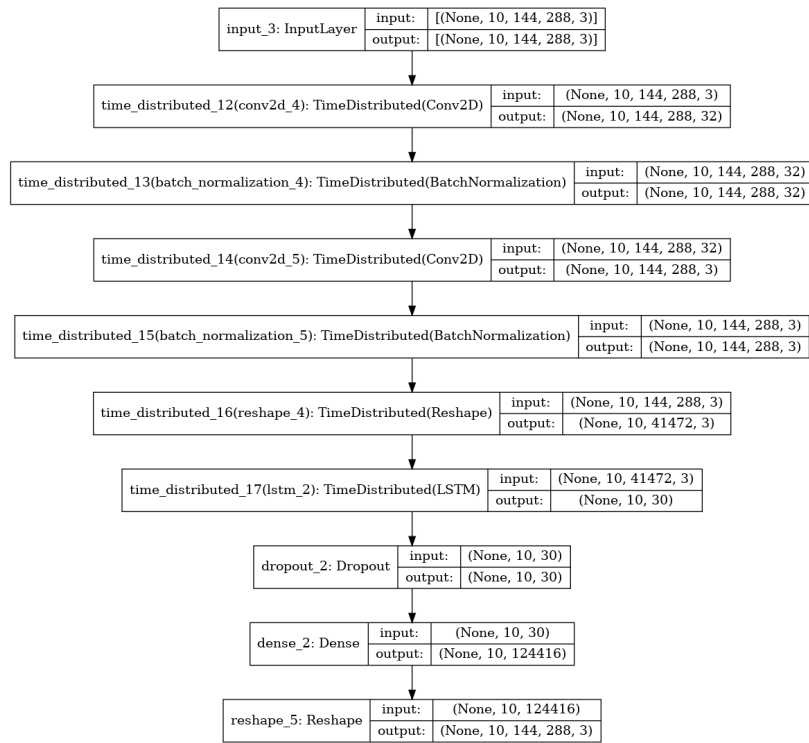


Figure 5 – Plot of the CNN LSTM model graph
 Рис. 5 – График модели CNN LSTM
 Слика 5 – Приказ графа CNN LSTN модели

Table 1 – MAE for predictions in a segment of 9 frames per image
 Таблица 1 – MAE для прогноза в сегменте из 9 кадров по изображению
 Табела 1 – MAE за предвиђања у сегменту од 9 кадрова по слици

ConvLSTM	CNN LSTM
0.02200718	0.24474642
0.02213584	0.2462145
0.02251104	0.24545886
0.02263835	0.2449535
0.0227564	0.24526556
0.02259156	0.24504275
0.02232519	0.24720876
0.02259231	0.2456902
0.02278301	0.24560421
0.23362	0.24605619

Conclusions and future research

Atmospheric aerosols play a major role in the Earth's radiation budget. Yet, aerosols are one of the greatest sources of uncertainty in climate modeling. Radiative forcing by aerosols may explain the difference between the observed and modeled trends in average global temperature. In fact, the interaction of aerosols with solar and terrestrial radiation perturbs the radiation budget via scattering and absorption of sunlight. Many recent studies show the importance of including aerosols in climate models to observe and measure human influence on atmospheric chemistry and climate change. Besides, some studies acknowledge that inhalation of aerosols is one way how COVID-19 spreads. Even when an infectious person is more than two meters away, aerosols have the ability to travel and infect others. These are some of the most important reasons why it is useful to predict global AOT.

The present study investigated the possibility of a new ConvLSTM model to forecast global AOT from MODIS satellite imagery. DL with big data is a new powerful tool which could help scientists in their research. A relatively new ConvLSTM2D layer in Keras merges spatial and temporal components and allows them to be used in STP.

Satellite images are helpful in seeing long-range transport of pollutants from other regions, but they do not give information about pollution levels on the ground. They see pollutants in the entire atmosphere, so the pollutants one sees in the satellite image could be kilometers above the ground. To find out whether the AOT in the satellite image is on the ground nearest to the surface, ground measurements need to be compared to satellite measurements. This can be done with AEROSOL ROBOTIC NETWORK (AERONET) like in the study ([Beer et al., 2020](#)). The AERONET project represents a federation of ground-based remote sensing aerosol networks established by NASA and PHOTONS ([NASA Goddard Space Flight Center, 2022](#)). Therefore, the next step in future research should be the validation of the ML model by comparing it with AERONET.

Another step for the developed ConvLSTM model should be to research how meteorological parameters such as wind speed, temperature, relative humidity, and rainfall improve AOT forecasting and accuracy. Further, deep neural networks showed to be very successful with time-stepped data ([Radivojević et al., 2021](#)) which should be concatenated with the input data of this study.

References

- Beer, C.G., Hendricks, J., Righi, M., Heinold, B., Tegen, I., Groß, S., Sauer, D., Walser, A. & Weinzierl, B. 2020. Modelling mineral dust emissions and atmospheric dispersion with MADE3 in EMAC v2. 54. *Geoscientific Model Development*, 13(9), pp. 4287–4303. Available at: <https://doi.org/10.5194/gmd-13-4287-2020,2020>.
- Colbeck, I. & Lazaridis, M. 2013. Introduction. In: Colbeck, I. and Lazaridis, M. (Eds.) *Aerosol Science*. Wiley Online Library. Available at: <https://doi.org/10.1002/9781118682555.ch1>.
- Dey, P., Chaulya, S. & Kumar, S. 2021. Hybrid CNN-LSTM and IoT-based coal mine hazards monitoring and prediction system. *Process Safety and Environmental Protection*, 152, pp. 249–263. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.06.005>.
- Ding, X., Feng, L., Zou, Y. & Zhang, G. 2020. Deep learning aided spectrum prediction for satellite communication systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(12), pp. 16314–16319. Available at: <https://doi.org/10.1109/TVT.2020.3043837>.
- Donahue, J., Hendricks, A.L., Guadarrama, S., Rohrbach, M., Venugopalan, S., Darrell, T. & Saenko, K. 2015. Long-term recurrent convolutional networks for visual recognition and description. In: *2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. p. . Boston, MA, USA, pp.2625-2634, June 07-12. Available at: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298878>.
- Eleftheriadis, K., Gini, M.I., Diapouli, E., Vratolis, S., Vasilatou, V., Fetfatzis, P. & Manousakas, M.I. 2021. Aerosol microphysics and chemistry reveal the COVID19 lockdown impact on urban air quality. *Scientific Reports*, 11, art.number:14477. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93650-6>.
- Elperin, T., Fominykh, A., Katra, I. & Krasovitev, B. 2017. Modeling of gas adsorption by aerosol plumes emitted from industrial sources. *Process Safety and Environmental Protection*, 111, pp. 375–387. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.06.022>.
- Filonchik, M., Yan, H., Zhang, Z., Yang, S., Li, W. & Li, Y. 2019. Combined use of satellite and surface observations to study aerosol optical depth in different regions of China. *Scientific reports*, 9(art.number:6174), pp. 1–15. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42466-6>.
- Hochreiter, S. & Schmidhuber, J. 1997. Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8), pp. 1735–1780. Available at: <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>.
- Hu, W.S., Li, H.C., Pan, L., Li, W., Tao, R. & Du, Q. 2020. Spatial–spectral feature extraction via deep ConvLSTM neural networks for hyperspectral image classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(6), pp. 4237–4250. Available at: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2019.2961947>.

Kumar, N., Chu, A. & Foster, A. 2007. An empirical relationship between PM_{2.5} and aerosol optical depth in Delhi Metropolitan. *Atmospheric Environment*, 41(21), pp. 4492–4503. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.01.046>.

Lin, C., Liu, G., Lau, A.K.H., Li, Y., Li, C., Fung, J.C.H. & Lao, X.Q. 2018. High-resolution satellite remote sensing of provincial PM_{2.5} trends in China from 2001 to 2015. *Atmospheric environment*, 180, pp. 110–116. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.02.045>.

NASA Goddard Space Flight Center, 2022. *AERONET Aerosol Robotic Network*, [online]. Available at: <https://aeronet.gsfc.nasa.gov/> [Accessed: 1 September 2022].

NASA NEO Nasa Earth Observations, 2022a. Index of */archive/rgb*, [online]. Available at: <https://neo.gsfc.nasa.gov/archive/rgb/> [Accessed: 1 September 2022].

NASA NEO Nasa Earth Observations, 2022b. *Index of /archive/rgb/MODAL2_E_AER_OD*, [online]. Available at: https://neo.gsfc.nasa.gov/archive/rgb/MODAL2_E_AER_OD/ [Accessed: 1 September 2022].

Nikezić, D.P., Gršić, Z.J., Dramlić, D.M., Dramlić, S.D., Lončar, B.B. & Dimović, S.D. 2017. Modeling air concentration of fly ash in Belgrade, emitted from thermal power plants TNTA and TNTB. *Process Safety and Environmental Protection*, 106, pp. 274–283. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.06.009>.

Nikezić, D.P., Ramadani, U.R., Radivojević, D.S., Lazović, I.M. & Mirkov, N.S. 2022. Deep Learning Model for Global Spatio-Temporal Image Prediction. *Mathematics*, 10(18,art.ID:3392), pp. 1–5. Available at: <https://doi.org/10.3390/math10183392>.

Radivojević, D.S., Mirkov, N.S. & Maletić, S. 2021. Human activity recognition based on machine learning classification of smartwatch accelerometer dataset. *FME Transactions*, 49(1), pp. 225–232. Available at: <https://doi.org/10.5937/fme2101225R>.

Shi, S., Cheng, T., Gu, X., Guo, H., Wu, Y., Wang, Y., Bao, F. & Zuo, X. 2020. Probing the dynamic characteristics of aerosol originated from South Asia biomass burning using POLDER/GRASP satellite data with relevant accessory technique design. *Environment International*, 145, art.number:106097. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106097>.

Shi, X., Chen, Z., Wang, H., Yeung, D.Y., Wong, W.K. & Woo, W.c. 2015. Convolutional LSTM Network: A Machine Learning Approach for Precipitation Nowcasting. *arXiv:1506.04214*. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1506.04214>.

Tang, S., Mao, Y., Jones, R.M., Tan, Q., Ji, J.S., Li, N., Shen, J., Lv, Y., Pan, L., Ding, P. et al. 2020. Aerosol transmission of SARS-CoV-2? Evidence, prevention and control. *Environment international*, 144, art.number:106039, pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106039>.

Vaddi, R. & Manoharan, P. 2020. Hyperspectral image classification using CNN with spectral and spatial features integration. *Infrared Physics & Technology*, 107, art.number:103296. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2020.103296>.

Valueva, M.V., Nagornov, N., Lyakhov, P.A., Valuev, G.V. & Chervyakov, N.I. 2020. Application of the residue number system to reduce hardware costs of the convolutional neural network implementation. *Mathematics and computers in simulation*, 177, pp. 232–243. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2020.04.031>.

Wang, Z., Liu, Y., Hu, M., Pan, X., Shi, J., Chen, F., He, K., Koutrakis, P. & Christiani, D.C. 2013. Acute health impacts of airborne particles estimated from satellite remote sensing. *Environment international*, 51, pp. 150–159. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.10.011>.

Wei, X., Chang, N.B., Bai, K. & Gao, W. 2020. Satellite remote sensing of aerosol optical depth: Advances, challenges, and perspectives. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(16), pp. 1640–1725. Available at: <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1665944>.

Xavier, A. 2019. An introduction to ConvLSTM. *Medium*. [online]. Available at: <https://medium.com/neuronio/an-introduction-to-convlstm-55c9025563a7> [Accessed: 1 September 2022].

You, W., Zang, Z., Zhang, L., Li, Y., Pan, X. & Wang, W. 2016. National-scale estimates of ground-level PM_{2.5} concentration in China using geographically weighted regression based on 3 km resolution MODIS AOD. *Remote Sensing*, 8(3, art.ID:184), pp. 1–13. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs8030184>.

Zoran, M.A., Savastru, R.S., Savastru, D.M., Tautan, M.N., Baschir, L.A. & Tenciu, D.V. 2021. Exploring the linkage between seasonality of environmental factors and COVID-19 waves in Madrid, Spain. *Process Safety and Environmental Protection*, 152, pp. 583–600. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.06.043>.

Спутниковое дистанционное зондирование и глубокое обучение при прогнозировании распространения аэрозолей

Никола С. Мирков, Душан С. Радивоевич, Иван М. Лазович,
Узахир Р. Рамадани, Душан П. Никезич, **корресподент**

Белградский университет, Институт ядерных исследований
«Винча» – Институт государственного значения для Республики
Сербия, г. Белград, Республика Сербия

РУБРИКА ГРНТИ: 30.51.37 Динамические процессы в теле
Земли, планет и их спутников

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья



Резюме:

Введение/цель: В данной статье представлен новый современный метод, использующий спутниковые снимки НАСА с новейшей моделью глубокого обучения для решения задачи прогнозирования пространственно-временных последовательностей. Полученная со спутников информация об аэрозолях очень полезна во многих областях, таких как диспергирование частиц или передача COVID-19. Для входных данных послужила модель MODAL2_E_AER_OD, которая представляет глобальный прогноз оптической толщины аэрозоля на каждые 8 дней с Terra/MODIS. Реализованный алгоритм машинного обучения включает составные нейронные слои ConvLSTM2D в библиотеке Keras. Полученные результаты были сопоставлены с новой моделью CNN LSTM.

Методы: Вычислительные методы машинного обучения, искусственные нейронные сети, глубокое обучение.

Результаты: Результаты показывают глобальный прогноз оптической толщины аэрозоля с использованием цифровых спутниковых снимков в качестве входных данных.

Выводы: Полученные результаты показывают, что разработанная модель ConvLSTM пригодна для глобального прогнозирования толщины атмосферного аэрозоля, а также для распространения атмосферных частиц и COVID-19.

Ключевые слова: оптическая толщина аэрозоля, наблюдения Земли НАСА, ConvLSTM2D, COVID-19, дисперсия твердых частиц.

Сателитско осматрање и дубоко учење за предвиђање аеросола

Никола С. Мирков, Душан С. Радивојевић, Иван М. Лазовић, Узахир Р. Рамадани, Душан П. Никезић, аутор за преписку

Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке "Винча"-
Институт од националног значаја за Републику Србију,
Београд, Република Србија

ОБЛАСТ: инжењерство

ВРСТА ЧЛАНКА: оригинални научни рад

Увод: Изложена је унапређена метода која укључује Насине сателитске снимке са најновијим моделом дубоког

учења који се односи на проблем предвиђања просторно-временских сигнала. Информација о аеросолима са сателитских снимака је врло значајна за предвиђање дисперзије честица у атмосфери и преноса вируса COVID-19. Улазни подаци MODAL2_E_AER_OD представљају глобални AOT за осам дана са Terra/MODIS. Алгоритам машинског учења је сачињен од композитних неуронских слојева ConvLSTM2D у библиотеци Keras. Добијени резултати су употребљени са новим моделом CNN LSTM.

Методe: Прорачунске методе машинског учења, вештачке неуронске мреже, дубоко учење.

Резултати: Резултати приказују глобално предвиђање оптичке дебљине аеросола са дигиталним сателитским снимцима који су коришћени као улазни подаци.

Закључак: Показано је да је развијени модел ConvLSTM погодан за глобално предвиђање атмо-сферске дебљине аеросола, као и за пренос атмосферских честица и вируса COVID-19.

Кључне речи: оптичка дебљина аеросола, NASA Earth Observations, ConvLSTM2D, COVID-19, дисперзија честица.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 27.09.2022.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 27.01.2023.

Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 29.01.2023.

© 2023 The Authors. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (<http://vtg.mod.gov.rs>, <http://втр.мо.унр.срб>). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2023 Авторы. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (<http://vtg.mod.gov.rs>, <http://втр.мо.унр.срб>). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2023 Аутори. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (<http://vtg.mod.gov.rs>, <http://втр.мо.унр.срб>). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у складу са Creative Commons лиценцом (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



Application of new robust design by means of probability-based multi-objective optimization to machining process parameters

Maosheng Zheng^a, Haipeng Teng^b, Yi Wang^c

^a Northwest University, School of Chemical Engineering, Xi'an, People's Republic of China, e-mail: mszhengok@aliyun.com, **corresponding author**, ORCID iD:  <https://orcid.org/0000-0003-3361-4060>

^b Northwest University, School of Chemical Engineering, Xi'an, People's Republic of China, e-mail: tenghp@nwu.edu.cn, ORCID iD:  <https://orcid.org/0000-0003-2987-7415>

^c Northwest University, School of Chemical Engineering, Xi'an, People's Republic of China, e-mail: wangyi11@nwu.edu.cn, ORCID iD:  <https://orcid.org/0000-0001-6711-0026>

DOI: 10.5937/vojtehg71-39747; <https://doi.org/10.5937/vojtehg71-39747>

FIELD: materials, optimization

ARTICLE TYPE: original scientific paper

Abstract:

Introduction/purpose: New robust design by means of probability-based multi-objective optimization takes the arithmetic mean value of the performance indicator and its deviation as twin independent responses of the performance indicator. The aim of this article is to check the applicability of new robust design in optimizing machining process parameters. To conduct the examination in detail, the robust design for optimal cutting parameters to minimize energy consumption during the turning of AISI 1018 steel at a constant material removal rate is applied as well as the concurrent optimization of the machining process parameters and the tolerance allocation of a spheroidal graphite cast iron piston.

Methods: In the spirit of the probability-based method for multi-objective optimization, the arithmetic mean value of the performance indicator and its deviation are taken as two independent responses of the performance indicator to implement robust design. Each of the above twin responses contributes one part of the partial preferable probabilities to the performance indicator of the alternatives in the treatment. The arithmetic mean value of the performance indicator should be assessed as a representative of the performance indicator according to the function or the preference of the performance indicator, and the deviation is the other

index of the performance indicator, which has the characteristic of the smaller-the-better in general. Furthermore, the square root of the product of the above two parts of the partial preferable probability forms the actual preferable probability of the performance indicator. Moreover, the product of partial preferable probabilities gives the total preferable probability of each alternative, which is the overall and unique index of each alternative in the robust optimum.

Results: The paper gives the rational optimum cutting parameters for minimizing energy consumption during the turning of AISI 1018 steel at a constant material removal rate and the concurrent optimization of the machining process parameters and the tolerance allocation of a spheroidal graphite cast iron piston.

Conclusion: The application study indicates its rationality and convenience of new robust optimization in the optimization of machining process parameters.

Key words: preferable probability; probability-based method; multi-objective optimization; robust design; simultaneous optimization.

Introduction

The importance of quality improvement through reducing the effect of noise on response was recognized early in 1950s by Taguchi - Taguchi's method (Roy, 2010; Mori & Tsai, 2011). Designed experiments could be performed to study the effects of both controllable and uncontrollable factors on product or process response. Uncontrollable factors are called noise factors by Taguchi (Roy, 2010; Mori & Tsai, 2011). The idea of robust design corresponds to a design of a set of controllable factors which make the quality of a product insensitive to so-called noise factors or sensitive as little as possible i.e. with a minimum effect of noise (Roy, 2010; Mori & Tsai, 2011).

In Taguchi's method (Roy, 2010; Mori & Tsai, 2011), it was further assumed that **controllable factors** include factors that can be easily controlled by an experimenter or a product designer, such as design of a prescription or a melting temperature in an alloy melting process, while **uncontrollable factors (noise factors)** are those impossible or not easily possible to control. So, robust design is a concept seeking a set of controllable factors which make product and processes with minimum sensitivity to the variations of uncontrollable factors without removing uncontrollable factors.

Moreover, signal-to-noise ratio (SNR) was introduced by Taguchi as a specific term to characterize robust design (Roy, 2010; Mori & Tsai, 2011). Optimum factors correspond to a set of controllable factors which

guarantee an appropriate SNR maximum. There are three types of standard types of SNRs which were suggested by Taguchi:

- Nominal-the-best

$$SNR_T = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{\sigma^2} \right), \quad (1)$$

- Smaller-the-better

$$SNR_s = -10 \log \left(\frac{1}{l} \sum_{i=1}^l y_i^2 \right), \quad \text{and} \quad (2)$$

- Larger-the-better

$$SNR_L = -10 \log \left(\frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \frac{1}{y_i^2} \right). \quad (3)$$

In the above Eqs. (1) - (3), l stands for the number of each experimental test, \bar{y} is the arithmetic mean value of the l data of experimental tests, and σ is the standard deviation.

The mean value \bar{y} of the tests and the standard error σ are inherently independent responses for a set of actual experiments or processes in general, which was pointed out by many statisticians - scientists (Box, 1988; Box & Meyer, 1986; Welch et al, 1990; Welch et al, 1992; Nair et al, 1992).

However, the SNR in Eq. (1) unites the two factors \bar{y} and σ into one factor SNR_T unreasonably - the optimization of the maximum of the SNR_T is not equivalent to the simultaneous optimizations of the both minima of σ and \bar{y} closing to the target. More problematically, the expressions of Eq. (2) and Eq. (3) for "smaller-the-better" and "larger-the-better" imply more serious cases, i.e., these formulae even exclude the factor of the standard deviation σ . This point was frequently criticized by statisticians (Box, 1988; Box & Meyer, 1986; Welch et al, 1990; Welch et al, 1992; Nair et al, 1992). A kind advice from statisticians was to consider both responses of the mean and the variance by using two individual models.

Therefore, the optimization of the both minima of σ and \bar{y} closing to the target should be treated with two individual models at the same time so as to perform rational robust optimization.

In recent years, a probability-based method for multi-objective optimization (PMOO) was developed to solve the inherent problems of

the “additive algorithm” with personal and subjective factors in previous multi-objective optimizations (Zheng et al, 2022a; Zheng et al, 2022b; Zheng et al, 2023). A new concept of preferable probability was introduced to represent the preference degree of performance utility indicator of candidates in optimization. In this new methodology, all performance utility indicators of alternatives could be preliminarily divided into two types, i.e., beneficial or unbeneficial types according to their functions or pre-required preference in the optimization; every performance utility indicator of the alternative could quantitatively contribute to a partial preferable probability. Moreover, the product of all partial preferable probabilities leads to the total preferable probability of an alternative by means of the probability theory, which is the uniquely decisive index of a candidate in the optimization process, thus transferring a multi-objective optimization problem into a single-objective one.

This paper shows the application of new robust design by means of the probability theory with taking the arithmetic mean values of the performance indicators of the alternatives and their deviations as two independent factors rationally in order to deal with the problem of robust optimization of machining process parameters. Two examples - turning of AISI 1018 steel at a constant material removal rate and a concurrent optimization of the machining process parameters and the tolerance allocation of a spheroidal graphite cast iron piston - are given to show the rationality of robust design in manufacturing.

Rational process of robust design by means of probability-based multi-objective optimization

1) Fundamental principle of probability-based multi-objective optimization

In the methodology of the probability-based method for multi-objective optimization [8-10], a new concept of preferable probability was introduced to represent a preference degree of a performance utility indicator in optimization. All performance utility indicators of alternatives could be preliminarily divided into two types, i.e., beneficial or unbeneficial types according to their functions or pre-required preference in the optimization; every performance utility indicator of an alternative contributes to a partial preferable probability quantitatively; moreover, the product of all partial preferable probabilities leads to the total preferable probability of an alternative in the viewpoint of probability theory to reflect the essence of their simultaneous optimization, which is the unique

decisive index in the optimization process, thus transferring a multi-objective optimization problem into a single-objective one (Zheng et al, 2022a; Zheng et al, 2022b; Zheng et al, 2023).

The formation of total preferable probability of an alternative by multiplying all partial preferable probabilities of their performance utility indicators reveals the spirit of simultaneous optimization of each performance utility indicator in the spirit of the probability theory explicitly, which undoubtedly solves the intrinsic problems of “additive algorithms” of subjective factors in previous multi-objective optimizations.

2) Process of new robust design by means of probability-based multi-objective optimization

In the light of the suggestion from statisticians that both responses of the mean and the variance could be taken into account by using two individual models, the process of rational robust design by means of probability-based multi-objective optimization is as follows.

A) The arithmetic mean value of the performance indicator of the alternatives and its deviation are taken as twin independent responses of the performance indicator to conduct robust design. Each of the above two responses contributes one part of the partial preferable probabilities to the performance indicator of the alternatives in the treatment of robust design.

B) The arithmetic mean value of the performance indicator should be assessed as a representative of the performance indicator according to its function and preference, and the deviation is the other index of the performance indicator which has the characteristic of the smaller-the-better in general.

C) The square root of the product of both parts of partial preferable probability of the performance indicator forms the actual preferable probability of the performance indicator.

D) The product of all partial preferable probabilities forms the total preferable probability of each alternative, which is the overall and unique index of each alternative in the robust optimum.

E) The total preferable probability of the alternatives is the unique index which is used as the decisive indicator of every alternative to complete the robust optimum.

Applications of robust design by means of probability-based multi-objective optimization

The application examples of new robust design by means of probability-based multi-objective optimization in robust design of products are given here to illustrate the new approach in detail.

1) Optimization of cutting parameters to minimize energy consumption during the turning of AISI 1018 steel at a constant material removal rate

Camposeco-Negrete et al. conducted an optimization of cutting parameters to minimize energy consumption during the turning of AISI 1018 steel at a constant material removal rate. There are three control factors: the cutting speed (Factor A), the feed rate (Factor B), and the cut depth (Factor C) with three levels for each factor, as shown in Table 1 by means of the Taguchi $L_9(3^4)$ design with four test results (Camposeco-Negrete et al, 2016). The aim of this experimental design is to apply robust design for the optimization of energy consumption. The values of the cutting parameters shown in Table 1 were calculated in order to obtain a constant material removal rate of 1333.33 mm³/s (Camposeco-Negrete et al, 2016).

Table 1 – Values and levels of the cutting parameters of AISI 1018 steel at a constant material removal rate by means of $L_9(3^4)$

Таблица 1 – Значения и уровни параметров резки стали AISI 1018 при постоянной скорости съема материала с помощью $L_9(3^4)$
Табела 1 – Вредности и нивои параметара сечења челика АИСИ 1018 при константној брзини уклањања материјала помоћу $L_9(3^4)$

Exp. no	Factor values			Energy consumed (kJ)			
	A (m/min)	B (mm/rev)	C (mm)	1	2	3	4
1	350	0.10	2.29	71.47	74.2	121.04	133.14
2	350	0.15	1.52	51.64	54.28	88.85	97.22
3	350	0.20	1.14	42.93	43.63	73.07	80.75
4	375	0.10	2.13	68.97	71.10	123.99	135.69
5	375	0.15	1.42	51.67	52.49	91.19	100.17
6	375	0.20	1.07	42.00	43.04	76.29	82.66
7	400	0.10	2.00	67.94	69.47	130.63	141.77
8	400	0.15	1.33	50.41	52.17	97.35	105.91
9	400	0.20	1.00	41.08	42.05	81.44	86.75

Table 2 shows the assessed results of the preferable probability and the ranks of this problem.

The mean value of energy consumption is shown by μ , and the standard deviation is represented by s .

According to the requirement of robust optimization, the performances of μ and s have the characteristic of the unbeneficial indexes in Table 2.

Table 2 – Assessed results of the preferable probability and the rank of AISI 1018 steel at a constant material removal rate by means of $L_9(3^4)$

Таблица 2 – Результаты оценки предпочтительной вероятности и ранга стали AISI 1018 при постоянной скорости съема материала с помощью $L_9(3^4)$

Табела 2 – Анализирани резултати пожељне вероватноће и ранга челика АИСИ 1018 при константној брзини уклањања материјала помоћу $L_9(3^4)$

Exp. no	Mean value of energy consumption μ (kJ)	S. D. of energy consumption s (kJ)	Preferable probability			Rank
			P_μ	P_s	$P_t=(P_\mu \cdot P_s)^{0.5}$	
1	99.9625	31.7308	0.0831	0.0946	0.0887	7
2	72.9975	23.4131	0.1189	0.1291	0.1239	4
3	60.0950	19.6699	0.1360	0.1447	0.1403	1
4	99.9375	34.8681	0.0831	0.0816	0.0823	8
5	73.8800	25.4402	0.1177	0.1207	0.1192	5
6	60.9975	21.4981	0.1348	0.1371	0.1359	2
7	102.4525	39.2377	0.0798	0.0635	0.0712	9
8	76.4600	29.2820	0.1143	0.1048	0.1094	6
9	62.8300	24.6534	0.1324	0.1240	0.1281	3

The assessed results in Table 2 indicate that test No. 3 has the highest value of the total preferable probability P_t at the first glance. Therefore, the robust configuration is around tests No. 3.

Moreover, Table 3 shows the results of the range analysis for the total preferable probability shown in Table 2, which shows that the optimum configuration is A1B3C1, which is test No. 3 exactly.

Table 3 – Range analysis of the total preferable probability of AISI 1018 steel at a constant material removal rate by means of $L_9(3^4)$

Таблица 3 – Анализ ранжирования общей предпочтительной вероятности стали AISI 1018 при постоянной скорости съема материала с помощью $L_9(3^4)$

Табела 3 – Анализа рангирања укупне пожељне вероватноће челика АИСИ 1018 при константној брзини уклањања материјала помоћу $L_9(3^4)$

Level	A	B	C
1	0.1176	0.0807	0.1348
2	0.1125	0.1175	0.1175
3	0.1029	0.1348	0.0807
Range	0.0147	0.0540	0.0540
Order	3	1	2
Optimal configuration	A1	B3	C1

2) Concurrent optimization of the machining process parameters and the tolerance allocation of a spheroidal graphite cast iron piston

Janakiraman & Saravanan conducted a concurrent optimization of the machining process parameters and the tolerance allocation of a spheroidal graphite cast iron piston (2010) as an example of conducting a restudy with robust design of probability-based multi-objective optimization.

There are 3 control factors: cutting speed (A), feed rate (B), and depth of cut (C) with five levels in the experiments with response surface methodology design and the test results, as shown in Table 4.

The mean value of energy consumption is shown by μ , and the standard deviation is represented by s . As the target value is the input diameter (Janakiraman & Saravanan, 2010), a factor ε is introduced to present the deviation of the mean value from the target value of the input diameter, i.e., $\varepsilon = |\mu - \text{input diameter}|$.

Furthermore, according to the requirement of robust design, the performance of ε and s has the characteristic of unbeneficial indexes. All the assessed results are shown in Table 5 together with their preferable probability values and ranks.

Table 4 – Response surface central composite rotatable design matrix and the test results

Таблица 4 – Поверхность отклика матрицы центральной композитной вращающейся конструкции и результаты испытаний

Табела 4 – Површина одговора матрице централног композитног ротационог дизајна и резултати испитивања

Expt. no.	Cutting speed (A) (m/min)	Feed rate (B) (mm/rev)	Depth of cut (C) (mm)
1	24.05	2.01	0.014
2	35.95	2.05	0.014
3	24.05	4.99	0.014
4	35.95	4.99	0.014
5	24.05	2.01	0.041
6	35.95	2.01	0.041
7	24.05	4.99	0.041
8	35.95	4.99	0.041
9	20	3.5	0.028
10	40	3.5	0.028
11	30	1	0.028
12	30	6	0.028
13	30	3.5	0.005
14	30	3.5	0.05
15	30	3.5	0.028
16	30	3.5	0.028
17	30	3.5	0.028
18	30	3.5	0.028
19	30	3.5	0.028
20	30	3.5	0.028

Continued

Expt. no.	Input diameter (mm)	Output diameter measured (mm)				
		1	2	3	4	5
1	51.003	50.992	50.986	50.99	50.993	50.982
2	51.24	51.222	51.221	51.224	51.225	51.225
3	51.24	51.221	51.221	51.222	51.221	51.22
4	51.237	51.21	51.219	51.211	51.215	51.218
5	51.22	51.17	51.175	51.18	51.173	51.171
6	51.17	51.129	51.13	51.129	51.128	51.13
7	51.235	51.198	51.199	51.195	51.196	51.2
8	51.1	51.059	51.066	51.05	51.056	51.054
9	51.23	51.205	51.2	51.205	51.203	51.202
10	51.2	51.176	51.172	51.174	51.171	51.172
11	51.245	51.205	51.21	51.208	51.205	51.203
12	51.215	51.181	51.188	51.186	51.187	51.179
13	51.245	51.244	51.24	51.245	51.240	51.242
14	51.22	51.18	51.185	51.178	51.18	51.18
15	51.235	51.21	51.215	51.21	51.212	51.218
16	51.24	51.212	51.22	51.219	51.218	51.215
17	51.21	51.17	51.168	51.165	51.164	51.162
18	51.23	51.19	51.195	51.185	51.188	51.19
19	51.17	51.135	51.141	51.141	51.142	51.136
20	51.21	51.185	51.18	51.18	51.182	51.173

The assessed results in Table 5 indicate that test No. 13 has the highest value of the total preferable probability P_t that is closely followed by test No. 3.

Therefore, the robust configuration is around tests No. 13, while test No. 13 clearly shows simultaneous smaller values of both ε and s from Table 5.

Table 5 – Assessed results together with the preferable probabilities and ranks
 Таблица 5 – Результаты анализа с предпочтительными вероятностями и ранжированием

Табела 5 – Анализирани резултати са пожелјним вероватноћама и рангирањем

Expt. no.	μ	ε	s	Preferable probability			Rank
				P_ε	P_s	$P_t=(P_\mu \cdot P_s)^{0.5}$	
1	50.9886	0.0144	0.0046	0.0750	0.0293	0.0469	12
2	51.2234	0.0166	0.0018	0.0715	0.0668	0.0691	3
3	51.2210	0.019	0.0007	0.0676	0.0820	0.0744	2
4	51.2146	0.0224	0.0040	0.0621	0.0365	0.0476	11
5	51.1738	0.0462	0.0040	0.0234	0.0375	0.0296	19
6	51.1292	0.0408	0.0008	0.0322	0.0802	0.0508	8
7	51.1976	0.0374	0.0021	0.0377	0.0633	0.0489	9
8	51.0570	0.0430	0.0060	0.0286	0.0097	0.0166	20
9	51.2030	0.0270	0.0021	0.0546	0.0627	0.0585	5
10	51.1730	0.0270	0.0020	0.0546	0.0643	0.0593	4
11	51.2062	0.0388	0.0028	0.0354	0.0537	0.0436	14
12	51.1842	0.0308	0.0040	0.0484	0.0375	0.0426	15
13	51.2422	0.0028	0.0023	0.0939	0.0605	0.0754	1
14	51.1806	0.0394	0.0026	0.0344	0.0560	0.0439	13
15	51.2130	0.0220	0.0035	0.0627	0.0443	0.0527	7
16	51.2168	0.0232	0.0033	0.0608	0.0470	0.0534	6
17	51.1658	0.0442	0.0032	0.0266	0.0480	0.0358	18
18	51.1896	0.0404	0.0036	0.0328	0.0418	0.0370	17
19	51.1390	0.0310	0.0032	0.0481	0.0474	0.0477	10
20	51.1800	0.0300	0.0044	0.0497	0.0313	0.0395	16

Conclusion

The above discussion indicates that new robust design by means of probability-based multi-objective optimization can be reasonably used to deal with the problem of optimizing machining process parameters. The arithmetic mean value of the performance indicator and its deviation are taken as twin independent responses of the performance indicator in the treatment, which contributes their parts of partial preferable probability of the performance indicator respectively. The arithmetic mean value of the

performance indicator is assessed as a representative of the performance indicator according to its function and preference, and the deviation is the unbeneficial index in the assessment. The total preferable probability of each alternative is the uniquely overall index of each alternative in the robust optimum.

References

- Box, G. 1988. Signal-to-Noise Ratios, Performance Criteria, and Transformations. *Technometrics*, 30(1), pp.1-17. Available at: <https://doi.org/10.2307/1270311>.
- Box, G.E.P. & Meyer, R.D. 1986. Dispersion Effects from Fractional Designs. *Technometrics*, 28(1), pp.19-27. Available at: <https://doi.org/10.1080/00401706.1986.10488094>.
- Camposeco-Negrete, C., de Dios Calderón Nájera, J. & Miranda-Valenzuela, J.C. 2016 Optimization of cutting parameters to minimize energy consumption during turning of AISI 1018 steel at constant material removal rate using robust design. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83, pp.1341-1347. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7679-9>.
- Janakiraman, V. & Saravanan, R. 2010. Concurrent optimization of machining process parameters and tolerance allocation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51, pp.357-369. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2602-x>.
- Mori, T. & Tsai, S-C. 2011. *Taguchi Methods: Benefits, Impacts, Mathematics, Statistics, and Applications*. New York, NY, USA: ASME Press. Available at: <https://doi.org/10.1115/1.859698>.
- Nair, V.N., Abraham, B., MacKay, J., Box, G., Kacker, R.N., Lorenzen, T.J., Lucas, J.M., Myers, R.H., Vining, G.G., Nelder, J.A., Phadke, M.S., Sacks, J., Welch, W.J., Shoemaker, A.C., Tsui, K.L., Taguchi, S. & Wu, C.F.J. 1992. Taguchi's Parameter Design: A Panel Discussion. *Technometrics*, 34(2), pp.127-161. Available at: <https://doi.org/10.2307/1269231>.
- Roy, R.K. 2010. *A Primer on the Taguchi Method. 2nd Ed.* Southfield, Michigan, USA: Society of Manufacturing Engineers. ISBN-13: 978-0872638648.
- Welch, W.J., Buck, R.J., Sacks, J., Wynn, H.P., Mitchell, T.J. & Morris, M.D. 1992. Screening, Predicting, and Computer Experiments. *Technometrics*, 34(1), pp.15-25. Available at: <https://doi.org/10.2307/1269548>.
- Welch, W.J., Yu, T-K., Kang, S.M. & Sacks, J. 1990. Computer experiments for quality control by parameter design. *Journal of Quality Technology*, 22(1), pp.15-22. Available at: <https://doi.org/10.1080/00224065.1990.11979201>.
- Zheng, M., Teng, H., Yu, J., Cui, Y. & Wang Y. 2023. *Probability-Based Multi-objective Optimization for Material Selection*. Singapore: Springer. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-981-19-3351-6>.

Zheng, M., Wang, Y. & Teng, H. 2022a. An novel method based on probability theory for simultaneous optimization of multi – object orthogonal test design in material engineering. *Kovove Materialy*, 60(1), pp.45-53. Available at: <https://doi.org/10.31577/km.2022.1.45>.

Zheng, M., Wang, Y. & Teng, H. 2022b. A novel approach based on probability theory for material selection. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 53(6), pp.666-674. Available at: <https://doi.org/10.1002/mawe.202100226>.

Многокритериальная оптимизация, основанная на вероятности в качестве основы для применения новой робастной конструкции с параметрами механической обработки

Маошенг Чжэн, **корреспондент**, Хайпэн Тен, Йи Вон

Северо-западный политехнический университет, факультет химической инженерии, г. Сиань, Народная Республика Китай

РУБРИКА ГРНТИ: 27.47.00 Математическая кибернетика,
27.47.19 Исследование операций,
81.09.00 Материаловедение

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

Резюме:

Введение/цель: Новая робастная конструкция, разработанная с помощью многокритериальной оптимизации, основанной на вероятности, использует среднее арифметическое значение показателя эффективности и его отклонение как две независимые реакции показателей эффективности. Цель этой статьи – проверить применимость новой робастной конструкции для оптимизации параметров при механической обработке. При детальных испытаниях была использована робастная конструкция для определения оптимальных параметров резки и минимизации энергопотребления при токарной обработке стали AISI 1018, с учетом постоянной скорости съема материала, а также одновременной оптимизации параметров обработки и распределения допусков поршня из чугуна с шаровидным графитом.

Методы: Придерживаясь метода, основанного на вероятности многокритериальной оптимизации, среднее арифметическое значение показателя эффективности и его отклонений используются в качестве двух независимых откликов показателя эффективности для ввода в эксплуатацию робастной конструкции. Каждый из вышеописанных двойных откликов частично предпочтительными вероятностями способствует улучшению показателей эффективности

альтернатив в процессе испытаний. Среднее арифметическое значение показателя эффективности следует оценивать, как репрезентативное значение показателя эффективности в соответствии с функцией или преимуществом показателя эффективности, а отклонение является вторым показателем индикатора эффективности, который в целом характеризуется как «меньше-лучше». Кроме того, квадратный корень произведения двух вышеуказанных частей частичной предпочтительной вероятности формирует фактическую предпочтительную вероятность показателя эффективности. Более того, произведение частичных предпочтительных вероятностей дает общую предпочтительную вероятность по каждой альтернативе, которая является общим и уникальным индексом каждой из альтернатив в робастном оптимуме.

Результаты: В статье приведены рациональные оптимальные параметры резки для минимизации энергопотребления во время токарной обработки стали AISI 1018 при постоянном съеме материала, а также одновременной оптимизации параметров обработки и распределения допусков поршня из чугуна с шаровидным графитом.

Выводы: Исследование показало, что применение новой робастной оптимизации является рациональным и удобным способом оптимизации параметров механической обработки.

Ключевые слова: предпочтительная вероятность; вероятностный метод; многокритериальная оптимизация; робастная конструкция; одновременная оптимизация.

Вишекритеријумска оптимизација заснована на вероватноћи као основа за примену новог робустног дизајна на параметре машинске обраде

Маошенг Ценг, **аутор за преписку**, Хаипенг Тенг, Ји Ванг

Универзитет Северозапад, Факултет хемијског инжењерства,
Сијан, Народна Република Кина

ОБЛАСТ: математика, материјали

КАТЕГОРИЈА (ТИП) ЧЛАНКА: оригинални научни рад

Сажетак:

Увод/циљ: Нови робустни дизајн настао помоћу вишекритеријумске оптимизације засноване на вероватноћи узима аритметичку средњу вредност индикатора перформанси, као и њену девијацију, за двојне независне одговоре индикатора

перформанси. Циљ овог рада јесте да се провери применљивост новог робустног дизајна на оптимизацију параметара машинске обраде. За детаљно испитивање коришћен је робустни дизајн за одређивање оптималних параметара сечења како би се потрошња енергије током окретања челика АИСИ 1018, при константној брзини уклањања материјала, свела на најмању могућу меру. Поред тога, истовремено је примењена и оптимизација параметара машинске обраде и алокација толеранције клипа од сфероидног графитног ливеног звожђа.

Метод: У складу с методом заснованом на вероватноћи за вишекритеријумску оптимизацију, аритметичка средња вредност индикатора перформанси, као и њена девијација, узете су за двојне независне одговоре индикатора перформанси при примени робустног дизајна. Сваки од ова два поменута одговора доприноси једним делом парцијалних пожељних вероватноћа индикатору перформанси алтернатива у испитивању. Аритметичка средња вредност индикатора перформанси треба да се процењује као представник индикатора перформанси према функцији или преференцији индикатора перформанси, док је девијација други њихов показатељ кога, уопштено говорећи, карактерише принцип „мање је боље”. Поред тога, квадратни корен производа два поменута дела парцијалне пожељне вероватноће формира стварну пожељну вероватноћу индикатора перформанси. Штавише, производ парцијалних пожељних вероватноћа даје укупну пожељну вероватноћу сваке алтернативе, што представља укупни и јединствени индекс сваке алтернативе у робустном оптимуму.

Резултати: У раду су представљени рационални оптимални параметри сечења за минимизирање потрошње енергије током окретања челика АИСИ 1018 при константној брзини уклањања материјала, као и истовремена оптимизација параметара машинске обраде и алокација толеранције клипа од сфероидног графитног ливеног звожђа.

Закључак: Студија указује да је примена нове робустне оптимизације рационална и погодна за оптимизацију параметара машинске обраде.

Кључне речи: пожељна вероватноћа, метод заснован на вероватноћи, вишекритеријумска оптимизација, робустни дизајн, истовремена оптимизација.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 22.08.2022.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /
Датум достављања исправки рукописа: 26.01.2023.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум
коначног прихватања чланка за објављивање: 28.01.2023.

© 2023 The Authors. Published by *Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier*
(www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). This article is an open access article distributed under the
terms and conditions of the Creative Commons Attribution license
(<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2023 Авторы. Опубликовано в «Военно-технический вестник / *Vojnotehnički glasnik / Military
Technical Courier*» (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и
распространяется в соответствии с лицензией «Creative Commons»
(<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2023 Аутори. Објавио Војнотехнички гласник / *Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier*
(www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у
складу са Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



ПРЕГЛЕДНИ РАДОВИ

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

REVIEW PAPERS

Anomalies in quantum field theories

Nicola Fabiano

University of Belgrade, "Vinča" Institute of Nuclear Sciences - National Institute of the Republic of Serbia, Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: nicola.fabiano@gmail.com,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1645-2071>

DOI: 10.5937/vojtehg71-38164; <https://doi.org/10.5937/vojtehg71-38164>

FIELD: mathematics

ARTICLE TYPE: review paper

Abstract:

Introduction: purpose: Noether's theorem connects symmetry of the Lagrangian to conserved quantities. Quantum effects cancel the conserved quantities.

Methods: Triangle diagram, Path integral, Pauli-Villars regularisation.

Results: Quantum effects that spoil conserved quantities of local gauge symmetries endanger renormalisability.

Conclusion: A careful treatment of anomalies is needed in order to obtain correct results. The $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ decay is perhaps the most notable "impossible" effect allowed by anomalies.

Key words: symmetry, quantum anomalies.

Noether's theorem

What happens when a Lagrangian is invariant under certain symmetry? It happens that there is a conserved quantity, as stated by Noether's theorem (Noether, 1918), which is perhaps the most important theorem in theoretical physics. We have a generic Lagrangian with fields ϕ_a that undergo an infinitesimal transformation $\delta\phi_a$ after applying the symmetry. The Lagrangian is invariant by the hypothesis, so we have (summation is understood on repeated indices a)

$$\delta\mathcal{L} = 0 = \frac{\delta\mathcal{L}}{\delta\phi_a} \delta\phi_a + \frac{\delta\mathcal{L}}{\delta(\partial_\mu\phi_a)} \delta(\partial_\mu\phi_a) = \frac{\delta\mathcal{L}}{\delta\phi_a} \delta\phi_a + \frac{\delta\mathcal{L}}{\delta(\partial_\mu\phi_a)} \partial_\mu(\delta\phi_a), \quad (1)$$

where the order swapping of δ and ∂_μ is possible because $\delta\phi_a$ is a functional variation. There are also equations of motion that read

$$\frac{\delta\mathcal{L}}{\delta\phi_a} = \partial_\mu \left[\frac{\delta\mathcal{L}}{\delta(\partial_\mu\phi_a)} \right], \quad (2)$$

and by combining the two, we obtain

$$\partial_\mu \left[\frac{\delta\mathcal{L}}{\delta(\partial_\mu\phi_a)} \delta\phi_a \right] = 0. \quad (3)$$

Defining a current

$$J^\mu \equiv \frac{\delta\mathcal{L}}{\delta(\partial_\mu\phi_a)} \delta\phi_a \quad (4)$$

from eq. (3), we see that is conserved, i.e., $\partial_\mu J^\mu = 0$.

In QED, for example, the wave function ψ is invariant under the phase transformations $\psi \rightarrow e^{i\alpha}\psi$, for which we have the conserved current

$$J^\mu \equiv i\bar{\psi}\gamma^\mu\psi \text{ such that } \partial_\mu J^\mu = 0. \quad (5)$$

There is also the global chiral transformation $\psi \rightarrow e^{i\beta\gamma^5}\psi$ which has a conserved current only in the massless limit,

$$J^{5\mu} \equiv i\bar{\psi}\gamma^5\gamma^\mu\psi \text{ such that } \partial_\mu J^{5\mu} = 2im\bar{\psi}\gamma^5\psi. \quad (6)$$

Quantum symmetries

In the previous section we have discussed the invariance of the Lagrangian under symmetry transformations and its consequences. There was no mention of quantum effects in Noether's theorem, which are not relevant for its proof. In fact, it was tacitly assumed that classical and quantum symmetries are the same thing. This belief was shattered in the late 60-ies when it was discovered that quantum effects could indeed spoil classical symmetries. Such symmetries that are broken by quantum effects are called *anomalies*.

A posteriori, this belief had actually no grounds. While classically there is a transformation $\delta\phi$ that implies $\delta\mathcal{L} = 0$, at the quantum level, by means of a path integral, the things are different. One computes

$$\int \mathcal{D}\phi e^{(i/\hbar)S(\phi)}, \quad (7)$$

and, while under the transformation $\delta\phi$ the action is also invariant, $\delta S = 0$, there remains the Jacobian of the transformation in $\mathcal{D}\phi$ which in general will

not equal unity. Therefore, classical symmetry has in general no reasons to survive quantisation. For a brief review of path integrals, see (Fabiano, 2022a).

Anomalies are bad when they afflict symmetries necessary to renormalise the theory: their presence disallows the possibility of obtaining finite predictions (Schwinger, 1959). This case happens when local gauge symmetry is anomalous. Anomalies of global symmetries, on the other hand, are considered relatively harmless because they contribute finitely to physical processes.

$U(1)$ anomaly

Consider a theory with massless fermions, where

$$\mathcal{L} = i\bar{\psi}\not{\partial}\psi, \tag{8}$$

whose conserved currents we have already encountered in the section entitled Noether's theorem. We already know that $U(1)$ symmetry is conserved and for massless fermions both vector current and axial current are conserved, $\partial^\mu J_\mu = 0$ and $\partial^\mu J_\mu^5 = 0$.

For this theory, we will now calculate the three point function

$$G^{\lambda\mu\nu}(x_1, x_2) = \langle 0 | T J_5^\lambda(0) J^\mu(x_1) J^\nu(x_2) | 0 \rangle. \tag{9}$$

In plain language, the vector current causes a fermion–antifermion pair creation at the point x_1 and another such creation at the point x_2 , then a fermion from one pair and an antifermion from another pair annihilate, while at the point 0 the chiral current annihilates the remaining fermion–antifermion pair.

Two relevant Feynman diagrams for this process are two triangles represented in Figures 1 and 2.

The Fourier transform of the three point function (9) is written as

$$\Delta^{\lambda\mu\nu}(k_1, k_2) = (-1)i^3 \int \frac{d^4p}{(2\pi)^4} \text{Tr} \left(\gamma^\lambda \gamma^5 \frac{1}{\not{p} - \not{q}} \gamma^\nu \frac{1}{\not{p} - \not{k}_1} \gamma^\mu \frac{1}{\not{p}} + \gamma^\lambda \gamma^5 \frac{1}{\not{p} - \not{q}} \gamma^\mu \frac{1}{\not{p} - \not{k}_2} \gamma^\nu \frac{1}{\not{p}} \right), \tag{10}$$

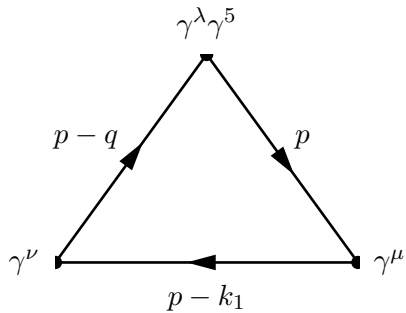


Figure 1 – Triangle diagram, 1
 Рис. 1 – Треугольная диаграмма, 1
 Слика 1 – Дијаграм троугла, 1

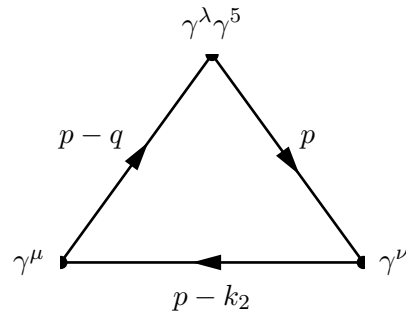


Figure 2 – Triangle diagram, 2
 Рис. 2 – Треугольная диаграмма, 2
 Слика 2 – Дијаграм троугла, 2

the first part belonging to the first diagram, the other part on the last line describing the second diagram, with $q = k_1 + k_2$. The overall minus sign comes from the closed fermion loop. Both diagrams are needed in order to obtain Bose statistics.

An immediate observation is that the integral of eq. (10) is linearly divergent because it contains three fermionic propagators. This linear divergence is at the origin of the breaking of $U(1)$ symmetry, i.e. some current will not be conserved anymore at the quantum level.

Consider an integral of a function over the whole real line

$$\int_{-\infty}^{+\infty} dx f(x), \tag{11}$$

and then shift the variable, $x \rightarrow x + a$. The possible consequences of this action will be evidenced by this integral

$$\int_{-\infty}^{+\infty} dx [f(x + a) - f(x)], \tag{12}$$

this action is usually harmless and eq. (12) would be zero. Expanding this expression with the Taylor series, we obtain

$$\int_{-\infty}^{+\infty} dx \left[a f'(x) + \frac{a^2}{2} f''(x) + \mathcal{O}(a^3) \right] = a[f(+\infty) - f(-\infty)] + \frac{a^2}{2} [f'(+\infty) - f'(-\infty)] + \mathcal{O}(a^3). \tag{13}$$

If the integral converges, the variable shift has no consequences, but if the integral is linearly divergent, the result is given from eq. (13), and equals $a[f(+\infty) - f(-\infty)]$.



This ambiguity can be generalised to an arbitrary (Euclidean) dimension. Define the function

$$\begin{aligned} \Delta(a) &\equiv \int d^D x [f(x+a) - f(x)] = \\ &\int d^D x \left[a^\mu \partial_\mu f(x) + \frac{1}{2} (a^\mu \partial_\mu)^2 f(x) + \mathcal{O}(a^3) \right] = \\ &a^\mu \frac{R_\mu}{R} f(R) S_D(R), \end{aligned} \quad (14)$$

applying the Gauss theorem. All terms except the first vanish when integrating over the surface $R \rightarrow +\infty$. $S_D(R) = 2\pi^{D/2} R^{(D-1)} / \Gamma(D/2)$ is the surface of the D -dimensional sphere. In the four dimensional Minkowskian case, we have

$$\Delta(a) = \lim_{R \rightarrow +\infty} (2\pi^2 i) a^\mu R_\mu R^2 f(R). \quad (15)$$

Triangle diagram

The conservation of two classical currents $\partial_\mu J^\mu = 0$ and $\partial_\mu J^{5\mu} = 0$ translates respectively to the equations

$$k_{1\mu} \Delta^{\lambda\mu\nu} = 0 \quad \text{and} \quad k_{2\nu} \Delta^{\lambda\mu\nu} = 0, \quad (16)$$

for the vector current, and

$$q_\lambda \Delta^{\lambda\mu\nu} = 0 \quad (17)$$

for the pseudovector one. The first of eq. (16) is given by the expression

$$\begin{aligned} k_{1\mu} \Delta^{\lambda\mu\nu}(k_1, k_2) = \\ i \int \frac{d^4 p}{(2\pi)^4} \text{Tr} \left(\gamma^\lambda \gamma^5 \frac{1}{\not{p} - \not{q}} \gamma^\nu \frac{1}{\not{p} - \not{k}_1} \not{k}_1 \frac{1}{\not{p}} + \right. \\ \left. \gamma^\lambda \gamma^5 \frac{1}{\not{p} - \not{q}} \not{k}_2 \frac{1}{\not{p} - \not{k}_2} \gamma^\nu \frac{1}{\not{p}} \right), \end{aligned} \quad (18)$$

by substituting the first occurrence of k_1 as $k_1 = \not{p} - (\not{p} - \not{k}_1)$ and the second occurrence of k_1 as $k_1 = (\not{p} - \not{k}_2) - (\not{p} - \not{q})$, we obtain

$$\begin{aligned} k_{1\mu} \Delta^{\lambda\mu\nu}(k_1, k_2) = \\ i \int \frac{d^4 p}{(2\pi)^4} \text{Tr} \left(\gamma^\lambda \gamma^5 \frac{1}{\not{p} - \not{q}} \gamma^\nu \frac{1}{\not{p} - \not{k}_1} [\not{p} - (\not{p} - \not{k}_1)] \frac{1}{\not{p}} + \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \gamma^\lambda \gamma^5 \frac{1}{\not{p} - \not{q}} [(\not{p} - \not{k}_2) - (\not{p} - \not{q})] \frac{1}{\not{p} - \not{k}_2} \gamma^\nu \frac{1}{\not{p}} = \\ & i \int \frac{d^4 p}{(2\pi)^4} \text{Tr} \left(\gamma^\lambda \gamma^5 \frac{1}{\not{p} - \not{q}} \gamma^\nu \frac{1}{\not{p} - \not{k}_1} - \gamma^\lambda \gamma^5 \frac{1}{\not{p} - \not{k}_2} \gamma^\nu \frac{1}{\not{p}} \right), \quad (19) \end{aligned}$$

and an analogous expression is obtained for $k_{2\nu} \Delta^{\lambda\mu\nu}(k_1, k_2)$ by exchanging $k_1 \leftrightarrow k_2$ and $\mu \leftrightarrow \nu$.

When observing the last line of eq. (19), we see that the second term is obtained by the first term by shifting the integration variable $p \rightarrow p - k_1$, so one would infer that the net result is zero and the vector current is conserved. However, by virtue of eq. (13), this deduction is wrong.

Define the integrand function present in eq. (19)

$$\begin{aligned} f(p) = \text{Tr} \left(\gamma^\lambda \gamma^5 \frac{1}{\not{p} - \not{k}_2} \gamma^\nu \frac{1}{\not{p}} \right) &= \frac{\text{Tr}[\gamma^5 (\not{p} - \not{k}_2) \gamma^\nu \not{p} \gamma^\lambda]}{(p - k_2)^2 p^2} = \\ & \frac{4i\varepsilon^{\tau\nu\sigma\lambda} k_{2\tau} p_\sigma}{(p - k_2)^2 p^2}, \quad (20) \end{aligned}$$

where $\varepsilon^{\tau\nu\sigma\lambda}$ is the totally antisymmetric Levi–Civita tensor, with $\varepsilon^{0123} = +1$, and from eqs. (12) and (15), we obtain

$$\begin{aligned} k_{1\mu} \Delta^{\lambda\mu\nu}(k_1, k_2) &= \frac{i}{(2\pi)^4} \lim_{p \rightarrow +\infty} i(-k_1)^\mu \frac{p_\mu}{p} \frac{4i\varepsilon^{\tau\nu\sigma\lambda} k_{2\tau} p_\sigma}{p^4} 2\pi^2 p^3 = \\ & \frac{i}{8\pi^2} \varepsilon^{\lambda\nu\tau\sigma} k_{1\tau} k_{2\sigma} \neq 0. \quad (21) \end{aligned}$$

Above, we have used the expression $p_\mu p_\sigma / p^2 = g_{\mu\sigma} / 4$: by contracting both sides with the inverse $g^{\mu\sigma}$, we have

$$\frac{p_\mu p_\sigma g^{\mu\sigma}}{p^2} = \frac{p^2}{p^2} = \frac{g_{\mu\sigma} g^{\mu\sigma}}{4} = 1. \quad (22)$$

We will now verify the behaviour of eq. (10) with respect to a different choice of the shift in the integrand. Define the function of an arbitrary vector a

$$\begin{aligned} \Delta^{\lambda\mu\nu}(a, k_1, k_2) &= (-1)i^3 \int \frac{d^4 p}{(2\pi)^4} \text{Tr} \left(\gamma^\lambda \gamma^5 \frac{1}{\not{p} + \not{a} - \not{q}} \gamma^\nu \times \right. \\ & \left. \frac{1}{\not{p} + \not{a} - \not{k}_1} \gamma^\mu \frac{1}{\not{p} + \not{a}} + \gamma^\lambda \gamma^5 \frac{1}{\not{p} + \not{a} - \not{q}} \gamma^\mu \frac{1}{\not{p} + \not{a} - \not{k}_2} \gamma^\nu \frac{1}{\not{p} + \not{a}} \right), \quad (23) \end{aligned}$$

and compute $\Delta^{\lambda\mu\nu}(a, k_1, k_2) - \Delta^{\lambda\mu\nu}(k_1, k_2)$ with the aid of eq. (15) applied to the function

$$f(p) = \text{Tr} \left(\gamma^\lambda \gamma^5 \frac{1}{\not{p} - \not{q}} \gamma^\nu \frac{1}{\not{p} - \not{k}_1} \gamma^\mu \frac{1}{\not{p}} \right) = \frac{\text{Tr}[\gamma^\lambda \gamma^5 (\not{p} - \not{q}) \gamma^\nu (\not{p} - \not{k}_1) \gamma^\mu \not{p}]}{(p^2 - q^2)(p^2 - k_1^2)p^2} . \quad (24)$$

We have the following property:

$$f(p) \lim_{p \rightarrow +\infty} \frac{\text{Tr}(\gamma^\lambda \gamma^5 \not{p} \gamma^\nu \not{p} \gamma^\mu \not{p})}{p^6} = \frac{2p^\mu \text{Tr}(\gamma^\lambda \gamma^5 \not{p} \gamma^\nu \not{p})}{p^6} - \frac{p^2 \text{Tr}(\gamma^\lambda \gamma^5 \not{p} \gamma^\nu \gamma^\mu)}{p^6} = \frac{-4ip^2 p_\sigma \varepsilon^{\sigma\nu\mu\lambda}}{p^6} , \quad (25)$$

so we obtain

$$\Delta^{\lambda\mu\nu}(a, k_1, k_2) - \Delta^{\lambda\mu\nu}(k_1, k_2) = \frac{4i}{8\pi^2} \lim_{p \rightarrow +\infty} a^\omega \frac{p_\omega p_\sigma}{p^2} \varepsilon^{\sigma\nu\mu\lambda} + \{(\mu, k_1) \leftrightarrow (\nu, k_2)\} = \frac{i}{8\pi^2} \varepsilon^{\sigma\nu\mu\lambda} a_\sigma + \{(\mu, k_1) \leftrightarrow (\nu, k_2)\} . \quad (26)$$

We can parametrise the shift vector a by the two independent momenta k_1 and k_2 in the following manner:

$$a = \alpha(k_1 + k_2) + \beta(k_1 - k_2) , \quad (27)$$

and by inserting back this expression into eq. (26), we obtain

$$\Delta^{\lambda\mu\nu}(a, k_1, k_2) = \Delta^{\lambda\mu\nu}(k_1, k_2) + \frac{i\beta}{4\pi^2} \varepsilon^{\sigma\nu\mu\lambda} (k_1 - k_2)_\sigma . \quad (28)$$

We notice that the dependence from α drops out and the result depends only on the difference $k_1 - k_2$.

We will now impose the conservation of the vector current in eq. (16). Not doing so would in fact lead to the non conservation of electric charge Q : fermions would be created out of nowhere. As this violation has never been observed in Nature, this constraint on the J^μ current is of paramount

importance and can not be avoided. Recalling from eq. (21) that

$$k_{1\mu}\Delta^{\lambda\mu\nu}(k_1, k_2) = \frac{i}{8\pi^2}\varepsilon^{\lambda\nu\tau\sigma}k_{1\tau}k_{2\sigma}, \quad (29)$$

we have

$$k_{1\mu}\Delta^{\lambda\mu\nu}(a, k_1, k_2) = \frac{i}{8\pi^2}\varepsilon^{\lambda\nu\tau\sigma}k_{1\tau}k_{2\sigma} + \frac{i\beta}{4\pi^2}\varepsilon^{\sigma\nu\mu\lambda}(k_1 - k_2)_\sigma, \quad (30)$$

and by choosing $\beta = -1/2$, we obtain the vector current conservation.

A possible way of understanding this phenomenon is that the Feynman rules as such are not enough to determine the three point function of eq. (9). Because of its ambiguity, one has also to impose the constraint of the vector current conservation.

Chiral current

So far, we have discussed the conservation of the vector current. Is it possible to impose also the chiral current conservation in the massless limit? We have already encountered all the necessary machinery necessary to compute the expression $\partial_\mu J^{5\mu}$:

$$q_\lambda\Delta^{\lambda\mu\nu}(a, k_1, k_2) = q_\lambda\Delta^{\lambda\mu\nu}(k_1, k_2) + \frac{i}{4\pi^2}\varepsilon^{\mu\nu\lambda\sigma}k_{1\lambda}k_{2\sigma}. \quad (31)$$

We have

$$\begin{aligned} q_{1\lambda}\Delta^{\lambda\mu\nu}(k_1, k_2) &= i \int \frac{d^4p}{(2\pi)^4} \text{Tr} \left(\gamma^5 \frac{1}{\not{p} - \not{q}} \gamma^\nu \frac{1}{\not{p} - \not{k}_1} \gamma^\mu - \right. \\ &\quad \left. \gamma^5 \frac{1}{\not{p} - \not{k}_2} \gamma^\nu \frac{1}{\not{p}} \gamma^\mu \right) + \{(\mu, k_1) \leftrightarrow (\nu, k_2)\} = \\ &\quad \frac{i}{4\pi^2}\varepsilon^{\mu\nu\lambda\sigma}k_{1\lambda}k_{2\sigma}, \end{aligned} \quad (32)$$

in a fashion analogous to eq. (18). Eventually, for the chiral current, we obtain:

$$q_\lambda\Delta^{\lambda\mu\nu}(a, k_1, k_2) = \frac{i}{2\pi^2}\varepsilon^{\mu\nu\lambda\sigma}k_{1\lambda}k_{2\sigma} \neq 0, \quad (33)$$

i.e., the chiral current is not conserved even in the massless limit. This phenomenon is known as the chiral anomaly, the axial anomaly or the Adler–Bell–Jackiw (ABJ) $U(1)$ anomaly (Adler, 1969; Bell & Jackiw, 1969). For the path integral formulation, see (Fujikawa, 1979).

Consequences of the chiral anomaly

We have just seen how the triangle diagrams are dependent upon a variable shift, and that it is impossible to impose both constraints of the conservation of a vector and chiral current at the same time. This leads to the breaking of $U(1)$ symmetry and has many consequences. Some of them will be illustrated briefly.

Add photons - We could add photons to our naive theory of eq. (8), i.e. $\mathcal{L} = i\bar{\psi}\gamma^\mu(\partial_\mu - ieA_\mu)\psi$. It is equivalent to adding two external photon lines attached to the vertices μ and ν of Figs. 1–2. Of course, classically, the J_5 current is still conserved, as we did not add the mass term. At the quantum level, eq. (33) becomes

$$\partial^\mu J_\mu^5 = \frac{e^2}{(4\pi)^4} \varepsilon^{\mu\nu\lambda\sigma} F_{\mu\nu} F_{\lambda\sigma} , \quad (34)$$

which is an operator that produces two photons. This term is very often written as

$$\partial^\mu J_\mu^5 = \frac{e^2}{(4\pi)^4} *F^{\mu\nu} F_{\mu\nu} , \quad (35)$$

where $*F^{\mu\nu} \equiv \varepsilon^{\mu\nu\lambda\sigma} F_{\lambda\sigma}$ is the *dual electromagnetic tensor*.

$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ **decay** - With the argument shown in the Triangle diagram section, attaching an external line of a pseudoscalar π^0 at the two vertices of Figs. 1–2 and two photons as described above, one can calculate the decay rate of $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$. Historically, people used the erroneous quantum conservation of the chiral current to prove that this decay cannot occur at all! It is interesting to note a posteriori that $\Gamma(\pi^0 \rightarrow 2\gamma) \approx 7.82$ eV, and that its branching ratio is $B = \Gamma(\pi^0 \rightarrow 2\gamma)/\Gamma \approx 99\%$, for a “non existing” decay channel.

Add a mass term - Our Lagrangian becomes $\mathcal{L} = i\bar{\psi}[\gamma^\mu(\partial_\mu - ieA_\mu) - m]\psi$, and explicitly spoils the conservation of J_5^5 as illustrated in eq. (6). So we have

$$\partial^\mu J_\mu^5 = 2im\bar{\psi}\gamma^5\psi + \frac{e^2}{(4\pi)^4} \varepsilon^{\mu\nu\lambda\sigma} F_{\mu\nu} F_{\lambda\sigma} , \quad (36)$$

i.e. the classical explicit mass term that violates the chiral current conservation and the quantum term with the analogous effect add up.

Regularisation - Since the triangular diagrams in Figs. 1–2 are linearly divergent, one could wonder whether some sort of regularisation would be able to cancel the anomaly. Dimensional regularisation (Bollini & Giambiagi, 1972; 't Hooft & Veltman, 1972) cannot be used this time, because the γ^5 matrix in D dimensions defined as $\gamma^5 = i\gamma^0\gamma^1 \dots \gamma^{D-1}$, in the odd dimensional spacetime still obeys the Clifford algebra $\{\gamma^\mu, \gamma^\nu\} = 2g^{\mu\nu}$ and $\{\gamma^\mu, \gamma^5\} = 0$, but is inconsistent with the trace properties, i.e. does not obey the relation

$$\text{Tr}(\gamma^\mu\gamma^\nu\gamma^\rho\gamma^\sigma\gamma^5) \neq 0. \quad (37)$$

One could use the Pauli–Villars regularisation (Pauli & Villars, 1949) discussed in (Fabiano, 2022b). Keeping to 0 the electron mass and introducing a regulator mass M , the behaviour of the integrand in the three point function of eq. (10) is unchanged for $p \ll M$ and is superficially logarithmically divergent, so one is allowed to shift the integrand variable. Yet the chiral current is again not conserved after the introduction of M , as precisely this mass term violates the chiral symmetry. This breaking still persists even after the regulator $M \rightarrow +\infty$.

Yang–Mills theory - Consider the massless version of the Lagrangian (Yang & Mills, 1954) of eq. (20) of (Fabiano, 2022c), i.e. $\mathcal{L} = i\bar{\psi}\gamma^\mu(\partial_\mu - igA_\mu^a T^a)\psi$. The difference with the Abelian case is that we insert a factor T^a at the vertex labelled by μ and a factor T^b at the vertex labelled with ν . For a non Abelian gauge theory, one obtains

$$\partial^\mu J_\mu^5 = \frac{g^2}{(4\pi)^4} \varepsilon^{\mu\nu\lambda\sigma} G_{\mu\nu} G_{\lambda\sigma} \quad (38)$$

where $G_{\mu\nu} = G_{\mu\nu}^a T^a$. Because the field strength defined in eq. (21) of (Fabiano, 2022c) contains also the terms cubic and quartic in A , beyond the triangle anomaly, we also have square and pentagon anomalies.

References

Adler, S.L. 1969. Axial-Vector Vertex in Spinor Electrodynamics. *Physical Review*, 177(5), pp.2426-2438. Available at: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.177.2426>

Bell, J.S. & Jackiw, R. 1969. A PCAC puzzle: $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ in the σ -model". // *Nuovo Cimento A (1965-1970)*, 60(1), pp.47-61. Available at: <https://doi.org/10.1007%2FBF02823296>

Bollini, C.C. & Giombiagi, J.J. 1972. Dimensional renormalization : The number of dimensions as a regularizing parameter. // *Nuovo Cimento B (1971-1996)*, 12(1), pp.20-26. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF02895558>

Fabiano, N. 2022a. Path integral in quantum field theories. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 70(4), pp.993-1016. Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg70-35882>

Fabiano, N. 2022b. Regularization in quantum field theories. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 70(3), pp.720-733. Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg70-34284>

Fabiano, N. 2022c. Beta functions in the quantum field theory. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 70(1), pp.157-168. Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg70-32131>

Fujikawa K. 1979. Path Integral Measure For Gauge Invariant Fermion Theories. *Physical Review Letters*, 42(18), pp.1195-1197. Available at: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.42.1195>

't Hooft, G. & Veltman, M. 1972. Regularization and renormalization of gauge fields. *Nuclear Physics B*, 44(1), pp.189-213. Available at: [https://doi.org/10.1016/0550-3213\(72\)90279-9](https://doi.org/10.1016/0550-3213(72)90279-9)

Noether, E. 1918. Invariante Variationsprobleme. *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, 1918, pp.235-257 [online]. Available at: <https://eudml.org/doc/59024> [Accessed: 25 April 2022].

Pauli, W. & Villars F. 1949. On the Invariant Regularization in Relativistic Quantum Theory. *Reviews of Modern Physics*, 21(3), pp.434-444. Available at: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.21.434>

Schwinger, J. 1959. Field Theory Commutators. *Physical Review Letters*, 3(6), p.296. Available at: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.3.296>

Yang, C.N. & Mills, R. 1954. Conservation of Isotopic Spin and Isotopic Gauge Invariance. *Physical Review*, 96(1), pp.191-195. Available at: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.96.191>

Аномалии в квантовых теориях поля
Никола Фабиано

Белградский университет, Институт ядерных исследований
«Винча» - Национальный институт Республики Сербия,
г. Белград, Республика Сербия

РУБРИКА ГРНТИ: 29.05.03 Математические методы
теоретической физики,
29.05.23 Релятивистская квантовая теория.
Квантовая теория поля
29.05.33 Электромагнитное взаимодействие

ВИД СТАТЬИ: обзорная статья

Резюме:

Введение/цель: Теорема Нётер (Nöther) устанавливает соответствие между обобщёнными симметриями Лагранжа и сохраняемыми величинами. Квантовые эффекты отменяют законсервированные величины.

Методы: Треугольная диаграмма, интеграл по траекториям, регуляризация Паули-Вилларса.

Результаты: Квантовые эффекты, влияющие на законсервированные величины локальной калибровочной симметрии ставят под угрозу перенормируемость.

Выводы: Для получения точных результатов необходимо провести тщательные исследования. Распад $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ вероятно является самым уникальным "невозможным" эффектом, допускаемым аномалиями правильные результаты.

Ключевые слова: симметрия, квантовые аномалии.

Аномалије у квантним теоријама поља

Никола Фабиано

Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“ -
Национални институт Републике Србије,
Београд, Република Србија

ОБЛАСТ: математика

КАТЕГОРИЈА (ТИП) ЧЛАНКА: прегледни рад

Сажетак:

Увод/циљ: Нетерина (Nöther) теорема повезује симетрије Лагранжијана са конзервираним величинама. Квантни ефекти поништавају конзервиране величине.

Метод: Дијаграм троугла, интеграл пута, Паули-Виларсова регуларизација.

Резултати: Квантни ефекти који кваре конзервиране величине симетрија локалне калибрације угрожавају ренормализабилност.

Закључак: Аномалије је потребно пажљиво третирати како би се добили тачни резултати. Распад $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ је можда најнаглашенији „немогући“ ефекат који дозвољавају аномалије.

Кључне речи: симетрија, квантне аномалије.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 30.05.2022.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 28.01.2023.

Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 29.01.2023.

© 2023 The Authors. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (<http://vtg.mod.gov.rs>, <http://втр.мо.унр.срб>). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2023 Авторы. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (<http://vtg.mod.gov.rs>, <http://втр.мо.унр.срб>). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2023 Аутори. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (<http://vtg.mod.gov.rs>, <http://втр.мо.унр.срб>). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у складу са Creative Commons лиценцом (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



Classification methods for handwritten digit recognition: A survey

Ira M. Tuba^a, Una M. Tuba^b, Mladen Đ. Veinović^b

Singidunum University, Faculty of Informatics and Computing,
Belgrade, Republic of Serbia

^ae-mail: ituba@ieee.org,

ORCID iD:  <https://orcid.org/0000-0002-2863-7084>

^be-mail: una.svetlana.tuba.17@singimail.rs,

ORCID iD:  <https://orcid.org/0000-0002-4224-9248>

^ce-mail: mveinovic@singidunum.ac.rs, **corresponding author**,

ORCID iD:  <https://orcid.org/0000-0001-6136-1895>

DOI: 10.5937/vojtehg71-36914; <https://doi.org/10.5937/vojtehg71-36914>

FIELD: mathematics, computer sciences

ARTICLE TYPE: review paper

Abstract:

Introduction/purpose: This paper provides a survey of handwritten digit recognition methods tested on the MNIST dataset.

Methods: The paper analyzes, synthesizes and compares the development of different classifiers applied to the handwritten digit recognition problem, from linear classifiers to convolutional neural networks.

Results: Handwritten digit recognition classification accuracy tested on the MNIST dataset while using training and testing sets is now higher than 99.5% and the most successful method is a convolutional neural network.

Conclusions: Handwritten digit recognition is a problem with numerous real-life applications. Accurate recognition of various handwriting styles, specifically digits is a task studied for decades and this paper summarizes the achieved results. The best results have been achieved with convolutional neural networks while the worst methods are linear classifiers. The convolutional neural networks give better results if the dataset is expended with data augmentation.

Key words: handwritten digit recognition, image classification, support vector machine, deep neural networks, convolutional neural networks, hyperparameter optimization, swarm intelligence, MNIST.

Introduction

Nowadays, computers can be considered an essential part of our lives; they changed the way of handling problems in everyday life as well as in sci-



ence. They are capable of processing information much faster compared to humans. However, the ways of processing data in the human brain and in the computer are completely different. While computers can process billions of mathematical operations in a second and are incomparably better than humans in that area, there are tasks where computers are significantly inferior. Recognizing different objects such as identification of people, for example, is a task that humans do in a fraction of a second. Regardless of the variety of lighting conditions, angles of observation, hairstyles, etc. identifying people is not challenging for humans and it does not require any special education, capability, or skills for that. On the other hand, explaining to the computer how to identify people is a really difficult task.

The complexity of the object recognition problem can be illustrated by the case when only a limited number of objects, e.g. digits and letters, should be recognized by a computer. This problem has practical applications such as license plate recognition. One of the most intuitive approaches for this recognition would be template matching. Template matching is a technique that requires a database of images of objects, in this case, digits and letters. Recognition is done by comparing an image of an unknown object with the images from the database and looking for the closest match. It is a simple task, a simple image comparison. However, the problem with this simple solution is that when it comes to practical application, images of digits and letters could be taken under different angles, light can be different, license plates can be covered by dirt, etc.; hence a database should contain a huge number of such images and matching becomes very difficult and time consuming. Due to the mentioned reasons, it gives very poor results in practice.

To get better results, it is necessary to present data differently. A raw image is not very informative to a computer, and it would be more efficient if numerical data that represent certain characteristics or features of those images were used. For example, a histogram of projections is one simple feature that could be used to recognize regularly shaped characters (letters and digits) (Fig. 1 presented in (Nosseir & Roshdy, 2018)). The number of required computations is significant and humans certainly would not use that method, but that suits the computer and enables it to recognize characters much more precisely. Other features such as projections under different angles, contours, edges, etc. can be added to increase recognition accuracy. Computer recognition of regularly shaped characters is a

challenging task but appropriate methods were proposed a long time ago and nowadays there are numerous practical applications where they are used (e.g. license plate recognition at toll gates, traffic control, etc.).

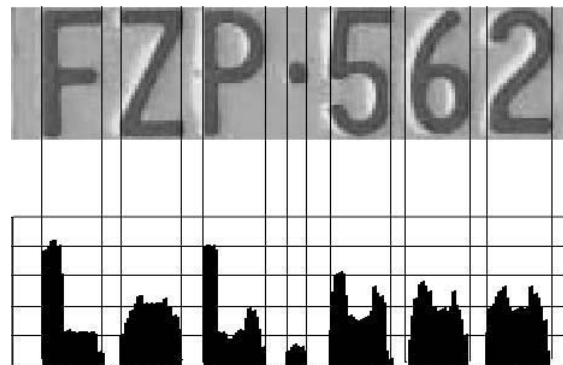


Figure 1 – Histogram of the projections on the x - and y -axes
(Nosseir & Roshdy, 2018)

Рис. 1 – Гистограмма проекций по осям x и y (Nosseir & Roshdy, 2018)

Слика 1 – Хистограм пројекција на x - и y - осу (Nosseir & Roshdy, 2018)

The next level of difficulty would be the recognition of handwritten characters. Even though this sounds like a similar problem to the previous one, it is significantly more complex. Reading handwriting is often challenging even for a human due to a large number of different handwriting styles that are sometimes rather illegible. Since this is a very complicated problem, the recognition of only handwritten digits, without letters, was studied as a separate problem. The need for applications that recognize handwritten digits appears for automatic sorting of mail with zip codes or for sorting bank checks. Fig. 2 presents a variety of writing styles where it can be seen that some handwritten digits are difficult to identify.

Handwritten digit recognition is an old practical problem that has been researched for decades. Initial results were not acceptable for practical use while nowadays even real time methods for handwritten character recognition are widely available and successfully used for numerous purposes.

This paper reviews the methods for handwritten digit recognition. First, the problem formulation and the benchmark dataset for handwritten digit recognition are presented. Next, the classification methods and the proposed features from literature are described. After that, the classifiers and the features mentioned in this paper along with the obtained classification

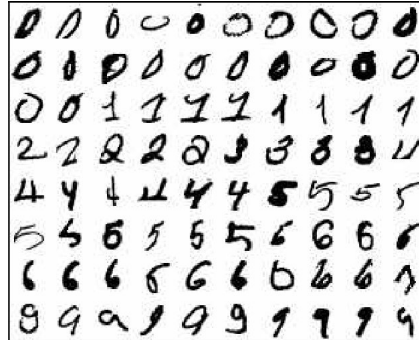


Figure 2 – Examples of digits hard to recognize
 Рис. 2 – Примеры труднораспознаваемых цифр
 Слика 2 – Примери цифара тешких за препознавање

error rates are described and summarized in a table. Finally, the conclusions about the quality of different classifiers and features are presented.

Handwritten digit recognition - a classification problem

Handwritten digit recognition is a classification problem which is a supervised machine learning task. Machine learning is a subset of artificial intelligence algorithms used for instructing computers how to learn from given data instead of relying on explicit specification of steps. The main tasks of machine learning are unsupervised, supervised and reinforcement learning. In unsupervised learning, the computer uses the given data and searches for a pattern in them. The result should be the data grouped based on their similarities. On the other hand, in supervised learning, the groups or classes are known, given by the user, and the task is to create a model that will be able to label each instance with the correct class. In order to do that, a training set, and set of instances with their corresponding labels are needed so the algorithm can learn the pattern. Reinforcement learning methods are based on rewards for desirable actions and penalties for undesirable ones. It teaches an intelligent agent which action to take in order to maximize the reward.

The classification problem has been studied widely for several decades. This resulted in numerous different classification algorithms where each of them has advantages over others for certain types of problems. The simplest classifiers include linear classifiers where the decision is made

based on the linear combination of inputs. Linear classifiers are good for problems where instances are linearly separable which is rarely a case for real life problems. Non-linear classifiers are more applicable and nowadays there are many of them. Some of widely used non-linear classifiers are k-nearest neighbors, support vector machines, artificial neural networks, convolutional neural networks, etc.

Handwritten digit recognition has been widely studied for decades and with the development of classification methods, the accuracy of handwritten digit recognition has increased. For digital image classification problems such as handwritten digit recognition, usually, instead of a raw image as an input, various image features were extracted and used.

MNIST dataset

Considering the long history of studying this problem, handwritten digit recognition has become a benchmark problem for testing new machine learning classifiers. In order to enable a comparison between different methods for handwritten digit recognition, the MNIST dataset was proposed. The MNIST (Modified National Institute of Standards and Technology) is a standard benchmark dataset of handwritten digit images made in 1998 (Lecun et al., 1998). It was made by regrouping, selecting, and resizing images from two different special NIST datasets. Digits in the first special NIST dataset were written by high school students and the second dataset contains digits written by the employees of the United States Census Bureau. Usually, for the training set, only the digits written by the employees were used and the model was tested on the digits written by high school students. The images in the MNIST dataset were mixed from both sets and the test set does not contain the digits written by the same person as in the training set. The originally binary images from the NIST were normalized to size 20x20 while preserving the aspect ratio. Due to anti-aliasing during the normalization process, the resulting images are gray scale images instead of binary ones. The final images were at the end boxed so the size is 28x28 pixels.

The MNIST database consists of 70,000 images in total, divided into training and test sets. The training set consists of 60,000 images while the testing set has the remaining 10,000 images of handwritten digits. The distribution of the number of images of each digit in the training and test sets is presented in Fig. 3.

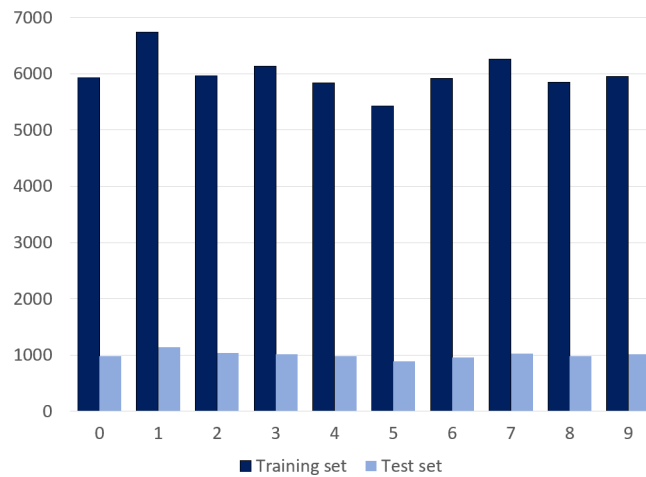


Figure 3 – Distribution of the digits in the MNIST dataset
 Рис. 3 – Распределение цифр в наборе данных MNIST
 Слика 3 – Дистрибуција цифара у МНИСТ скупу података

The examples of the images in the MNIST dataset are presented in Fig. 4.



Figure 4 – Examples of the images in the MNIST dataset
 Рис. 4 – Примеры изображений в наборе данных MNIST
 Слика 4 – Примери слика из МНИСТ скупа података

Classification tested on the MNIST dataset

The results reported on the widely known and used *Kaggle* platform for data science and machine learning can give an idea of what has been researched so far about the handwritten digit recognition problem. For official purposes, only the results published in the recognized scientific journals

should be considered, but these results could be a good starting guidance for research.

Based on the data from 2018, the classification accuracy on the MNIST dataset was up to 99.8% while a higher accuracy is possible only if all data are used for creating a model and the reported results show the accuracy of the training process. The results are presented in Fig. 5 (Deotte, 2018).

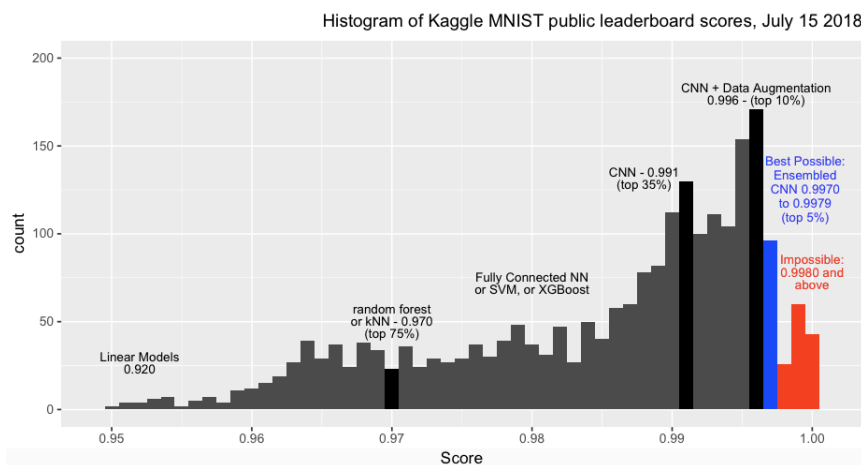


Figure 5 – Classification accuracy on the MNIST dataset (Deotte, 2018)

Рис. 5 – Точность классификации в наборе данных MNIST (Deotte, 2018)

Слика 5 – Тачност класификације на МНИСТ бази података (Deotte, 2018)

The graph presented in Fig. 5 shows the classification accuracy on the x-axis and the number of the reported results on the y-axis. One of the conclusions from the graph in Fig. 5 is that linear classifiers produced very poor accuracy and consequently were used less. Non-linear classifiers such as random forest and k-nearest neighbors are the second worse methods. The average classification accuracy was 97%. Artificial neural networks, support vector machines and XGBoost are slightly better for the handwritten digit recognition problem tested on the MNIST dataset. The average classification accuracy for these methods was 98%. A significant rise in the number of reported results is recorded for convolutional neural networks. The accuracy achieved by the CNN is higher than 99% and rises if the dataset is extended by data augmentation. In that case, the classification accuracy reaches up to 99.8%. The results that report higher classification accuracy were trained on the whole dataset which means that a training accuracy was reported, hence the comparison is not fair.

Linear classifiers

Linear classifiers are machine learning algorithms that classify instances based on the linear combination of their features. Some examples of the linear classifiers are linear discriminant analysis, regularized discriminant analysis, naive Bayes, logistic regression, support vector machine (SVM) without kernel trick, artificial neural network (ANN) without hidden layers, etc. The advantage of these classifiers is significantly less time needed for training and testing compared to non-linear models. On the other hand, the classification accuracy for complex problems is usually smaller. For certain types of classification problems with many features and data that are linearly separable, such as document classification, linear classifiers showed great results (Huang & Lin, 2016; Yuan et al., 2012).

In general, linear classifiers are not suitable for handwritten digit recognition. The results obtained by them are significantly lower compared to non-linear methods which is the reason why there are not a lot of recent results reported. In (Lecun et al., 1998), the proposed MNIST benchmark dataset was trained by various machine learning methods. The error rate of the linear classifier was 12.00%. A set of linear classifiers that classify digits pairwise, nowadays known as the *one against one* method of multiclassification with binary classifiers, led to the improvement of the classification of handwritten digits so the error rate was 7.60%.

The results of linear classifiers were improved in (Ebrahimzadeh & Jampour, 2014) where a linear SVM was proposed. A histogram of oriented gradients was used as the feature vector. The error rate obtained by the proposed feature set and a linear SVM was 2.75% which according to the extensive search of the literature is the lowest error rate obtained with the linear classifier.

Non-linear classifiers

The k-nearest neighbors (kNN) is a machine learning algorithm that can be used for classification. The kNN does not require any training and classification is done by a simple comparison with the available training data. The class of unknown instances is determined by the k nearest known instances, i.e. neighbors, where k is a positive, usually odd, integer. The class of the unknown instance is the same as the class of the majority of its neighbors. When using the kNN for classification, it is important to choose

the right distance metric and value for k . Smaller values for k reduce the reliability of the classification results while larger values for the parameter k can improve the classification accuracy but improvements are made up to a certain point and if the set value is too large, the error rate would start increasing again.

The major advantage of the kNN is its simplicity and the time saved for training. This can also be considered a disadvantage in some cases. Other classifiers would be trained just once and the generated model is later used for determining a class of the new instance. After a classification model is found, the classification of unknown instances is rather fast - it is only necessary to calculate the value of a more or less complex mathematical function. With the kNN, each new instance has to be compared with all instances in the training set which, depending on the dataset size, makes it not usable for real-time classification. In general, a larger training set is desirable for increasing the accuracy of the model and a better identification of outliers. Another component that affects the classification time is the number of features. However, classification by the kNN enables some kind of reinforcement learning since the training test grows with each new instance that is tested.

The kNN has been used for handwritten digit recognition with different feature sets. In (Grover & Toghi, 2020), padding of size 2 was added to the original images in the MNIST dataset so the images were of size 30x30. By using the sliding window method, eight new images were generated from each image in the training set. Instead of comparing a new instance with just original images from the training set, it was also compared with the newly generated images. This was done to reduce mistakes in classification due to small spatial translation in images. The Euclidean distance was used as a distance metric. The error rate of classification with the proposed method was 2.27%.

The kNN classification based on structural and statistical features of handwritten digit images was proposed in (Babu et al., 2014). The features included in the (Babu et al., 2014) are the number of holes in a digit image, area, height, width and width to height ratio of the digit in the images, horizontal and vertical crossing, branch, and cross points. The preprocessing step included binarization and noise removal. Based on 18 extracted features and the Euclidean distance and 5,000 test images, the error rate



obtained by the kNN classifier was 1.58%. The parameter k of the kNN was set to be 1.

Another approach that proposes kNN as a classifier was presented in (Ilmi et al., 2016). The feature set was based on well-known texture features, i.e. the local binary pattern (LBP). The LBP is chosen since it is invariant to monotonous variance on grayscale images. Additionally, a rotation invariant variant of the LPB was used. The proposed method was tested with the kNN where the k was 10. The minimal error rate was when all pixels of the digit image were used and it was 10.19%.

The naive Bayesian classifier has been used for pattern recognition and other classification problems for decades (Bhagya Shree & Sheshadri, 2018; Lyu et al., 2018; Zhai et al., 2015). It represents a machine learning method that assumes conditional independence between features. This assumption can decrease the probability of overfitting the model, but the issue that occurs for higher dimensional problems, i.e. classification of instances with numerous features, is numerical underflows. In (Wang & Zhang, 2020), usage of geometric means on likelihoods was proposed for solving this problem. The features of the instances given to the naive Bayesian classifier were the binarized pixel values of the images from the MNIST dataset. The authors in (Wang & Zhang, 2020) acknowledge the problem that the assumption needed for this classifier does not hold, but in order to test the proposed method of solving the numerical underflows problem, they used the MNIST dataset. The error rate was 18.60% which is very low for this dataset, but the classifier was applied on raw data instead of on the features. Better results were achieved with the naive Bayesian classifier when different features were used for training in (Armstrong, 2019). The feature set included the ark length which is the longest continuous set of pixels of the digit, the enclosed area or the number of pixels inside a closed contour, the number of contours, the histogram of oriented gradients, and the image moments. With this set of features, the naive Bayesian classifier achieved the classification error of 10.03%. In general, there are not a lot of papers that use this classifier since it cannot achieve results comparable to other machine learning algorithms.

Support vector machine

The support vector machine (SVM) is a very powerful classifier that has been used in various applications for decades. The SVM has been applied

to classification problems in numerous areas such as medicine (Kang et al., 2019), (Wang et al., 2018), economy (Sivaram et al., 2020), signal processing (Esmaili et al., 2016), agriculture (Sethy et al., 2020), etc. Originally, the SVM was just a linear binary classifier where instances were presented as points in the space and based on them, the optimal hyperplane that separates points from different classes was found. The original idea of the SVM could not be used for solving most of real life problems since data had to be linearly separable. In order to make the SVM usable, it was adjusted to allow minor mistakes in the classification of the instances in the training set. Additionally, a kernel trick was introduced which made classification of non-linear data more efficient. This version of the SVM, with the slack variable for allowing misclassification and the kernel trick, was introduced in 1995 by Vapnik (Cortes & Vapnik, 1995) and it is still used.

The non-linear support vector machine was applied to the problem of handwritten digit recognition and achieved among the best results until the convolutional neural networks. One of the main issues when using the SVM is to find a good set of features that describes images. It is necessary to capture the similarity of images of the same digit and to distinguish different digits as easily as possible. Another problem when using the SVM is finding the optimal parameters for a kernel function.

Numerous different features were proposed and combined for digits in the MNSIT dataset. In (Patel & Kalyani, 2016), an inverse fringe distance map (IFDM) was proposed and the results were compared with the simple fringe distance map (FDM). The fringe distance map represents the distance of each pixel in the image from the closest black pixel. Before calculating the map, it is necessary to transform an image into a binary image, where the pixels of the digit are black and the background consists of white pixels. Finding the IFDM is the opposite - calculating the distance of each pixel from the nearest white pixel. Since images are 28x28, in total, the dimension of the feature vector is 784. The classification error was 2.86% when using the FDM, 2.28% for the IFDM. By combining the FDM and the IFDM into one feature vector, the error rate was 2.45%.

The support vector machine optimized by the swarm intelligence algorithm was proposed for the classification of the MNIST dataset where each digit was presented with the histograms of projections to four different axes: $x = 0$, $y = 0$, $y = x$ and $y = -x$ in (Tuba et al., 2016). The dimension of the feature vector was 166. The error rate was 4.40%.

In ([Gattal et al., 2014](#)), a support vector machine with the radial basis function kernel was used for handwritten digit recognition based on global, local, structural and statistical features. The authors proposed image representation by global features: density, the center of gravity, the second-order geometrical moments, and the number of transitions, Hu's invariant moments, Zernike moments, skew, horizontal and vertical projections histograms, profile features: contour and skeleton of the image and coefficients of Ridgelet transform. In total, there were 101 features. When only one set of features was used, the highest classification accuracy was obtained when only global features were used. In that case, the error rate was 6.19%. By combining all features, the error rate dropped to 3.38%.

Other widely used features are extracted from the frequency domain. For transforming the image from the spatial to the frequency domain, a discrete cosine transform (DCT) or a discrete wavelet transform (DWT) can be used. The discrete wavelet transform generates four sub-images that represent high and low frequencies along with different directions. In ([Aider et al., 2018](#)), the support vector machine was trained with a combination of different sub-images generated by the wavelet transform as features. Based on the reported results, usage of just high frequencies leads to the lowest classification accuracy with an error rate of 29.23%. On the other hand, with only low frequency components for features, the error rate was minimal, 1.24%. It was an expected result since low frequencies are less sensitive to different writing styles.

Features extracted from the frequency domain were used for training the support vector machine in ([El qacimy et al., 2014](#)). The DCT generates a matrix of frequency coefficients of the same size as the original image in the spatial domain. In ([El qacimy et al., 2014](#)), the importance of the number of the coefficients used for handwritten digit recognition was tested as well as the order in which they are put into the input feature vector. Handwritten digits are of size 28x28, so in total, there are 784 coefficients. The presented results show that if the 100 coefficients from the upper left corner (low frequencies) were put in the feature vector, read in the zig-zag order, the error rate was 1.29% while the 256 low-frequency coefficients read sequentially gave the error rate of 1.34%. The lowest error rate was obtained when the DCT was applied to non-overlapping blocks of size 7x7 and 10 coefficients from each of these 16 non-overlapping blocks (the input image was 28x28 pixels, 16 blocks of 7x7 in total) were put into the feature

vector in the zig-zag order. The error rate, in that case, was 1.24%. The classification was done by the support vector machine.

The authors in (Das et al., 2012) proposed the support vector machine classification with a combination of 84 quad-tree based hierarchically derived longest-run (QTLR) features and 200 modular principal component analysis features. The QTLR features are topological features and are often used for optical character recognition. The problem with the QTLR features is that they are not good for capturing global statistical information which is why the authors proposed a combination with the MPCA method. The MPCA is a statistical method that has been commonly used for dimension reduction by finding the best variance of data. The proposed method tested on the MNIST dataset obtained an error rate of 1.60%.

Artificial neural networks

Artificial neural networks (ANN) along with the SVM with the appropriate feature set have been giving the lowest error rate for the handwritten digit recognition problem. An ANN consists of the input and output layers, with one or more hidden layers between them. Each layer has a number of nodes as parameters. The number of nodes in the input layer is equal to the number of features that describe the images in the training set while the output layer has one node for each class. The nodes in the hidden layer are chosen by the user and the value of each node is obtained as the weighted sum of the node values from the previous layer. The simple ANN is presented in Fig. 6.

In (Ciresan et al., 2010), five different ANN architectures were tested for handwritten digit recognition. The MNIST dataset was used for testing, but the training set was expanded by deformed images. Digit images were transformed using affine and elastic transformations. The proposed networks had from 2 to 5 hidden layers and the number of neurons in each layer was between 500 and 2500. The last tested network had 9 hidden layers with 1000 nodes in each of them. The highest classification accuracy was achieved with the network with 5 hidden layers and the error rate was 0.32%.

The committee of 25 neural networks for handwritten digit recognition was presented in (Meier et al., 2011). Each network had one hidden layer with 800 nodes. The proposed method was tested on the original MNIST

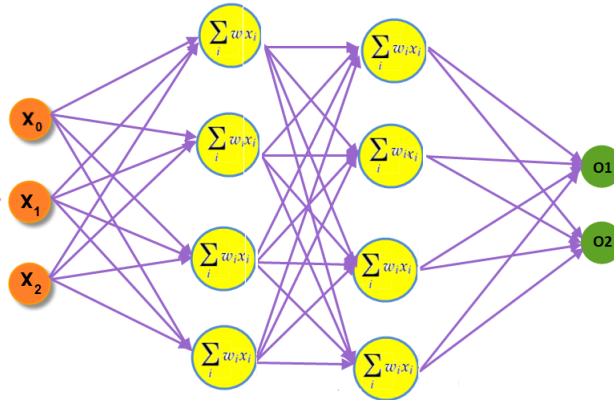


Figure 6 – An example of the ANN architecture

Рис. 5 – Пример архитектуры ANN

Слика 5 – Пример архитектура вештачке неуралне мреже

dataset as well as on preprocessed and deformatted images. The average error rate was 0.38%.

For digital image classification, the best type of neural networks to use are convolutional neural networks.

Convolutional neural networks

Convolutional neural networks (CNN) are a specific type of neural networks that are especially useful for classification problems where the correlation between inputs is strong and should be considered when processing them. Examples of such problems are voice and image classifications. The CNN were introduced decades ago, but the lack of computational power and large datasets for training held further research until several years ago.

The accuracy of the CNN highly depends on their architecture and hyperparameters. Finding the optimal configuration for the CNN represents a hard optimization problem (Tuba et al., 2021). It is equivalent to the problem of the traveling salesman, and there is no deterministic algorithm that can produce the result in a reasonable amount of time. Solving such problems are of interest for decades and various effective techniques have been proposed so far. One group of algorithms named swarm intelligence algorithms was among the most efficient stochastic methods for tackling hard optimization problems. In recent years, the classification error produced

by the CNN is reduced by optimizing the network by swarm intelligence algorithms.

In (Tuba & Tuba, 2021), a simple optimization of the CNN for the MNIST dataset was proposed. The firefly algorithm was proposed for finding hyperparameters such as kernel size, padding and the number of feature maps while other hyperparameters were fixed. The architecture was based on LeNet-5. The optimized CNN has an error rate 0.84% while the original LeNet-5 has 1.06%.

Adaptation of the particle swarm optimization (PSO) for the CNN optimization was proposed in (Li et al., 2019). The quantum behaved particle swarm optimization with binary encoding (BQPSO) was used to find the optimal values for the kernel size, the number of feature maps, stride as well as padding of the convolutional layers, while the considered hyperparameters of the pooling layer are padding, kernel size, and type of pooling layers. Finally, fully connected layers were optimized by finding the values for the number of neurons. The architecture of the network was also variable of the BQPSO, i.e. the number and order of different layers. Besides the original MNIST dataset, in (Li et al., 2019) the complex MNIST dataset was used. That dataset contains rotated digits and background images. The error rate was 0.99%.

The hyperparameters of the CNN were tuned by the artificial bee colony optimization (ABC) in (Zhu et al., 2019). The ABC algorithm was used to set values for 13 CNN hyperparameters. Some of the hyperparameters that were considered are the number, type and order of layers, kernel sizes, learning rate, batch size and dropout probability. The classification error of the proposed CNN tested on the MNIST dataset was 0.74%.

In (Bacanin et al., 2020), the hybridized approach was proposed for finding the optimal configuration for the CNN. The monarch butterfly optimization algorithm (MBO) was improved by adding operators from the artificial bee colony algorithm and the hybridized method (MBO-ABC) was used for finding the optimal CNN. In total, 5 hyperparameters of the convolutional layer, 6 hyperparameters of the pooling layer and 3 general hyperparameters were tuned. The original MBO generated a CNN with the error rate of 0.36% while the hybridized approach, the MBO-ABC, 0.34%.

Summary

Besides considering the classification accuracy or the error rate as a metric for comparing different classifiers, it is important to mention training and classification time. In general, the training time with the same features depends on the classifier and chosen features. More features will most likely improve the classification accuracy but it will also extend training and classification time since for each input instance it is necessary to find those features. In general, the kNN does not have the training time, but the classification time is long and depends on the number of instances in the training set. All other classifiers have the training time where linear classifiers, the naive Bayesian and the SVM with the linear kernel are similar, while for the ANN and the CNN training time depends on the network architecture. However, the ANN and the CNN usually do not have a feature extraction step which results in reduced classification time once the network is trained. All methods presented in this survey are used for offline handwritten digit recognition and training time is less important than classification accuracy. With today's technology, the calculation of all mentioned features is very fast and usually not considered an important measure of the handwritten digit recognition methods.

Table 1 summarize the results presented in this survey.

Conclusion

Handwritten digit recognition is a problem of a great practical importance. In the last several decades, multiple different classification methods were proposed for this problem and for the purpose of testing the benchmark dataset was created, the MNIST dataset. Nowadays, the classification error on the MNIST dataset is less than 0.5% when using convolutional neural networks, while other classifiers can also achieve classification accuracy above 99%. Since it is a well studied problem, the MNIST dataset is now not just a dataset for the handwritten digit recognition problem, but it is also used as a standard benchmark dataset for testing new classifiers. Based on the detailed literature review, it can be concluded that the CNN are the state-of-the-art method for image classification, while deep artificial neural networks and the optimized SVM can give comparable results. Linear classifiers are not suitable for this problem.

Table 1 – Classification errors for the MNIST dataset with different classifiers
 Таблица 1 – Ошибки классификации в наборе данных MNIST с разными классификаторами
 Табела 1 – Грешка класификације МНИСТ базе са различитим класификаторима

Method	Description	Error rate (%)
Linear classifier (Lecun et al., 1998)	NA	12.00
Set of linear classifiers (Lecun et al., 1998)	One against all method for binary classifier	7.60
Linear SVM (Ebrahimzadeh & Jampour, 2014)	Histogram of oriented gradients	2.75
kNN (Grover & Toghi, 2020)	Euclidean distance, expanded training dataset	2.27
kNN (Babu et al., 2014)	Structural and statistical features	1.58
kNN	Rotation invariant LBP	10.19
Naive Bayesian (Wang & Zhang, 2020)	Binarization	18.60
Naive Bayesian (Armstrong, 2019)	Structural features, histogram of oriented gradients, and image moments	10.03
SVM (Tuba et al., 2016)	Histograms of projections to four different axes	4.40
SVM (Gattal et al., 2014)	Density, center of gravity, the second order geometrical moments and number of transitions, Hu's invariant moments, Zernike moments, skew, horizontal and vertical projections histograms	6.19
	added contour and skeleton of the image and coefficients of the Ridgelet transform	3.38
SVM (Patel & Kalyani, 2016)	Fringe distance map	2.86
	Inverse fringe distance map	2.28
SVM (Das et al., 2012)	84 quad-tree based hierarchically derived longest-run and 200 modular principal component analysis features	1.60
SVM (Aider et al., 2018)	High frequencies coefficients of the DWT	29.23
	Low frequencies of the DWT	1.24

Method	Description	Error rate (%)
SVM (El qacimy et al., 2014)	Upper left corner of the DCT coefficients in the zig-zag order	1.29
	256 DCT coefficients, upper left corner, sequentially read	1.34
	10 DCT coefficients from each of 16 non-overlapping blocks of size 7x7 in the zig-zag order	1.24
ANN (Ciresan et al., 2010)	Raw images	0.32
ANN (Meier et al., 2011)	Raw images	0.38
CNN (Tuba & Tuba, 2021)	Raw images, FA	0.84
CNN (Li et al., 2019)	Raw images, PSO	0.99
CNN (Zhu et al., 2019)	Raw images, ABC	0.74
CNN (Bacanin et al., 2020)	Raw images, MBO	0.34

References

- Aider, M.A., Hammouche, K. & Gaceb, D. 2018. Recognition of handwritten characters based on wavelet transform and SVM classifier. *The International Arab Journal of Information Technology*, 15(6), pp. 1082–1087 [online]. Available at: <https://iajit.org/portal/PDF/November%202018,%20No.%206/10880.pdf> [Accessed: 1 March 2022].
- Armstrong, S. 2019. Naive-bayesian-mnist. *GitHub*. [online]. Available at: <https://github.com/sjnarmstrong/naive-bayesian-mnist> [Accessed: 10 March 2022].
- Babu, U.R., Chintla, A.K. & Venkateswarlu, Y. 2014. Handwritten digit recognition using structural, statistical features and k-nearest neighbor classifier. *International Journal of Information Engineering and Electronic Business (IJIEEB)*, 6(1), pp. 62–68. Available at: <https://doi.org/10.5815/ijieeb.2014.01.07>.
- Bacanin, N., Bezdán, T., Tuba, E., Strumberger, I. & Tuba, M. 2020. Monarch Butterfly Optimization Based Convolutional Neural Network Design. *Mathematics*, 8(6, art.ID:936), pp. 1–32. Available at: <https://doi.org/10.3390/math8060936>.
- Bhagya Shree, S. & Sheshadri, H. 2018. Diagnosis of Alzheimer's disease using Naive Bayesian Classifier. *Neural Computing and Applications*, 29, pp. 123–132. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2416-3>.
- Ciresan, D.C., Meier, U., Gambardella, L.M. & Schmidhuber, J. 2010. Deep Big Simple Neural Nets Excel on Handwritten Digit Recognition. *Neural Computation*, 22(12), pp. 3207–3220. Available at: https://doi.org/10.1162/NECO_a_00052.

Cortes, C. & Vapnik, V. 1995. Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3), pp. 273–297. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF00994018>.

Das, N., Reddy, J.M., Sarkar, R., Basu, S., Kundu, M., Nasipuri, M. & Basu, D.K. 2012. A statistical–topological feature combination for recognition of hand-written numerals. *Applied Soft Computing*, 12(8), pp. 2486–2495. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.03.039>.

Deotte, C. 2018. How to score 97%, 98%, 99%, and 100%. *Kaggle*. [online]. Available at: <https://www.kaggle.com/c/digit-recognizer/discussion/61480> [Accessed: 10 March 2022].

Ebrahimzadeh, R. & Jampour, M. 2014. Efficient Handwritten Digit Recognition based on Histogram of Oriented Gradients and SVM. *International Journal of Computer Applications*, 104(9), pp. 10–13. Available at: <https://doi.org/10.5120/18229-9167>.

El qacimy, B., Ait kerroum, M. & Hammouch, A. 2014. Handwritten digit recognition based on DCT features and SVM classifier. In: *2014 Second World Conference on Complex Systems (WCCS)*. Agadir, Morocco, pp. 13–16, November 10-12. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICoCS.2014.7060935>.

Esmaili, I., Dabanloo, N.J. & Vali, M. 2016. Automatic classification of speech dysfluencies in continuous speech based on similarity measures and morphological image processing tools. *Biomedical Signal Processing and Control*, 23, pp. 104–114. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2015.08.006>.

Gattal, A., Chibani, Y., Djeddi, C. & Siddiqi, I. 2014. Improving Isolated Digit Recognition Using a Combination of Multiple Features. In: *2014 14th International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition*. Hersonissos, Greece, pp. 446–451, September 01-04. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICFHR.2014.81>.

Grover, D. & Toghi, B. 2020. MNIST dataset classification utilizing k-NN classifier with modified sliding-window metric. In: *Arai, K. & Kapoor, S. (Eds.) Advances in Computer Vision. CVC 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 944, pp.583–591. Cham, Switzerland: Springer. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-17798-0_47.

Huang, H.Y. & Lin, C.J. 2016. Linear and Kernel Classification: When to Use Which? In: *Proceedings of the 2016 SIAM International Conference on Data Mining (SDM)*. Miami, Florida, USA, pp. 216–224, May 5-7. Available at: <https://doi.org/10.1137/1.9781611974348.25>.

Ilmi, N., Budi, W.T.A. & Nur, R.K. 2016. Handwriting digit recognition using local binary pattern variance and K-Nearest Neighbor classification. In: *2016 4th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*. Bandung, Indonesia, pp. 1–5, May 25-27. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICoICT.2016.7571937>.

Kang, C., Huo, Y., Xin, L., Tian, B. & Yu, B. 2019. Feature selection and tumor classification for microarray data using relaxed Lasso and generalized multi-class support vector machine. *Journal of Theoretical Biology*, 463, pp. 77–91. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2018.12.010>.



Lecun, Y., Bottou, L., Bengio, Y. & Haffner, P. 1998. Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), pp. 2278–2324. Available at: <https://doi.org/10.1109/5.726791>.

Li, Y., Xiao, J., Chen, Y. & Jiao, L. 2019. Evolving deep convolutional neural networks by quantum behaved particle swarm optimization with binary encoding for image classification. *Neurocomputing*, 362, pp. 156–165. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.07.026>.

Lyu, H.K., Park, C.H., Han, D.H., Kwak, S.W. & Choi, B. 2018. Orchard Free Space and Center Line Estimation Using Naive Bayesian Classifier for Unmanned Ground Self-Driving Vehicle. *Symmetry*, 10(9, art.ID:355), pp. 1–14. Available at: <https://doi.org/10.3390/sym10090355>.

Meier, U., Cireşan, D.C., Gambardella, L.M. & Schmidhuber, J. 2011. Better Digit Recognition with a Committee of Simple Neural Nets. In: *2011 International Conference on Document Analysis and Recognition*. Beijing, China, pp.1250–1254, September 18-21. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICDAR.2011.252>.

Nosseir, A. & Roshdy, R. 2018. Extraction of Egyptian License Plate Numbers and Characters Using SURF and Cross Correlation. In: *ICSIE '18: Proceedings of the 7th International Conference on Software and Information Engineering*. Cairo, Egypt, pp.48–55, May 02-04. Available at: <https://doi.org/10.1145/3220267.3220276>.

Patel, A. & Kalyani, T. 2016. Support Vector Machine with Inverse Fringe as Feature for MNIST Dataset. In: *2016 IEEE 6th International Conference on Advanced Computing (IACC)*. Bhimavaram, India, pp.123–126, February 27-28. Available at: <https://doi.org/10.1109/IACC.2016.32>.

Sethy, P.K., Barpanda, N.K., Rath, A.K. & Behera, S.K. 2020. Deep feature based rice leaf disease identification using support vector machine. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, art.number:105527. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105527>.

Sivaram, M., Laxmi, L.E., Pustokhina, I.V., Pustokhin, D.A., Elhoseny, M., Joshi, G.P. & Shankar, K. 2020. An optimal least square support vector machine based earnings prediction of blockchain financial products. *IEEE Access*, 8, pp. 120321–120330. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3005808>.

Tuba, E., Bačanin, N., Strumberger, I. & Tuba, M. 2021. Convolutional Neural Networks Hyperparameters Tuning. In: *Pap, E. (Eds.) Artificial Intelligence: Theory and Applications. Studies in Computational Intelligence*. 973, pp.65–84. Cham, Switzerland: Springer. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-72711-6_4.

Tuba, E. & Tuba, I. 2021. Swarm Intelligence Algorithms for Convolutional Neural Networks. In: *2nd Workshop on Evolutionary and Population-based Optimization*. Online Event, pp.1–6, November 30. Available at: https://wepo2021.aisylab.com/papers/wepo2021_paper_4.pdf [Accessed: 10 March 2022].

Tuba, E., Tuba, M. & Simian, D. 2016. Handwritten digit recognition by support vector machine optimized by Bat algorithm. In: *WSCG '2016: short communications proceedings: The 24th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision 2016 in co-operation with EUROGRAPHICS*. Plzen, Czech Republic: University of West Bohemia, pp.369-376, May 30-June 03. Available at: <http://hdl.handle.net/11025/29725> [Accessed: 10 March 2022].

Wang, H., Zheng, B., Yoon, S.W. & Ko, H.S. 2018. A support vector machine-based ensemble algorithm for breast cancer diagnosis. *European Journal of Operational Research*, 267(2), pp. 687–699. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.12.001>.

Wang, K. & Zhang, H. 2020. A Novel Naive Bayesian Approach to Inference with Applications to the MNIST Handwritten Digit Classification. In: *2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*. Las Vegas, NV, USA, pp.1354-1358, December 16-18. Available at: <https://doi.org/10.1109/CSCI51800.2020.00252>.

Yuan, G.X., Ho, C.H. & Lin, C.J. 2012. Recent Advances of Large-Scale Linear Classification. *Proceedings of the IEEE*, 100(9), pp. 2584–2603. Available at: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2188013>.

Zhai, Z., Xu, Z., Zhou, X., Wang, L. & Zhang, J. 2015. Recognition of hazard grade for cotton blind stinkbug based on Naive Bayesian classifier. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(1), pp. 204–211 [online]. Available at: <http://www.tcsae.org/nygcxben/article/abstract/20150128> [Accessed: 1 March 2022].

Zhu, W., Yeh, W., Chen, J., Chen, D., Li, A. & Lin, Y. 2019. Evolutionary Convolutional Neural Networks Using ABC. In: *ICMLC '19: Proceedings of the 2019 11th International Conference on Machine Learning and Computing*. Zhuhai, China, pp.156–162, February 22-24. Available at: <https://doi.org/10.1145/3318299.3318301>.

Методы классификации при распознавании рукописных цифр: обзор

Ира М. Туба, Уна М. Туба, Младен Дж. Веинович, **корресподент**
Университет «Сингидунум», факультет информатики и
вычислительной техники, г. Белград, Республика Сербия

РУБРИКА ГРНТИ: 28.23.37 Нейронные сети
ВИД СТАТЬИ: обзорная статья

Резюме:

Введение/цель: В данной статье представлен обзор методов распознавания рукописных цифр, протестированных на наборе данных MNIST.

Методы: В данной статье анализируются, синтезируются и сравниваются разработки различных классификаторов, применяемых к задаче распознавания рукописных цифр, от линейных классификаторов до сверточных нейронных сетей.

Результаты: Точность классификации распознавания рукописных цифр, протестированная на наборе данных MNIST при использовании обучающих и тестовых наборов, теперь превышает 99,5%, а наиболее успешным методом является сверточная нейронная сеть.

Выводы: Распознавание рукописных цифр является проблемой во многих ситуациях реальной жизни. Точное распознавание различных стилей почерка, в частности цифр, изучается уже десятилетиями. В данной связи в статье обобщенно описаны достигнутые ранее результаты. Наилучшие результаты были достигнуты с помощью сверточных нейронных сетей, в то время как худшими методами оказались линейные классификаторы. Сверточные нейронные сети дают лучшие результаты, если набор данных расширяется с помощью дополнения данных.

Ключевые слова: распознавание рукописных цифр, классификация изображений, машина опорных векторов, глубокие нейронные сети, сверточные нейронные сети, оптимизация гиперпараметров, роевой интеллект, MNIST.

Методу класификације за препознавање руком писаних цифара: преглед

Ира М. Туба, Уна М. Туба, Младен Ђ. Веиновић, аутор за преписку

Универзитет Сингидунум, Факултет за информатику и рачунарство, Београд, Република Србија

ОБЛАСТ: математика, рачунарске науке

ВРСТА ЧЛАНКА: прегледни рад

Сажетак:

Увод/циљ: У раду је представљен преглед метода за препознавање руком писаних цифара тестираних на МНИСТ скупу података.

Метод: Рад анализира, синтетише и упоређује развој различитих класификатора примењених за препознавање руком писаних цифара, од линеарних класификатора до конволуцијских неуронских мрежа.

Резултати: Тачност класификације за препознавање руком писаних цифара тестирана на скуп података МНИСТ док се користи скуп за тренирање и тестирање је сада већа него 99,5%. Најуспешнија метода је конволуцијска неуронска мрежа.

Закључак: Тачно препознавање различитих стилова рукописа, конкретно ци- фара, проучавано је деценијама, а у раду су сумирани постигнути резултати. Најбољи су постигну- ти са конволуцијским неуронским мрежама, док су најлошије методе линеарни класификатори. Конволуцијске неуронске мреже дају боље резултате ако је скуп података проширен методом аугментације.

Кључне речи: препознавање руком писаних цифара, класификација слика, машина потпорних вектора, дубоке неуронске мреже, конволуцијске неуронске мреже, оптимизација хиперпараметара, интелигенција роја, МНИСТ.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 11.03.2022.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 27.01.2023.

Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 29.01.2023.

© 2023 The Authors. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (<http://vtg.mod.gov.rs>, <http://втр.мо.унп.срб>). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).


© 2023 Авторы. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (<http://vtg.mod.gov.rs>, <http://втр.мо.унп.срб>). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).


© 2023 Аутори. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (<http://vtg.mod.gov.rs>, <http://втр.мо.унп.срб>). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у складу са Creative Commons лиценцом (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



Military green technology: present and future

Zoran M. Miličević^a, Zoran S. Bojković^b

^a Serbian Armed Forces, General Staff, Telecommunications and Information Technology Directorate (J-6), Belgrade, Republic of Serbia, e-mail: zoran.milicevic@vs.rs, **corresponding author**, ORCID iD:  <https://orcid.org/0000-0003-3512-4188>

^b University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia, e-mail: z.bojkovic@yahoo.com, ORCID iD:  <https://orcid.org/0000-0003-1323-0115>

DOI: 10.5937/vojtehg71-40544; <https://doi.org/10.5937/vojtehg71-40544>

FIELD: telecommunications
ARTICLE TYPE: review paper

Abstract:

Introduction/purpose: This paper aims to present military green technology through present concepts, solutions and challenges, as well as through future trends, particularly in wireless communication.

Methods: Analyses and syntheses were used to consider various aspects, challenges and developments of military green technology.

Results: Important aspects of organization, challenges and strategies in military green technologies are presented. Next, the role of a green energy action plan is emphasized. Furthermore, green defence solutions and security challenges are considered. Besides presenting green technologies of today, primarily focused on wireless networks, especially 5G, the paper also considers the impact of biofuels, methanol-based fuel cells, hydrogen fuel cells, hybrid electrical vehicles and photovoltaic energy. Finally, green technologies for the future are presented through some of the most important technologies: next generation wireless networks, pulse detonation engines, piezoelectricity, and biodegradable platforms.

Conclusion: Military green technology is now necessary for approaching wireless networking in order to meet challenges of high demands of wireless traffic and energy consumption. Also, military green technology will require further constant considerations in the field of efficiency and sustainability of application as well as research to provide different acceptable solutions, not only in technical, but also in the organizational domain, in order to be applied in military environment.

Key words: wireless networks, methanol-based fuel cells, hydrogen fuel cells, photovoltaic energy, pulse detonation engines, biodegradable platform.

Introduction

Military green technology evolution has a large impact not only on the development of active research in wireless communications, but also on industry applications. Some examples are network technologies and energy efficiency algorithms as well as protocols, service quality provisioning, etc. All these issues require interdisciplinary fields such as various networks, power systems, and devices. In wireless systems i.e. mobile users or service providers, energy efficiency (EE) and networking are of huge importance. A range of main wireless technologies are part of new networks such as device-to-device communication, spectrum sharing, Internet of things, ultra-dense networks, etc. As for military green technology, the main characteristics consist of offering a system solving the following operational challenges:

- High impact deployment cost,
- High expenses involved in buying, installing and maintenance,
- Reducing toxic emissions, and
- Low power generation rates compared to fuel.

Military green communication systems are designed to be focused on increasing spectrum efficiency (SE). In order to compare SE transmission, technologies such as orthogonal–frequency division multiplexing (OFDM), multiple-input multiple-output (MIMO) as well as non-orthogonal multiple–access (NOMA) are used.

For military organizations, it is necessary to take into account the development of green network solutions and to implement them. It means that it will be of importance to explain how different solutions are in accordance with military operations in order to improve capability. There are many examples showing how characteristics such as interests of organization, technological innovations as well as political reasons influence the development and implementation of green network technology and policy. This offers many possibilities and motivation that are necessary from the point of view of political and military personnel responsible for decision making.

Organization, challenges and strategies in military green technologies

Starting from the early 1950s, armament and military equipment have grown exponentially in quantity, becoming more sophisticated and more costly to operate. Demands on power consumption for military

needs have increased because military equipment today consists of multiple communication radios and corresponding components connected to various conditioning systems. Higher energy consumption results in increased operating costs as well as support costs. Exposed energy supply lines and fuel convoys were demonstrated to be easy targets for enemy attacks.

The content and formats of green strategies show how different political, military, technological and organizational aspects affect the development of such strategies. While strategies developed by some world countries concentrate on a limited number of operational challenges and requirements, there are more general strategies which encompass different goals, tasks, organizations as well as legacy equipment. These differences mean that world countries must define their own green strategies. Green strategies should be connected vertically through different government agencies from higher levels. State agencies, ministries of defence and military services above all, should develop green strategies that are connected with green strategies of high level state authorities.

A lot of different countries have been dealing with and developing green strategies in recent years and, as a result, defence should be clearly included in them. This was a solid base for the beginning of the development and implementation of new green strategies and technologies. With the deployment of Fourth Generation (4G) systems all over the world, energy consumption is growing daily, increasing ecological impacts, likelihood of bigger climate change, health concerns for the user, etc. In this context, Fifth Generation (5G) systems are viewed as the key network technology that will meet the challenge and allow the realization of a highly-connected society where billions of users, via their respective devices (wearables, smart phones, connected cars, laptops, etc.) and machines such as IoT devices, drones, etc. will be able to exchange data and other services at higher QoS levels. The fact that 5G architecture focuses on developing new green technology, cell deployment strategies and resource allocation in order to improve energy efficiency makes people more motivated to acknowledge its recent results worldwide.

In order to improve EE, 5G architecture focuses on developing new greener technology. Increasing SE is one of the most important ideas in green communication systems design. Military green energy services vary in capacity and are highly dependent on the location and the weather which make it a key challenging task in the deployment and management of wireless communication networks. The fundamental

design criterion in developing military green wireless communication networks would be shifted from energy efficiency to energy consumption and sustainability due to the nature of green technology. As for green networking, it helps to define the overall research climate.

Green Action Plan

With the Green Action Plan (2021-2025), military defence systems of each country have to trace a leading role in the green transition towards a sustainable future, a more climate-friendly approach and a greater responsibility for climate technology development (Danish Ministry of Defence, 2021). The Action Plan has to be updated and adjusted annually as new and better ways are being invented to fulfill green ambitions. Green transition must not compromise the ability to conduct operations. It should support and not block it. Therefore, the Action Plan does not outline any goals that could compromise operational effectiveness. It is possible to apply initiatives that will have the greatest possible effect on green transition in the areas such as nature, use of energy, air pollution, soil and groundwater, sewage and surface water, resource production, noise and vibrations.

Green defence

Green defence deals with the development and implementation of ecological processes which are undertaken by military in order to increase energy efficiency and mitigate negative influence on the environment without negatively influencing operability. A survey of the countries interested in green defence measures reveals that the issue of energy efficiency exists at several levels, such as: economic, operational and strategic. As a logistical effect on operating equipment, operating costs have consistently grown for platforms across the world (Burg & Scharre, 2015).

The risk of attacks on fuel convoys has forced armed forces to provide alternative sources for supply routes and thus mitigate risks for personnel. Also, when electricity grids are vulnerable to terror attacks and different catastrophies, alternative energy sources are in a position to mitigate the risk of going off the grid. From a strategic point of view, reliance on oil and gas leads to the autonomy of a state. As climate changes exist, public perception acts as a strong force to support engagement in military environment.

The green defence concept, together with the four main security challenges, is shown in Figure 1.

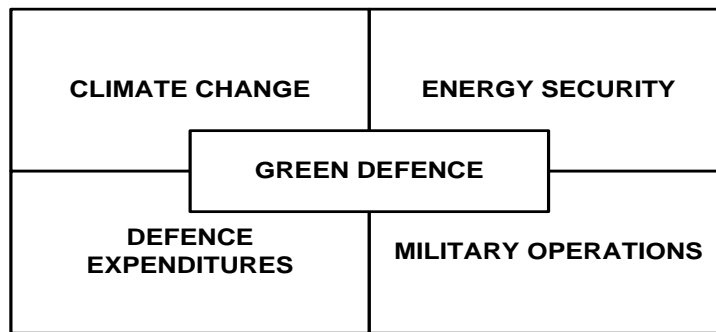


Figure 1 – Green defence concept and security challenges
 Рис. 1 – Концепция «зеленой обороны» и проблемы безопасности
 Слика 1 – Концепт зелене одбране и безбедности изазови

These are: climate change, energy security, military operations and defence expenditures. As for green defence, it includes different actions and domains such as: operations, logistics, engineering and defence planning. Energy resources are the most important for national security while a continuous supply of such resources always has been a key priority.

Green defence solutions

In order to identify relevant and important items to make difference between security challenges, it will be of fundamental importance to separate how a solution is connected to a given challenge. Different solutions are significant for dealing with efficiency and effectiveness. Green defence is relevant at many different levels, but also difficult to operationalize and access. Characteristic examples of green defence solutions are distributed into two groups: green technologies and green strategies. They both demonstrate the way how green solutions are developed and after that invoked to be adapted not only to military organization, but also to technological needs. Many countries developed green strategies connected to environmental and climate challenges. Green strategies appropriate for defence offer something new. However, many countries are paving the way to developing appropriate green strategies for their armed forces. Energy efficiency serves as a unique force multiplier, increasing much more the range of endurance of forces

in the field while evidently reducing the number of combat forces protecting energy supply and at the same time reducing long-term energy costs. Green solutions and general security can be connected, presenting at the same time a huge interest for common green public policy challenges. A network-zero military installation is about to address the security challenges of three main topics: climate change, energy security and optional fuel consumption. Also, in that way a network-zero installation could be an appropriate solution to all challenges, involving greenhouse gas elimination, reducing the need for supply with foreign fuel and finally improving operational fuel efficiency. It can be analytically difficult to describe the link between green military solutions and various security challenges. An analytical challenge is important to emphasize and should be addressed in future green policy initiatives. The relevance, impact and cost-effectiveness of different solutions are difficult to access as the links between solutions and challenges are not analyzed and described comprehensively. The link can be described either qualitatively or quantitatively, or both, but should be addressed clearly. This is particularly important in the development and selection of green solutions since many security challenges will be of cross-cutting nature involving multiple areas, organizations and policies. It is of special interest to the users that green military technologies and strategies can address multiple security challenges simultaneously.

Green defence and security challenges

It is well known that the number of green technologies that potentially could be used by military organizations is of huge significance. This is the main reason why it is necessary to provide developing a more comprehensive mapping of available technologies. Next, it is recommended to analyze and describe how a green solution is limited to a security challenge before deciding on a specific set of green solutions. Finally, through developing green strategies, it is necessary to know how green technologies and strategies are coordinated. The connections between green defence solutions and security challenges are straightforward, when describing them explicitly. In that way, in order to compare the described solutions, policy makers are enabled to select at the same time efficient and effective solutions aimed at the most significant challenges. Table 1 connects the green defence concept which consists of four security challenges: military operations, defence expenditure, energy security and climate changes. In order for a green solution to work, it will be of importance to change behavior along with the introduction of new green technology. However, changing

organizational and individual behavior is a challenge: not just in military organizations, but in organizations in general. Organizations and individuals are said to resist change due to inertia, costs, resources, and threats to the power base, values and benefits and mobility to perceive alternatives.

It is important to address these challenges by providing specific green solutions, i.e. by understanding how a number of aspects such as organizational interests, technological developments, and political goals influence the development and use of green technologies and strategies. This creates a number of possibilities and challenges that need to be taken into consideration primarily by military decision makers.

Table 1 – Green defence concept with security challenges and general and specific solutions

Таблица 1 – Концепция «зеленой обороны», проблемы безопасности, общие и специфические решения

Табела 1 – Концепт зелене одбране са безбедносним изазовима, општим и специфичним решењима

Concept	Security challenges	General solutions	Specific solutions
Green defence	Military organization	Reduced energy demand	New green technologies - More efficient combustion engines - Solar panels
	Defence expenditure	Inverse and diversity energy supply	
	Energy security		Adjust force structure and defence planning
	Climate changes	Green strategies and management systems - Green strategy for defence - Key Performance Parameters	

The concept of green defence shows promise with regard to energy security. Diversification in energy sources and reduced consumption of energy will be significant elements in addressing a policy response to future energy challenges. This fact indicates that military forces will be more resilient in the case when they have developed and implemented variable green solutions.

Green technology for today

Green communications are one of the major attributes of 5G systems. Unlike traditional energy services, green energy services vary in capacity and are highly dependent on the location and the weather which makes it a key challenging task in the deployment and management of wireless communication networks. The fundamental design criterion in developing green wireless communication networks would be shifted from energy efficiency to energy consumption and sustainability due to the nature of green technology. Green communication systems design is focused on increasing spectrum efficiency (SE). Green networking not only led to significant results in the past (orthogonal-frequency division multiplexing OFDM, multiple-input multiple-output MIMO, non-orthogonal multiple access NOMA), but also helped defining the overall research climate. The increase in power consumption and carbon footprint of cellular networks has led to various proposals for green mobile networks solutions from telecom providers, governments and researchers. Different types of electrical military vehicles are joining power grids including renewable resources, energy storage, etc. These elements are distributed at different levels and areas of power grids and have influence on huge-scale energy management in practice. To meet the challenges raised by high demands of wireless traffic and energy consumption, green evolution has become a need for today wireless networks; as energy saving and environmental prediction become not only necessary demands, but also trends, researchers and engineers have moved their interest to energy efficient-oriented design, green radio (GR). This was a research direction for the evolution of future military wireless devices and architectures, toward high energy efficiency (EE). The most common approach is to define it as the ratio between the military system throughput and the power consumption. As for GR, it has targeted solutions based on joint energy and communication cooperation. Energy compaction is a cost saving approach on the supply side. At first, the major application scenarios for 5G mobile networks bring the characteristics which include that scenarios such as enhanced mobile broadband (eMBB) ultra-reliable and low-latency communication (uRLLC), and massive machine type communication (mMTC) have to be taken into account. Secondly, mobile terminals have to be supported together with energy efficient solutions. Also, network nodes such as MIMO and ultra-dense networks (UDNs) introduce new design challenges when speaking about EE military schemes. In this environment, the green radio plays a significant role in green wireless

system design. There are several fundamental frameworks for military GR research such as: deployment efficiency – energy efficiency, spectrum efficiency – energy efficiency, bandwidth-power trade off and delay-power trade off. In the last decade, the research activity has moved to the EE study of military access radio network (RAN) side (Miao et al, 2010, pp.545-554). The goal was to jointly reduce the power consumption and improve spectral efficiency (SE) at the same time, in order to maximize the EE of wireless networks. If military circuit power consumption is considered, SE and EE cannot be improved simultaneously.

While their operational advantages are important for determining what future green militaries will look like, their few technology levels provide minimal information on their cost-effectiveness.

Biofuels

Biofuels are one kind of fuels which originate from organic matters. They are receiving significant attention for their characteristic to replace petroleum-derived fuels. Different forms of particulate organic matters are used for biofuels in defence applications, especially to meet specific supersonic flight requirements.

For lower carbon emission, it is possible for synthetic kerosene to be blended with petroleum fuels (Lamprecht, 2007, pp.1448-1453). It should be noted that synthetic fuels are expensive to produce as well as maintain. Also, synthetic fuels are time-consuming to produce in large quantities, which is a limiting factor. Next, application of synthetic fuels in armed forces is much more limited than that of other types of biomass alternatives. On the other hand, next generation biofuels are accepted as the most promising ones for their high efficiency levels – but they are not a viable final solution. Further research and development is needed to modify the composition of biomasses to make them more efficient and cleaner.

Fuel cells based on methanol

Special kinds of fuel cells which convert "energy of chemical reactions into electrical energy without combustion with virtually any pollution" are used to generate as well as store energy (Crull, 2006). The important advantages of methanol-based fuel cells are as follows: adaptability with other equipment, ability of direct and reformed methanol-based fuel cells to blend with gasoline, combat kits weight reduction up to 80%, increased mobility of military forces based on a power supply solution, applicability in a range of electrical and electronic

devices as well as different platforms with UAVs and submarine propulsion systems, low acoustic, vision and thermal systems. On the other hand, the most important disadvantages are: increasing prices and higher toxicity as well as lower density than other alternative fuels such as ethanol.

Hydrogen fuel cells

Hydrogen energy is another alternative source that armed forces have considered for cutting electrical energy costs and for reducing carbon emission. Similarly to methanol-based fuel cells, it is an alternative for military uses. The density of hydrogen makes it more usable in comparison to other types of fuel cells. Hydrogen as an energy carrier is expensive to generate, store as well as transport. Production of hydrogen energy requires more fossil fuels. The need to use fossil fuels for hydrogen energy production seriously puts into question its status as an alternative energy source. Nevertheless, armed forces' interest in it continues for almost two decades.

Hybrid electrical vehicle

Hydrogen fuel cells technology improvement offers hybrid electric drive (HED) for vehicles that include battery-powered engines together with case gasoline engines to charge battery. Compared to standard two speed gas engines, the advantage of HED vehicles is that they use less electrical energy when operating at low speeds. Today, the fact is that vehicles powered by single engines are recognized to be more efficient than HED vehicles. However, armed forces have acceptable experience with HED, especially when largely depending on three important categories: domain, speed and acceleration. It should be noted that efficiency gains are twice as high for HED not only on the land, but in aerial domains, as well.

Photovoltaic energy

Today, photovoltaic energy represents solar fuel cells suitable for armed forces and aiming at primarily reducing energy consumption. The advantages of photovoltaic energy are: reduced power demand in basic areas, proven appropriateness for unmanned vehicles, up to 90% in fuel use reduction, and market forces significantly cutting costs. On the other hand, the disadvantage of photovoltaic energy is minimal mission flexibility dependant on weather influences, especially cloudiness, while the space-based solar alternative is not suitable because it is expensive. Also, results achieved in desert conditions can be beneficial but are not

generally applicable in all types of the environment. It should be added that photovoltaic security risks jeopardize military frequencies communications and surveillance technologies.

Green technology for the future

In the last years, the research activity has moved to the energy efficiency (EE) study of the radio access network (RAN) side. The goal was to jointly reduce power consumption and improve spectral efficiency (SE) at the same time, in order to maximize the EE of wireless networks. If circuit power consumption is considered, SE and EE cannot be improved simultaneously. In order to improve the bandwidth efficiency, the Shannon channel capacity theory is often implemented to develop signal-input signal-output (SISO) systems together with multiple antenna MIMO systems. From Shannon's mathematical theory of communication (Shannon, 1948, pp.623-656), the maximum achievable rate of transmission, i.e. the capacity C of a channel of the band W , scales logarithmically with the received signal-to-noise ratio (S/N), i.e. $C=W\log(1+S/N)$.

Taking into account that a sustainable future wireless network must be not only spectrum efficient, EE and SE become an important step in 5G research. Cellular systems have many opportunities to become greener from the equipment point of view, for example through operating in line with traffic version in time and space. When the total power is considered, there is a green point on the EE – SE curve where the maximum energy efficiency is achieved. When the circuit power is considered, there is a green point on the EE- SE curve where the maximum energy efficiency can be considered; there is also a green point on the EE – SE curve where the maximum energy efficiency can be achieved. For example, EE and SE improvement of 5G and 4G is achieved owing to the introduction of more antennas. If more antennas are introduced in order to increase both EE and SE, the total power consumption will increase, too. On the other hand, the increase of total power cannot be well controlled. The fact that 5G is capable of supporting versions of wireless services in diverse scenarios and could offer universal connectivity for individual consumers as well as vertical industries opens the door to huge opportunities for a greener society and life style. 5G could help to reduce traffic congestion in urban areas via intelligent vehicle scheduling. This leads to significant energy saving.

Three technologies most important for tomorrow are: pulse detonation engines, piezoelectricity and biodegradable platforms.

Pulse detonation engines

In order to produce thrust, pulse detonation engines use near-constant volume combustion and constant pressure. Besides being able to compress quickly and add heat constantly, pulse detonation engines can achieve a higher thermodynamic efficiency as well as replace moving parts in engines which are in operation today. Investigations in the area of pulse detonation engines currently focus on involving turbojets and cruise missile systems together with UAV applications (Bojkovic et al, 2020, pp.3-29; Johnson, 2010).

Piezoelectric effect

Piezoelectricity is the process of generating electricity from motion. Today, in the military domain, it is very important to solve how to obtain electric energy from mechanical energy generated by different war platforms, for example warfighters and land vehicles (Dillow, 2009). In the future, piezoelectricity can be used to power electrical devices and provide operational advantages similar to those of methanol-based fuel cells.

Biodegradable platform

The Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA) is researching biodegradable platforms with a focus on synthetic biology. DARPA's Inbound, Controlled, Air – Releasable, Unrecoverable Systems (ICARUS) program was started in 2015 (DARPA, 2015). One example of biodegradable platforms presents how such material would be used in aerial delivery vehicles that, having completed their tasks, disappear into thin air without polluting the environment and without having to return to their original launch sites (DARPA, 2017). Similar to other futuristic technologies, there are few signals about the eventual cost-effectiveness of such materials based on the early research and technology stages.

Conclusion

Military green technology is now a needed wireless networking approach to meet challenges posed by high demands of wireless traffic and energy consumption. Green communications represent a trend in the academic and industrial networking and an important research path for developing future mobile architecture and for innovations to achieve high EE. Also, it is highly possible that SE performance will increase in future 6G communications, which means that military green energy efficiency will be further enhanced with boosted power consumption. When

wireless military communication industry follows this trend, the associated carbon emissions will increase to an acceptable level. That is the main reason why it is important for the industry to break the energy–efficiency trade–off and improve energy-efficiency performance while maintaining high spectrum efficiency.

Green solutions have previously been connected, particularly in U.S., in order to bring military operational effectiveness. Large amounts of fuel are necessary to operate advanced military technologies. The framework combines the operational challenges together with security challenges, such as defence expenditures, energy security, and global climate change. There are many specific green military initiatives to describe the way how green technologies can be implemented, while at the same time how behavioral change can be achieved. A particular focus is on how green strategies have been formulated in order to recognize objectives, challenges and green solutions and how important elements are connected in strategies. The structure of green technology and green strategies reflects considerable potential of green solutions. They show military potentials, possibilities and challenges related to the use of green technologies and strategies. It is also visible that the interest in reducing costs of green defence stems from a desire to mitigate operational risks, such as attacks on fuel convoys, which sometimes increase energy independence. Green technologies can affect the operational and organizational elements of forces of the future. The operational advantages offered by green technologies can be summarized in categories that will help to define the future battlefield. First are portable technologies on soldiers including wearable solar cells and methanol fuel cells to reduce the weight and increase the power duration of equipment used in military missions. Next is the ability to generate, distribute and store power more efficiency and with signatures, as it is relevant for forward operating bases. Similarly to portable technologies, distributed power allows disaggregated units to operate for longer in the field. Lastly, alternative energy sources could become a force multiplier for unmanned systems with some prospective green technologies offering almost all extending flight times.

Smaller platforms with more dual–use components, including unmanned vehicles, are available under the condition to be used by a great number of users. With distributed power systems, it can be difficult for fighters or terrorists to target centralized systems which have impact on wider forces or population. Further, green technology has the tendency to treat alternative energy sources as valuable substitute goods which can be used for a system as one–to–one replacement for fossil

fuels. Unfortunately, the comparison of biofuel to petroleum prices fails to take into account the cost of different equipment such as batteries and rechargeable systems that fuel cells could render redundant. When previously applied to the military area, the operational advantages should be visible even in situations when fuel cells are unexpectedly more expensive than batteries and chargers. Economic perspectives on green defence technologies are promising for smaller armed forces such as militaries which can use the benefits of commercial technologies when prices are driven down. For example, increased demand for solar systems has made more producers be interested in supplying them to the market and this development in turn has forced prices down. Given technologies look suitable for operational and environmental considerations. They can find appropriateness in armed forces of different sizes.

Nowadays, military green technology represents one of important technologies for armed forces (including the Serbian armed forces) through research and implementation of different kinds of solutions. Also, it has a significant role in future action plans in order to achieve a higher degree of energy efficiency and to be suitable for implementation in a variety of different equipment applied on the battlefield with acceptable cost of operation.

References

Bojkovic, Z.S., Milovanovic, D.A. & Fowdur, T.P. 2020. *5G Multimedia Communication: Technology, Multiservices, and Deployment, Chapter 1*, pp.3-29. Boca Raton: CRC Press. Available at: <https://doi.org/10.1201/9781003096450>.

Burg, D. & Scharre, P. 2015. The 100 Billion Question: The Cut Case for Naval Uninhibited Combat Aircraft. *Center for a New American Security* [online]. Available at: <https://www.jstor.org/stable/resrep06136> [Accessed: 27 November 2017].

Crull, W.A. 2006. *Direct Methanol Fuel Cells* [online]. Available at: <https://www.altenergymag.com/article/2006/10/direct-methanol-fuel-cells/37/> [Accessed: 15 January 2022].

-Danish Ministry of Defence. 2021. *Summary of the Green Action Plan 2021-2025* [online]. Available at: <https://www.fmn.dk/globalassets/fmn/dokumenter/strategi/miljo/-summary-of-the-green-action-plan-.pdf> [Accessed: 15 January 2022].

-DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency). 2015. *Vanishing Acts: A Cell for disappearing Delivery Vehicles* [online]. Available at: <https://www.darpa.mil/news-events/2015-10-09> [Accessed: 9 December 2017].

-DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency). 2017. *Episode 11: The Thin-Air Specialist* [online]. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=MzZyWJjkEkk> [Accessed: 9 Decembar 2017].

Dillow, C. 2009. *Smart Armor Knows its Own Strength, As Well As the Enemy's*. *Popular Science* [online]. Available at: <https://www.popsci.com/technology/article/2009-11/smart-armor-knows-low-its-own-strength-and-enemy> [Accessed: 25 December 2021].

Johnson, J.J. 2010. *An integrated command and control architecture concept for unmanned systems in the year 2030*. Ph.D. thesis. Monterey, California: Naval Postgraduate School [online]. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/36698951.pdf> [Accessed: 20 November 2021].

Lamprecht, D. 2007. Fischer-Tropsch Fuel for Use by the U.S. Military as Battlefield-Use Fuel of the Future. *Energy and fuels*, 21(3), pp.1448-1453. Available at: <https://doi.org/doi:10.1021/ef060607m>.

Miao, G., Himayat, N. & Li, G.Y. 2010. Energy efficient limit adaptation in frequency-selective channels. *IEEE Transactions on Communications*, 58(2), pp.545-554. Available at: <https://doi.org/doi:10.1109/TCOMM.2010.02.080587>.

Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communications. *Bell System Technical Journal*, 27(4) pp.623-656. Available at: <https://doi.org/doi:10.1002/j.1538-7305.1948.tb00917.x>.

Военные зеленые технологии: настоящее и будущее

Зоран М. Миличевич^а, Зоран С. Бойкович^б

^а Вооруженные силы Республики Сербия, Генеральный штаб, Управление телекоммуникаций и информационных технологий (J-6), г. Белград, Республика Сербия, **корреспондент**

^б Белградский университет, Белград, Республика Сербия

РУБРИКА ГРНТИ: 49.33.29 Сети связи

ВИД СТАТЬИ: обзорная статья

Резюме:

Введение/цель: В данной статье представлена концепция военной зеленой технологии с акцентом на существующие вызовы, задачи и решения, а также на тенденции в будущем. Особое внимание уделяется военной зеленой технологии в области беспроводной связи.

Методы: При рассмотрении различных аспектов, проблем и разработок военных зеленых технологий использовались анализ и синтез.

Результаты: В статье представлены важные аспекты организации, проблемы и стратегии военных зеленых технологий. Также подчеркивается роль плана действий по возобновляемой

энергии. Помимо того, рассматриваются вопросы обороны с экологической точки зрения, а также вызовы в области безопасности. В том числе описано состояние зеленых технологий на сегодняшний день, которые в первую очередь ориентированы на беспроводные сети, особенно 5G, а также воздействие биотоплива, метанольных и водородных топливных элементов, гибридных электромобилей и фотоэлектрической энергии. В заключении представлена взаимосвязь зеленых технологий будущего с наиболее важными технологиями, такими как: беспроводные сети следующего поколения, импульсные детонационные двигатели, пьезоэлектричество и биоразлагаемая платформа.

Выводы: Военные зеленые технологии в настоящее время являются главным фактором в решении проблем, связанных с высокими требованиями к беспроводным сетям, трафику и энергопотреблению. Однако военная зеленая технология требует постоянного изучения вопроса эффективности и устойчивости применения, а также поиска различных приемлемых решений не только в техническом, но и в организационном плане в целях успешного применения в военной среде.

Ключевые слова: беспроводные сети, метанольные и водородные топливные элементы, фотоэлектрическая энергия, импульсные детонационные двигатели, биоразлагаемая платформа.

Војна зелена технологија: садашњост и будућност

Зоран М. Миличевић^а, Зоран С. Бојковић^б

^а Војска Србије, Генералштаб, Управа за телекомуникације и информатику (Ј-6), Београд, Република Србија, **аутор за преписку**

^б Универзитет у Београду, Београд, Република Србија

ОБЛАСТ: телекомуникације

КАТЕГОРИЈА (ТИП) ЧЛАНКА: прегледни рад

Сажетак:

Увод/циљ: Овај рад настоји да прикаже војну зелену технологију кроз садашње концепте, решења и изазове, као и кроз будуће трендове, посебно у бежичној комуникацији.

Метод: Анализе и синтезе су коришћене за разматрање различитих аспеката, изазова и развоја војне зелене технологије.

Резултати: Приказани су важни аспекти организације, изазови и стратегије у војним зеленим технологијама, а наглашена је и улога зеленог акционог плана за енергију. С друге стране, разматрају се зелена одбрамбена решења и безбедносни изазови.

Такође, у раду су представљене данашње зелене технологије које су првенствено усмерене на бежичне мреже, посебно 5Г. Сагледан је и утицај биогорива, горивих ћелија на бази метанола, водоничних горивних ћелија, хибридног електричног возила и фотонапонске енергије. Зелене технологије будућности представљене су кроз неке од најважнијих технологија: бежичне мреже следеће генерације, импулсне детонационе машине, пиезоелектричност и биоразградиву платформу.

Закључак: Војна зелена технологија данас представља неопходан приступ бежичном умрежавању како би се одговорило на изазове високих захтева бежичног саобраћаја и потрошње енергије. Такође, војна зелена технологија захтеваће и стална разматрања у области ефикасности и одрживости примене, као и истраживање и проналажење различитих прихватљивих решења, не само у техничком, већ и у организационом домену, како би се применила у војном окружењу.

Кључне речи: бежичне мреже, горивне ћелије на бази метанола, водоничне горивне ћелије, фотонапонска енергија, импулсни детонациони мотори, биоразградива платформа.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 07.10.2022.

Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 28.01.2023.

Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 29.01.2023.

© 2023 The Authors. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2023 Авторы. Опубликовано в «Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier» (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией «Creative Commons» (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2023 Аутори. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у складу са Creative Commons лиценцом (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



Руски хеликоптер за електронско ометање¹



Mi-8MTPR-1

Хеликоптери *Mi-8MTPR-1 Rychag* воде електронски рат против украјинских система ПВО. Крећу се дубоко унутар територије под руском контролом како би избегли обарање, летећи на висини већој од 3048 метара, ради оптималног ефекта. Употреба ових хеликоптера за електронско ратовање у рату у Украјини потврђена је фотографијама које је објавило Министарство одбране Русије. На једном видео-снимку војник (можда пилот) који стоји поред хеликоптера објашњава да се систем *Rychag* користи „за сузбијање могућности ПВО, свих варијанти, које се налазе на суседној територији, оба аналогна западна система, и бивших совјетских система” како би се руској ударној авијацији омогућило да дубље продре у Украјину.

Хеликоптер *Mi-8MTPR-1* је модификација стандардног борбено-транспортног хеликоптера *Mi-8MTB-5-1*, који производи *Kazan Helicopters plant*. Интерна ознака летелице је *Mi-8MTV-5PR*, у којој PR значи *Pomekhovyi, Rychag*, односно хеликоптер за ометање са системом *Rychag*.

Хеликоптерски *Rychag-AV (Авиатсионнии Вертолотнии; Rychag-AVE* је дериват за извоз) систем за електронско ратовање сузбија радаре за

¹ <https://www.thedrive.com/the-war-zone> October 10th 2022

контролу ватре непријатељског ракетног система земља-ваздух ометајући их. На тај начин обезбеђује заштиту за групе пријатељских ударних авиона, хеликоптера или дрона. Систем, такође, може ометати радаре непријатељевих авиона, нудећи на тај начин заштиту не само савезничким ваздушним средствима већ и помажући у одбрани њихових копнених трупа које би се иначе нашле под ваздушним нападом.



Пар хеликоптера *Mi-8MTPR-1* снимљена у пролеће. Ознака 'V' указује да се ради о снагама источног војног округа.

Систем *Rychag-AV* са својим ометачем типа *L187A* пројектовао је и развио институт за радио-инжењеринг *Kaluga*, или скраћено *KNIRTI*, а производи га и уграђује у хеликоптере компанија *Kazan Optical and Mechanical Plant (KOMZ)*, која је део концерна *Radio-Electronic Technologies Concern (KRET)*.

Товарни део у хеликоптеру *Mi-8MTPR-1* подељен је на два дела. Хардвер са системом *Rychag-AV* инсталиран је у већем задњем делу, док се станица оператора налази у мањем предњем делу. Четири антене које припадају систему налазе се на обе стране трупа. Две предње антене су рисивери/усмеривачи правца који откривају непријатељске радаре у радном режиму и одређују тип и локацију непријатељских радара. Две задње антене представљају одашиљаче и откриваче правца који емитују зрачење којима ометају откривене радаре.



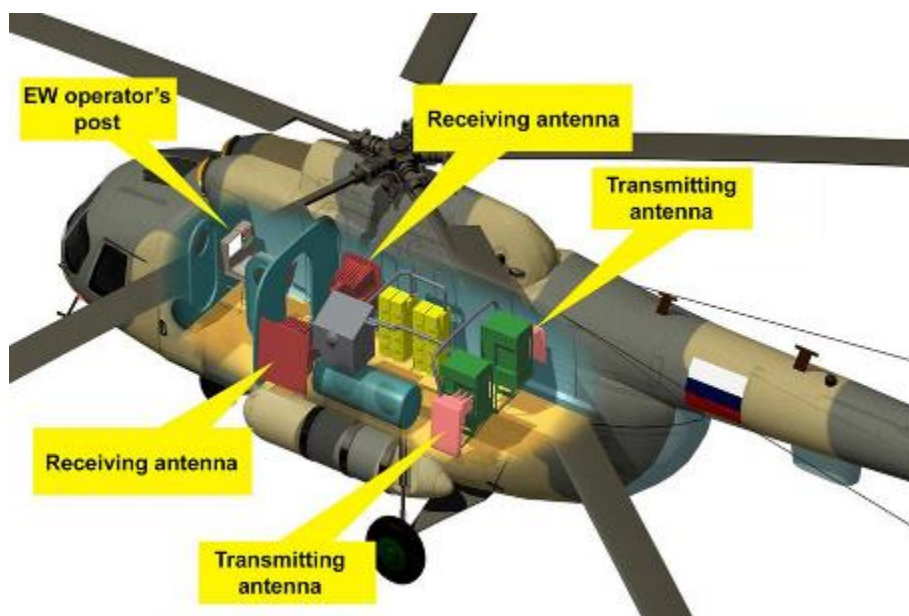
Опрема заузима цео товарни простор хеликоптера Ми-8МТПР-1



Станица оператора у предњем делу кабине

Лансери топлотних мамаца постављени су на једном од задњих прозора са сваке стране трупа ради заштите хеликоптера од инфрацрвених противваздухопловних пројектила.

Према компанији *KNIRTI*, станица за ометање L187A ради у фреквенцијском опсегу од 5,1GHz до 11GHz (2,7-5,9 цм таласне дужине, или С и X опсег). Истовремено је могуће потиснути осам радара у сектору под углом од 45 степени по азимуту и 15 степени по елевацији. На удаљености до 105 км ефективна снага зрачења је 105 kW за сваку мету. Маса целог система је 1.200 килограма (или 1.400 килограма према алтернативним подацима), а потпуно опремљен хеликоптер може да остане у ваздушном простору 2,4 сата.



L187A Rychag-AV опрема на хеликоптеру Mi-8MTPR-1

Систем *Rychag-AV* може да ради потпуно аутоматски, без потребе за учешћем оператора према унапред подешеном програму. Систем користи меморисану библиотеку непријатељевих радара и аутоматски бира одговарајуће методе ометања. У полуаутоматском режиму оператор бира методе ометања, док у ручном режиму такође процењује укупну електромагнетну ситуацију и бира мете за ометање.

Прва два пробна хеликоптера *Mi-8MTPR-1*, под бројевима '61' и '62', конвертована су из старих хеликоптера *Mi-8*, а тестирање је започето 2010. године. Чак и пре него што су тестови завршени, 22. новембра 2013, руско Министарство одбране је наредило да се 18 хеликоптера *Mi-8MTPR-1* конвертује од нових хеликоптера *Mi-8MTV-5-1*. Прва три произведена хеликоптера *Mi-8MTPR-1* испоручена су оперативној јединици почетком

марта 2015. године. Године 2013. најмање један хеликоптер са системом *Rychag* (званичне ознаке Ми-8МТ са системом L187АЕ) испоручен је страном купцу, вероватно Вијетнаму. У Сирији је 2018. године виђен један *Mi-8MTPR-1*, са сиријским ознакама, иако то не мора да значи да је њиме управљала локална војска, јер су се појавили и други хеликоптери којима управља Русија са сиријским ознакама или комбинацијом руских/сиријских ознака.

Ваздухопловно-космичке снаге Русије, или ВКС, тренутно имају око 20 хеликоптера *Mi-8MTPR-1*. Они су распоређени између неколико бригада војног ваздухопловства: 15. бригада ВВ у Острову у Западном војном округу, 16. ВВ. бригада у Зернограду у Јужном војном округу и 18. ВВ бригада у Хабаровску у Источном војном округу. Неколико хеликоптера је такође додељено 440. самосталном хеликоптерском пуку у Вјазми у Западном војном округу и у руској ваздушној бази Еребуни у Јерменији.

На основу доступних фотографија, на којима су појединачни бројеви хеликоптера замагљени због цензуре, *Mi-8MTPR-1* из Острова и Хабаровска, а можда и друге јединице, били су укључени у рат у Украјини. Судаћи по ознаци „Z”, *Mi-8MTPR-1* припада Западном војном округу, дакле или из 15. бригаде ВВ или из 440. пука.

Наслеђе хеликоптера за електронску борбу

Најновији руски хеликоптер *Mi-8MTPR-1* намењен је за електронску борбу и тренутно је једини у производњи. То је, вероватно, и једини модел који се налази у активној служби у руској војсци. Међутим, Совјетски Савез је развио бројне различите хеликоптере за електронску борбу, од којих је већина била заснована на хеликоптеру *Mi-8*.

Почевши од раних 70-их година совјетске ваздухопловне снаге су користиле више верзија. Идентификовано је најмање 16 Ми-8 опремљених за електронске противмере (ЕП) и електронско прикупљање информација (ЕПИ). У новије време Русија је користила хеликоптере *Mi-8PPA* и *Mi-8SMV-PG* у рату са Грузијом 2008. године. Тврдило се да је коришћење система *Azaliya EW* на хеликоптерима *Mi-8PPA* смањило максимални домет претраживања грузијских земаљских радара са 300 км на 30 до 50 км. У међувремену, тврди се да је употреба система *Smalta-PG* на хеликоптеру *Mi-8SMV-PG* смањила домет радара против ваздухопловних система Бук-М1 (*SA-11 Gadfly*) и С-125 (*SA-3 Goa*) са 25 до 30 км на 10 до 15 км.

Иако је руска хеликоптерска флота за електронско ратовање много мања и није толико разноврсна као на свом врхунцу, треба напоменути да је, бар пре последње руске инвазије, Украјина улагала напоре да врати у службу хеликоптере за електронско ратовање из доба хладног рата. Међу њима су били *Mi-8MTPB* са пакетом за ометање комуникација *Bizon* и *Mi-8MTPI* са системом за ометање *Ikebana*, који су намењени да поремете радаре на бојном пољу противника, укључујући оне повезане са системима противваздухопловне одбране. Статус ових хеликоптера је неизвесан и

нема доказа да су коришћени у актуелном сукобу, иако је то свакако могуће.



Модернизовани украјински хеликоптер Ми-8МТПВ са карактеристичним антенама монтираним на централном делу трупа

Будућност

У јануару 2016. године концерн KRET је саопштио да је предао на евалуацију пробни примерак модерновог система за електронско ратовање *Rychag-AVM*. Заменик генералног директора компаније KOMZ Алексеј Панин изјавио је да модерновани систем емитује већу снагу од система *Rychag-AV*, нуди више функција и да његове „тактичке и техничке карактеристике превазилазе све сличне системе који постоје у свету”, што је непотврђена тврдња. Заменик генералног директора концерна KRET Игор Насенков додао је да ће нови системи *Rychag-AVM* бити уграђени у транспортне хеликоптере *Mi-8AMTSh* које производи фабрика у Улан-Удеу. Они се разликују од постојећих система *Rychag-AV* који су инсталирани у хеликоптере *Mi-8MTV5-1* произведене у Казању. У пракси, међутим, нема разлике између ових хеликоптера, осим у производном погону.

Алексеј Панин је, такође, најавио да ће серијска производња модерновог система *Rychag-AVM* почети 2017. године, али нема потврде да се то икада догодило. За сада се зна да су хеликоптери *Mi-8MTPR-1*, испоручени војсци почетком 2021. године, били су у стандардној верзији *Rychag-AV*, што сугерише да је систем *Rychag-AVM* бародложен, ако не и напуштен.

Познато је да, поред на модернизацији система *Rychag*, Русија ради на новом хеликоптерском систему електронског ратовања кодног назива *Bosfor-2*. Модел овог хеликоптера представљен је, без додатних објашњења, на Међународном војнотехничком форуму АРМИЈА, у августу


2018. године. На моделу је приказан систем *Bosfor-2* уграђен у *Mi-8AMTSh* из фабрике у Улан-Удеу. Отприлике у исто време, хеликоптер сличног изгледа имао је пробне летове у тестном постројењу корпорације *Russian Helicopters* у Томилину, близу Москве. Ова летелица има бројне антене необичног изгледа испод предњег дела трупа, на бочним странама трупа, као и изнад својих складишних станица.

Систем *Bosfor-2* израдио је Московски научно-истраживачки институт за радиотехнику или *MNIRП*. Овај систем има другачију мисију од система *Rychag*; намењен је да поремети комуникацију и навигационе сигнале непријатеља. Тренутни статус овог програма је нејасан.

Изгубљена битка?

Неизвестан је успех *Mi-8MTPR-1 Rychag* у текућем рату у Украјини. Наиме, доступан је веома мали број извештаја, ако их уопште има, осим видео-снимака са званичних канала Министарства одбране Русије. У једном од њих, саговорник примећује: „Тешко је проценити квалитет нашег рада. Све што знамо је да ако се авиони врате, то значи да смо добро урадили свој посао, био је ефикасан”. Међутим, судећи по континуираним великим губицима који се наносе руској тактичкој и војној авијацији, *Mi-8MTPR-1* се може сматрати генерално неефикасним, бар у смислу шире слике рата у ваздушном простору. Може се рећи да су резултати екстензивног руског електронског рата до сада били веома шаролики. Ако систем *Rychag* пружа користан степен заштите за друге авионе, а можда и трупе на земљи, то се вероватно постиже само на ограниченим секторима бојног поља. С друге стране, има много доказа о руским (и украјинским) тактичким авионима и хеликоптерима који лете на веома малим висинама, како би избегли уништење од стране система противваздухопловне одбране средњег и дугог домета. То их, заузврат, доводи у зоне дејства система противваздухопловне одбране кратког домета, укључујући преносиве ракете и самоходну противавионску артиљерију. Против претњи попут ових, које се обично ослањају на инфрацрвено или чак ручно навођење, *Mi-8MTPR-1* губи вредност. Проблем ће постати само већи уколико Украјина буде добијала модерније западне системе противваздухопловне одбране. Систем *Rychag* се до сада, бар у већини случајева, заиста суочио само са системима из совјетске ере који су добро познати његовим пројектантима. Дакле, мало је вероватно да би се овај систем показао бољим или чак равноправним против напредних западних система.

Како копнени рат постаје све тежи, потреба за обезбеђивањем средстава за сузбијање противваздухопловне одбране вероватно ће постати само већа.

Драган М. Вучковић (*Dragan M. Vučković*),
e-mail: draganvučkovic64@gmail.com,
ORCID iD:  <https://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Потпуна модернизација бомбардера В-52²

Нови компјутерски генерисани приказ компаније *Boeing* нуди увид у изглед флоте бомбардера В-52Н америчког ратног ваздухопловства након што добије низ надоградњи у наредним годинама. Компанија је раније открила да ће следећа итерација *B-52* – која би на крају могла добити ознаку *B-52J* или *B-52K* – садржати приметно веће поткрилне модуле мотора за смештај нових турбовентилаторских мотора *Rolls-Royce F130*. Али, захваљујући новом приказу, може се видети модернији, прерађени стратосферски бомбардер.



Приказ новог бомбардера у часопису *Air & Space Forces Magazine*

Нови мотори су одмах уочљиви, мада су и раније били јавно приказани. У септембру је компанија *Boeing* објавила видео-снимак који садржи приказе модела В-52 у аеротунелу са ревидираним распоредом мотора. На главној годишњој конвенцији Ваздухопловно-космичких снага, одржаној у непосредној близини Вашингтона, истог месеца, била је изложена и макета једног носача мотора са два мотора *F130*.



Макета новог носача мотора у природној величини

² The War Zone October 20 2022

Програм реинжењеринга, који ће такође обухватити низ других интерних промена и додатака, укључујући инсталацију дигиталних система за контролу мотора, једна је од најзначајнијих надоградњи за бомбардер *B-52* у последњих неколико деценија. Замењени су застарели турбовентилаторски мотори *Pratt & Whitney TF33*, који већ дуго нису у производном процесу, новим моторима типа *F130*, што ће утицати на повећање домета авиона, побољшање перформанси на терену и економичности горива, као и на смањење трошкова одржавања, логистике и оптерећења.

Можда је најинтригантније то што се на новом приказу види ревидирани део носа за *B-52* који млазњаку враћа његов класични изглед без додатних уређаја испод носа авиона. Додатне уређаје чинила су два кућишта која су заједно формирала *AN/ASQ-151 Electro-Optical Viewing System (EVS)*, електро-оптички осматрачки систем, при чему је десно кућиште носило *Hughes AN/AAQ-6 forward-looking infrared (FLIR) system*, инфрацрвени осматрачки систем, док је лево садржало *Westinghouse AN/AVQ-22 low-light-level television (LLLTV) system*, осматрачки систем са камером ниске видљивости. Ови уређаји су први пут уграђени седамдесетих година на варијанте *B-52G* и *B-52H*. Њихова главна сврха била је да се помогне посадама да безбедно лете на веома малим висинама, али су заједно имали и секундарне, иако веома ограничене могућности надзора и извиђања.



Системи за лет на малим висинама.

Ови системи на преосталим бомбардерима *B-52H* већ су мање-више замењени, бар на неки начин, модерним подвесним нишанским уређајима – било типа *Lockheed Martin Sniper* или *Northrop Grumman LITENING*, инсталираним на пилонима испод левих крила бомбардера. С друге стране, мисије продора на веома малим висинама знатно су проређене током година након хладног рата.



Подвесни нишански уређај *LITENING* испод крила бомбардера *B-52H*

Америчко ратно ваздухопловство је у прошлости било заинтересовано за потенцијално премештање подвесног осматрачког уређаја на неко друго место. Међутим, чини се да, на основу компјутерског приказа, не постоји било какав измештени или нови сензорски систем који би одговарао овом опису.

Нови делови носа на модификованим бомбардерима такође ће садржати радаре *AN/APG-79* са активним електронским скенирањем (*AESA*), још једну предстојећу надоградњу за ове авионе. Варијанта радара која ће се користити на *B-52* је умањена верзија сета који се налази на авионима *F/A-18E/F Super Hornet* и *EA-18G Growler*, као и на преосталим авионима *F/A-18* моринског корпуса. Радарски систем *AN/APG-79* омогућиће бомбардеру *B-52* знатно бољи радарски домет, побољшану ситуациону свесност, отпорност на противмере и друге могућности. Радар би чак могао да подржи могућности електронског ратовања и комуникације,

а подвесни нишански уређај може бити спојен са радарским системом бомбардера, што би могло помоћи у стицању и идентификацији циљева, укључујући и авионе.

Нови радар, као и елиминација додатних осматрачких уређаја, може довести до великог репрофилисања самог носа *B-52*. Овакво побољшање вероватно би смањило отпор и додатно побољшало ефикасност. На тај начин овакве промене би вратиле авиону изглед који подсећа на ране варијанте *B-52*.



Заобљени нос бомбардера без додатних осматрачких уређаја

Уочљива су нова два избочења на горњој страни авиона, а претпоставља се да се ради о уређајима за сателитске комуникационе системе. Још од 2018. године варијанте *B-52H* требало је да добију унапређене GPS системе и мрежне базе података *Link-16*, као и нове комуникационе уређаје за ниске фреквенције, врло ниске фреквенције и напредне врло високе фреквенције.

FOR OFFICIAL USE ONLY

B-52H Activity

U.S. AIR FORCE

Production Programs:

CONNECT (ACAT II)
IOC: FY16 FOC: FY21

1760 RWBU 1.1/1.2 (ACAT II)
IOC: FY16 FOC: FY20

Anti-Skid (ACAT III)
IOC: FY17 FOC: FY19

MOD S/S IFF (ACAT III)
IOC: FY17 FOC: FY19

Modernization Programs:

GPS-IU (ACAT III): In-TMRR
FY16 New Start: IOC: FY21 FOC: FY24

RMP (ACAT IB): ASP Complete
FY17 New Start: IOC: FY25 FOC: FY29

WST-A/R (ACAT III): Acq Planning
FY17 New Start: IOC/FOC: TBD

Link-16 (ACAT III): In-EMD
FY17 New Start: IOC: FY21 FOC: FY23

Crypto Mod (ACAT III): ASP Complete
FY17 New Start: IOC: FY20 FOC: FY23

Modernization Programs (Con't):

CERP (ACAT IB): MDD Complete
FY18 New Start: IOC/FOC: TBD

IR UON (ACAT III): Acq Planning
FY18 New Start: IOC/FOC: TBD

ADS-B Out (ACAT III): ASP Complete
FY18 New Start: IOC: FY21 FOC: FY23

VLF/LF (ACAT III): Acq Planning
FY19 New Start: IOC: FY22 FOC: FY24

AEMP (ACAT III): Acq Planning
FY19 New Start: IOC: FY25 FOC: FY29

ATP MFCD (ACAT III): Acq Planning
FY19 New Start: IOC/OC: TBD

Potential Future Efforts:

B-52J Model

Defensive Systems Mod

Avionics Modernization

Crash Survivable FDR

Weapons System Trainer

ATP Relocation

Ejection Seat

Weapons Demonstrations:

LR50: FY15 and beyond

Tactical Boost Guide: FY16-FY19

Quick Strike J: FY16-FY21

Special Weapon Integration: FY16-FY21

Min Air-Launched Decoy: FY17-FY19

Air-Launched RRW: FY17-21

Hypersonic Air-Breathing WC: FY17-FY20

Hypersonic Conv. Strike W: FY17-FY22

Sustainment Activity:

Organic PDM 35K truck

Organic Field Support

S/W Blocks six month cycle

Def Sys LRU Upgrade

Wheel & Brake Realign

B5B-07 New Moving Map

HEMP Test

GLBS/ATIDs: 2016

Video Repeater: 2016

ATAK: 2017

As of 16 Jul 2018

Планиране и потенцијалне модернизације бомбардера

Из приказа није јасно да ли су стубови испод крила, којима недостају детаљи намењени да одражавају одређени дизајн или су једноставно чувари места. Место испод десног крила, што није јасно видљиво, може бити намењено за смештај велике ракете, као што је хиперсонична ракета *AGM-183 Air-Launched Rapid Response Weapon (ARRW)*. У америчком ратном ваздухопловству раније се говорило о набавци нових стубова за подвесни терет са већим капацитетом оптерећења, а компанија *Boeing* је радила на дизајну подвесног носача капацитета 9.070 кг, ознаке *Hercules*.

Бомбардери *B-52* такође ће добити различите унутрашње надоградње и модификације, поред оних које су директно повезане са радом мотора. Приказан је побољшани изглед кокпита. Најзначајнија промена јесте замена старог система са великим низом бројчаника „паромера” на централном панелу са два велика дигитална мултифункционална дисплеја. Два додатна мања дигитална дисплеја инсталирана су са обе стране испред пилота и копилота.

Остала побољшања у кокпиту укључују „хибридни механички-дигитални систем додавања снаге моторима, нове јединице за концентраторе података (2к), нови рекордер одржавања грешака мотора, нови систем података о моторима (и) модификоване системске панеле, као


и структурна, електрична, пнеуматска и хидраулична ажурирања повезана са овим напором модернизације”.

Такође, постоје планови да се интегрише нови пакет за електронско ратовање на авиону *B-52* како би се побољшале њихове одбрамбене и ситуационе способности.

Бомбардери *B-52H* требало би да буду значајно модификовани у наредним годинама како би се одржали у оперативној служби до 2050. године (а вероватно и даље), што значи да ће бити у служби скоро 80 године. Поред разних модификација самог авиона, америчко ратно ваздухопловство планира да свом арсеналу дода низ нових оружја, укључујући и хиперсоничне ракете. Бомбардери ће вероватно имати додатне мање надоградње и побољшања како се проширила функционалност постојећих система и у наредним деценијама.

Значајна природа измена значи да америчко ратно ваздухопловство такође настоји да формално промени њихову номенклатуру. То би произвело прву нову ознаку у линији *B-52* од варијанте *H* раних 60-их година. Авиони *B-52 H*, од којих су последњи сишли са Боингове производне линије 1962. године, били су засновани на претходном моделу *B-52G*, али су тада имали нове *TF33* моторе и друга побољшања. *H* модели су били последњи авиони *B-52* нове производње.

Америчко ратно ваздухопловство још увек није сигурно када и како ће преименовати преостале авионе *B-52* када почну да добијају различите надоградње. Очекује се да ће додавање радара *AN/APG-79* захтевати велике промене у постојећим приручницима за руковање и одржавање, што би одмах могло да изазове потребу за новом ознаком, вероватно *B-52J*. Међутим, очекује се да ће бомбардери са новим радарима почети да се враћају у службу пре него што било који од њих добије надоградњу мотора, што би онда, на сличан начин, могло захтевати ново редизајнирање. Ако се то догоди, коначна надограђена конфигурација могла би се назвати *B-52K*. Без обзира на све, авиони *B-52H* америчког ратног ваздухопловства, од којих су најмлађи у употреби већ 60 година, спремни су за нови изглед пошто добију своју најзначајнију надоградњу.

Драган М. Вучковић (*Dragan M. Vučković*),
e-mail: draganvuckovic64@gmail.com,
ORCID iD:  <https://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Нулти прототип XM1299³

Високи амерички војни званичници окупили су се на полигону Јума у Аризони, у септембру 2020. године, на демонстрацији завршнице пројекта Project Convergence 2020. Догађај је требало да покаже способност употребе вештачке интелигенције и повезивања нове технологије сензор-стрелац како би се, поред осталих циљева, смањио циклус доношења одлука са 20 минута на 20 секунди. Други циљ био је тестирање новог оружја, чији је средишњи део био нови напор артиљерије повећаног домета (*Extended Range Cannon Artillery (ERCA)*), који укључује нулти прототип XM1299, заснован на самоходној хаубици *Paladin M109A7* компаније *BAE Systems*..

Модификовано оружје има цев од 9,1 м пројектовану да испалјује гранате калибра 58 (155 мм) на даљину до 70 км. Оружје користи „напуњено” гориво за испаливање постојећих и будућих граната као што су *M982 Excalibur*, *XM1113 Rocket-Assisted Projectile* и *XM1155 Extended Range Artillery Projectile*

Међутим, изазов са којим се програм суочава јесте да обезбеди да гранате не деградирају топовску цев. Да би решила тај проблем, војска тражи алтернативна решења за „ротирајући појас”.

Овај део цеви, који се назива и „покретна трака”, јесте мекани комад метала близу дна гранате и често се израђује од позлаћеног метала, бакра или олова. Сваки пут када се испали граната притисак потисног горива гура


³ Janes defence international December 2020

метал у нарезе цеви па се формира заптивка која спречава да гасови прођу поред пројектила. На тај начин долази до окретања пројектила дуж цеви и његове стабилизације. Дужи топ повећаног домета пројектован је тако да достигне већи домет, али је потребно наћи решења за спречавање оштећења цеви.

Познати су подаци о издржљивости ротирајуће траке и хабању цеви које је потребно избећи у будућности. Потребно је побољшати ротирајућу траку тако да не смањује животни век цеви хаубице, а повећање брзине паљбе је још једна препрека.

Америчка војска има за циљ да смањи посаду хаубице и убрза брзину паљбе на 6 до 10 граната/мин. Да би се то постигло, предвиђено је постављање платформе са аутоматским пуњачем капацитета 31 гранате. Међутим, тежина је ометала мобилност платформе, а откривени су и нови проблеми, јер се након пређених 4 500 км испоставило да постоје потешкоће са мобилношћу и издржљивошћу, али и центром гравитације.

С обзиром на уочене проблеме, америчка војска сада тражи верзију хаубице која ће садржати само 23 до 24 гранате у аутоматском пуњачу. Међутим, и поред засада нерешеног проблема тежине аутоматског пуњача још увек није решена ни брзина гађања.

Драган М. Вучковић (Dragan M. Vučković),
e-mail: draganvuckovic64@gmail.com,
ORCID iD:  <https://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА

ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИЈА ДЛЈА АВТОРОВ РАБОТ

CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА О НАЧИНУ ПРИПРЕМЕ ЧЛАНКА

Упутство ауторима о начину припреме чланка за објављивање у *Војнотехничком гласнику* урађено је на основу Правилника о категоризацији и рангирању научних часописа Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије ("Службени гласник РС", број 159/20). Примена овог Правилника првенствено служи унапређењу квалитета домаћих часописа и њиховог потпунијег укључивања у међународни систем размене научних информација.

Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (втг.мо.упр.срб, www.vtg.mod.gov.rs, ISSN 0042-8469 – штампано издање, e-ISSN 2217-4753 – online, UDC 623+355/359, DOI: 10.5937/VojnotehnickiGlasnik; <https://doi.org/10.5937/VojnotehnickiGlasnik>), јесте рецензирани научни часопис.

Власници часописа су Министарство одбране Републике Србије и Војска Србије. Издавач и финансијер часописа је Универзитет одбране у Београду (Војна академија).

Програмска оријентација часописа заснива се на годишњој категоризацији часописа, коју врши надлежно државно министарство у одређеним областима, као и на његовом индексирању у међународним индексним базама.

Часопис обухвата научне, односно стручне области у оквиру образовно-научног поља **природно-математичких наука**, као и у оквиру образовно-научног поља **техничко-технолошких наука**, а нарочито области **одбрамбених наука и технологија**. Објављује теоријска и практична достигнућа која доприносе усавршавању свих припадника српске, регионалне и међународне академске заједнице, а посебно припадника војски и министарстава одбране. Публикује радове са уравнотеженим извештавањем о аналитичким, експерименталним и примењеним истраживањима, као и нумеричким симулацијама, обухватајући различите дисциплине. Објављени материјали су високог квалитета и релевантности, написани на начин који их чини доступним широкој читалачкој публици. Сви радови који извештавају о оригиналним теоријским и/или практично оријентисаним истраживањима или проширеним верзијама већ објављених радова са конференција су добродошли. Радови за објављивање одабиру се двоструко слепим поступком рецензије како би се осигурала оригиналност, релевантност и читљивост. Притом циљ није само да се квалитет објављених радова одржи високим већ и да се обезбеди правовремени, темељни и уравнотежени поступак рецензије.

Уређивачка политика *Војнотехничког гласника* заснива се на препорукама Одбора за етичност у издаваштву (COPE Core Practices) и заједничким принципима транспарентности и најбоље праксе у издаваштву COPE, DOAJ, OASPA и WAME, као и на најбољим прихваћеним праксама у научном издаваштву. *Војнотехнички гласник* је члан COPE (Committee on Publication Ethics) од 2. маја 2018. године и члан OASPA (Open Access Scholarly Publishers Association) од од 27. новембра 2015. године.

Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије утврдило је дана 25. 10. 2022. године категоризацију *Војнотехничког гласника*, за 2022. годину:

- на листи часописа за рачунарске науке:
категирија врхунски часопис националног значаја (M51),
- на листи часописа за електронику, телекомуникације и информационе технологије:
категирија врхунски часопис националног значаја (M51),
- на листи часописа за машинство:
категирија врхунски часопис националног значаја (M51),
- на листи часописа за материјале и хемијске технологије:
категирија врхунски часопис националног значаја (M51).

Усвојене листе домаћих часописа за 2022. годину могу се видети на сајту *Војнотехничког гласника*, страница *Категоризација часописа*.

Детаљније информације могу се пронаћи и на сајту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Подаци о категоризацији могу се пратити и на сајту КОБСОН-а (Конзорцијум библиотека Србије за обједињену набавку).

Категоризација часописа извршена је према Правилнику о категоризацији и рангирању научних часописа Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије ("Службени гласник РС", број 159/20).

Часопис се прати у контексту Српског цитатног индекса – СЦиндекс (база података домаћих научних часописа), Научно-информационог система Redalys и Руског индекса научног цитирања (РИНЦ). Подвргнут је сталном вредновању (мониторингу) у зависности од утицајности (импакта) у самим базама. Детаљи о индексирању могу се видети на сајту *Војнотехничког гласника*, страница *Индексирање часописа*.

Војнотехнички гласник омогућава и примењује Creative Commons (CC BY) одредбе о ауторским правима. Детаљи о ауторским правима могу се видети на сајту часописа, страница *Ауторска права и политика самоархивирања*.

Радови се предају путем онлајн система за електронско уређивање АСИСТЕНТ, који је развио Центар за евалуацију у образовању и науци (ЦЕОН).

Приступ и регистрација за сервис врше се на сајту www.vtg.mod.gov.rs, преко странице АСИСТЕНТ или СЦИНДЕКС, односно директно на линку aseestant.ceon.rs/index.php/vtg.

Детаљно упутство о регистрацији и пријави за сервис налази се на сајту www.vtg.mod.gov.rs, страница *Упутство за АСИСТЕНТ*.

Потребно је да се сви аутори који подносе рукопис за објављивање у *Војнотехничком гласнику* региструју у регистар ORCID (Open Researcher and Contributor ID), према упутству на страници сајта *Регистрација за добијање ORCID идентификационе шифре*.

Војнотехнички гласник објављује чланке на енглеском језику (arial, величина слова 11 pt, проред Single).

Поступак припреме, писања и уређивања чланка треба да буде у сагласности са *Изјавом о етичком поступању* (<http://www.vtg.mod.gov.rs/izjava-o-etickom-postupanju.html>).

Чланак треба да садржи сажетак са кључним речима, увод (мотивацију за рад), разраду (адекватан преглед репрезентативности рада у његовој области, јасну изјаву о новини у представљеном истраживању, одговарајућу теоријску позадину, један или више примера за демонстрирање и дискусију о представљеним

идејама), закључак и литературу (без нумерације наслова и поднаслова). Обим чланка треба да буде до једног ауторског табака (16 страница формата А4 са проредом Single), а највише 24 странице.

Чланак треба да буде написан на обрасцу за писање чланка, који се у електронској форми може преузети са сајта на страници *Образац за писање чланка*.

Наслов

Наслов треба да одражава тему чланка. У интересу је часописа и аутора да се користе речи прикладне за индексирање и претраживање. Ако таквих речи нема у наслову, пожељно је да се придода и поднаслов.

Текући наслов

Текући наслов се испишује са стране сваке странице чланка ради лакше идентификације, посебно копија чланака у електронском облику. Садржи презиме и иницијал имена аутора (ако аутора има више, преостали се означавају са „et al.“ или „и др.“), наслове рада и часописа и колацију (година, волумен, свеска, почетна и завршна страница). Наслови часописа и чланка могу се дати у скраћеном облику.

Име аутора

Наводи се пуно име и презиме (свих) аутора. Веома је пожељно да се наведу и средња слова аутора. Имена и презимена домаћих аутора увек се испишују у оригиналном облику (са српским дијакритичким знаковима), независно од језика на којем је написан рад.

Назив установе аутора (афилијација)

Наводи се пун (званични) назив и седиште установе у којој је аутор запослен, а евентуално и назив установе у којој је аутор обавио истраживање. У сложеним организацијама наводи се укупна хијерархија (нпр. Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Катедра природно-математичких наука). Бар једна организација у хијерархији мора бити правно лице. Ако аутора има више, а неки потичу из исте установе, мора се, посебним ознакама или на други начин, назначити из које од наведених установа потиче сваки од наведених аутора. Афилијација се испишује непосредно након имена аутора. Функција и звање аутора се не наводе.

Контакт подаци

Адреса или е-адреса свих аутора даје се поред имена и презимена аутора.

Категорија (тип) чланка

Категоризација чланака обавеза је уредништва и од посебне је важности. Категорију чланка могу предлагати рецензенти и чланови уредништва, односно уредници рубрика, али одговорност за категоризацију сноси искључиво главни уредник.

Чланци у *Војнотехничком гласнику* класификују се на научне и стручне чланке.

Научни чланак је:

- оригиналан научни рад (рад у којем се износе претходно необјављени резултати сопствених истраживања научним методом);
- прегледни рад (рад који садржи оригиналан, детаљан и критички приказ истраживачког проблема или подручја у којем је аутор остварио одређени допринос, видљив на основу аутоцитата);

– кратко или претходно саопштење (оригинални научни рад пуног формата, али мањег обима или прелиминарног карактера);

– научна критика, односно полемика (расправа на одређену научну тему, заснована искључиво на научној аргументацији) и осврти.

Изузетно, у неким областима, научни рад у часопису може имати облик монографске студије, као и критичког издања научне грађе (историјско-архивске, лексикографске, библиографске, прегледа података и сл.), дотад непознате или недовољно приступачне за научна истраживања.

Радови класификовани као научни морају имати бар две позитивне рецензије.

Ако се у часопису објављују и прилози ваннаучног карактера, научни чланци треба да буду груписани и јасно издвојени у првом делу свеске.

Стручни чланак је:

– стручни рад (прилог у којем се нуде искуства корисна за унапређење професионалне праксе, али која нису нужно заснована на научном методу);

– информативни прилог (уводник, коментар и сл.);

– приказ (књиге, рачунарског програма, случаја, научног догађаја, и сл).

Пожељно је да обим кратких саопштења буде 4 до 7 страница, научних чланака и студија случаја 10 до 14 страница, док прегледни радови могу бити и дужи. Број страница није строго ограничен и, уз одговарајуће образложење, пријављени чланци такође могу бити дужи или краћи.

Ако су радови који су претходно објављени на конференцији проширени, уредници ће проверити да ли је додато довољно новог материјала који испуњава стандарде часописа и квалификује поднесак за поступак рецензије. Додати материјал не сме бити претходно објављен. Нови резултати нису нужно потребни, али су пожељни. Међутим, поднесак треба да садржи проширене кључне идеје, примере, разраде, итд., који су претходно били садржани у поднеску са конференције.

Језик рада

Језик рада треба да буде енглески.

Текст мора бити језички и стилски дотеран, систематизован, без скраћеница (осим стандардних). Све физичке величине морају бити изражене у Међународном систему мерних јединица – SI. Редослед образаца (формула) означава се редним бројевима, са десне стране у округлим заградама.

Сажетак

Сажетак јесте кратак информативан приказ садржаја чланка који читаоцу омогућава да брзо и тачно оцени његову релевантност. У интересу је уредништава и аутора да сажетак садржи термине који се често користе за индексирање и претрагу чланака. Саставни делови сажетка су увод/циљ истраживања, методи, резултати и закључак. Сажетак треба да има од 100 до 250 речи и треба да се налази између заглавља (наслов, имена аутора и др.) и кључних речи, након којих следи текст чланка.

Кључне речи

Кључне речи су термини или фразе које адекватно представљају садржај чланка за потребе индексирања и претраживања. Треба их доделивати ослањајући се на неки међународни извор (попис, речник или тезаурус) који је најшире прихваћен или унутар дате научне области. За нпр. науку уопште, то је листа кључних речи Web of Science. Број кључних речи не може бити већи од 10, а у

интересу је уредништва и аутора да учесталост њихове употребе буде што већа. У чланку се пишу непосредно након сажетка.

Систем АСИСТЕНТ у ту сврху користи специјалну алатку KWASS: аутоматско екстраховање кључних речи из дисциплинарних тезауруса/речника по избору и рутине за њихов одабир, тј. прихватање односно одбацавање од стране аутора и/или уредника.

Датум прихватања чланка

Датум када је уредништво примило чланак, датум када је уредништво коначно прихватило чланак за објављивање, као и датуми када су у међувремену достављене евентуалне исправке рукописа наводе се хронолошким редоследом, на сталном месту, по правилу на крају чланка.

Захвалница

Назив и број пројекта, односно назив програма у оквиру којег је чланак настао, као и назив институције која је финансирала пројекат или програм, наводи се у посебној напомени на сталном месту, по правилу при дну прве стране чланка.

Претходне верзије рада

Ако је чланак у претходној верзији био изложен на скупу у виду усменог саопштења (под истим или сличним насловом), податак о томе треба да буде наведен у посебној напомени, по правилу при дну прве стране чланка. Рад који је већ објављен у неком часопису не може се објавити у *Војнотехничком гласнику* (прештампати), ни под сличним насловом и измењеном облику.

Табеларни и графички прикази

Пожељно је да наслови свих приказа, а по могућству и текстуални садржај, буду дати двојезично, на језику рада и на енглеском језику.

Табеле се пишу на исти начин као и текст, а означавају се редним бројевима са горње стране. Фотографије и цртежи треба да буду јасни, прегледни и погодни за репродукцију. Цртеже треба радити у програму word или corel. Фотографије и цртеже треба поставити на жељено место у тексту.

За слике и графиконе не сме се користити снимак са екрана рачунара програма за прикупљање података. У самом тексту чланка препоручује се употреба слика и графикона непосредно из програма за анализу података (као што су Excel, Matlab, Origin, SigmaPlot и други).

Навођење (цитирање) у тексту

Начин позивања на изворе у оквиру чланка мора бити једнообразан.

Војнотехнички гласник за референцирање (цитирање и навођење литературе) примењује Харвардски систем референци, односно Харвардски приручник за стил (Harvard Referencing System, Harvard Style Manual). У самом тексту, у обичним заградама, на месту на којем се врши позивање, односно цитирање литературе набројане на крају чланка, обавезно у обичној загради написати презиме цитираног аутора, годину издања публикације из које цитирате и, евентуално, број страница. Нпр. (Petrović, 2012, pp.10–12).

Детаљно упутство о начину цитирања, са примерима, дато је на страници сајта *Упутство за Харвардски приручник за стил*. Потребно је да се позивање на литературу у тексту уради у складу са поменутиим упутством.

Систем АСИСТЕНТ у сврху контроле навођења (цитирања) у тексту користи специјалну алатку CiteMatcher: откривање изостављених цитата у тексту рада и у попису референци.

Напомене (фусноте)

Напомене се дају при дну стране на којој се налази текст на који се односе. Могу садржати мање важне детаље, допунска објашњења, назнаке о коришћеним изворима (на пример, научној грађи, приручницима), али не могу бити замена за цитирану литературу.

Листа референци (литература)

Цитирана литература обухвата, по правилу, библиографске изворе (чланке, монографије и сл.) и даје се искључиво у засебном одељку чланка, у виду листе референци. Референце се не преводe на језик рада и набрајају се у посебном одељку на крају чланка.

Војнотехнички гласник, као начин исписа литературе, примењује Харвардски систем референци, односно Харвардски приручник за стил (Harvard Referencing System, Harvard Style Manual).

Литература се обавезно пише на латиничном писму и набраја по абецедном редоследу, наводећи најпре презимена аутора, без нумерације.

Детаљно упутство о начину пописа референци, са примерима, дато је на страници сајта *Упутство за Харвардски приручник за стил*. Потребно је да се попис литературе на крају чланка уради у складу са поменутиим упутством.

Нестандардно, непотпуно или недоследно навођење литературе у системима вредновања часописа сматра се довољним разлогом за оспоравање научног статуса часописа.

Систем АСИСТЕНТ у сврху контроле правилног исписа листе референци користи специјалну алатку RefFormatter: контрола обликовања референци у складу са Харвардским приручником за стил.

Изјава о ауторству

Поред чланка доставља се *Изјава о ауторству* у којој аутори наводе свој појединачни допринос у изради чланка. Такође, у тој изјави потврђују да су чланак урадили у складу са *Позивом и упутством ауторима* и *Изјавом о етичком поступању часописа*.

Сви радови подлежу стручној рецензији.

Списак рецензената *Војнотехничког гласника* може се видети на страници сајта *Списак рецензената*. Процес рецензирања објашњен је на страници сајта *Рецензентски поступак*.

Уредништво

Адреса редакције:
Војнотехнички гласник
Вељка Лукића Курјака 33
11042 Београд
e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.
тел: војни 40-260 (011/3603-260), 066/8700-123

ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ О ПОРЯДКЕ ПОДГОТОВКИ СТАТЬИ

Инструкция для авторов о порядке подготовки статьи к опубликованию в журнале «Военно-технический вестник» разработана согласно Регламенту о категоризации и ранжировании научных журналов Министерства образования, науки и технологического развития Республики Сербия («Службени гласник РС», № 159/20). Применение этого Регламента способствует повышению качества отечественных журналов и их более полному вовлечению в международную систему обмена научной информацией.

Военно-технический вестник (Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier), втг.мо.упр.срб, www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html, ISSN 0042-8469 – печатное издание, e-ISSN 2217-4753 – online, UDK 623+355/359, DOI: 10.5937/VojnotehnickiGlasnik; <https://doi.org/10.5937/VojnotehnickiGlasnik>, является рецензируемым научным журналом.

Собственники журнала: Министерство обороны и Вооруженные силы Республики Сербия.

Издатель журнала: Университет обороны в г. Белград (Военная академия).

Программная ориентация журнала основана на ежегодной категоризации журнала, которая производится соответствующим отраслевым министерством, в зависимости от области исследований, а также на его индексировании в международных наукометрических базах данных.

Журнал охватывает научные и профессиональные сферы в рамках учебно-научной области **естественно-математических наук**, а также в рамках учебно-научной области **техничко-технологических наук**, особенно в области **оборонных наук и технологий**. В журнале публикуются теоретические и практические достижения, которые способствуют повышению квалификации представителей сербского, регионального и международного академического сообщества, особенно служащих Министерств Обороны и Вооружённых сил. В журнале публикуются статьи со соответствующими обзорами об аналитических, экспериментальных и прикладных исследованиях, а также о численном моделировании, охватывая различные дисциплины. Публикуемые материалы отличаются высоким качеством и актуальностью. Они написаны научным, но понятным и доступным для широкого круга читателей языком. Приветствуются все статьи, сообщающие об оригинальных теоретических и/или практических исследованиях и/или расширенные версии ранее опубликованных статей, представленных на конференциях. Статьи для публикации отбираются путем двойного слепого рецензирования, которое гарантирует оригинальность, актуальность и удобочитаемость. Цель состоит не только в поддержании высокого качества публикуемых статей, но и в обеспечении своевременного, тщательного и соответствующего процесса рецензирования.

Редакционная политика журнала «Военно-технический вестник» основана на рекомендациях Комитета по этике научных публикаций (COPE Core Practices), общих принципах прозрачности и лучшей практике издательской деятельности COPE, DOAJ, OASPA и WAME, а также на лучшей практике научно-издательской деятельности. Журнал «Военно-технический вестник» является членом COPE (Комитет по этике научных публикаций) со 2 мая 2018 года и членом OASPA (Ассоциация научных издателей открытого доступа) с 27 ноября 2015 года.

Министерством образования, науки и технологического развития Республики Сербия утверждена 25 октября 2022 г. категоризация журнала «Военно-технический вестник» за 2022 год:

- **Область компьютерные науки:**
ведущий журнал государственного значения (M51),
- **Область электроники, телекоммуникаций и информационных технологий:**
ведущий журнал государственного значения (M51),
- **Область машиностроения:**
ведущий журнал государственного значения (M51),
- **Область материалов и химической технологии:**
ведущий журнал государственного значения (M51).

С информацией относительно категоризации за 2022 год можно ознакомиться на странице сайта «Военно-технического вестника» *Категоризация Вестника*.

Более подробную информацию можно найти на сайте Министерства образования, науки и технологического развития Республики Сербия.

С информацией о категоризации можно ознакомиться и на сайте КОБСОН (Консорциум библиотек Республики Сербия по вопросам объединения закупок).

Категоризация Вестника проведена согласно Регламенту о категоризации и ранжировании научных журналов Министерства образования, науки и технологического развития Республики Сербия («Службени гласник РС», № 159/20)

Журнал соответствует стандартам Сербского индекса научного цитирования (СЦИндекс/SCIndex) - наукометрической базы данных научных журналов Республики Сербия, Научно-информационного система Redalyc, а также Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Журнал постоянно подвергается мониторингу и оценивается количественными наукометрическими показателями отражающими его научную ценность.

С информацией об индексировании можно ознакомиться на странице сайта журнала *Индексирование Вестника*.

«Военно-технический вестник» обеспечивает читателям возможность открытого доступа, в соответствии с положениями об авторских правах, утверждёнными Creative Commons (CC BY). С инструкцией об авторских правах можно ознакомиться на странице *Авторские права и политика самоархивирования*, перейдя по ссылке <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html>.

Рукописи статей направляются в редакцию журнала с использованием online системы ASSISTANT, запущенной Центром поддержки развития образования и науки (ЦПРОН). Регистрация в системе и оформление прав доступа выполняется по адресу <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html>, через страницу ASSISTANT или СЦИНДЕКС (aseestant.ceon.rs/index.php/vtg). С инструкцией по регистрации и правам доступа можно ознакомиться по адресу <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html>, на странице *Инструкция по ASSISTANT*.

Все авторы, предоставляющие свои рукописи для публикации в редакцию журнала «Военно-технический вестник» должны пройти предварительную регистрацию в реестре ORCID (Open Researcher and Contributor ID). Эта процедура осуществляется в соответствии с инструкцией, размещенной на странице сайта *Регистрация в реестре ORCID для присвоения идентификационного кода*.

«Военно-технический вестник» публикует статьи на английском языке (Arial, шрифт 11 pt, пробел Single). Процесс подготовки, написания и редактирования статьи

должен осуществляться в соответствии с принципами *Этического кодекса* (<http://www.vtg.mod.gov.rs/eticheskiy-kodyeks.html>). Статья должна содержать резюме с ключевыми словами, введение (цель исследования), основную часть (соответствующий обзор представительного исследования в данной области, четкое изложение научной новизны в представленном исследовании, соответствующую теоретическую основу, один или несколько примеров для демонстрации и обсуждения представленных тезисов), заключение и список литературы (без нумерации заголовков и подзаголовков). Объем статьи не должен превышать один авторский лист (16 страниц формата А4 с одинарным интервалом, максимум до 24 страниц, включая ссылки и приложения). Статья должна быть набрана на компьютере с использованием специально подготовленного редакцией макета, который можно скачать на странице сайта *Правила и образец составления статьи*.

Заголовок

Заголовок должен отражать тему статьи. В интересах журнала и автора необходимо использовать слова и словосочетания, удобные для индексации и поиска. Если такие слова не содержатся в заголовке, то желательно их добавить в подзаголовок.

Текущий заголовок

Текущий заголовок пишется в титуле каждой страницы статьи с целью упрощения процесса идентификации, в первую очередь копий статьей в электронном виде. Заголовок содержит в себе фамилию и инициал имени автора (в случае если авторов несколько, остальные обозначаются с «et al.» или «и др.»), название работы и журнала (год, том, выпуск, начальная и заключительная страница). Заголовок статьи и название журнала могут быть приведены в сокращенном виде.

ФИО автора

Приводятся полная фамилия и полное имя (всех) авторов. Желательно, чтобы были указаны инициалы отчеств авторов. Фамилия и имя авторов из Республики Сербия всегда пишутся в оригинальном виде (с сербскими диакритическими знаками), независимо от языка, на котором написана работа.

Наименование учреждения автора (аффилиация)

Приводится полное (официальное) наименование и местонахождение учреждения, в котором работает автор, а также наименование учреждения, в котором автор провёл исследование. В случае организаций со сложной структурой приводится их иерархическая соподчинённость (напр. Военная академия, кафедра военных электронных систем, г. Белград). По крайней мере, одна из организаций в иерархии должна иметь статус юридического лица. В случае если указано несколько авторов, и если некоторые из них работают в одном учреждении, нужно отдельными обозначениями или каким-либо другим способом указать в каком из приведённых учреждений работает каждый из авторов. Аффилиация пишется непосредственно после ФИО автора. Должность и специальность по диплому не указываются.

Контактные данные

Электронный адрес автора указывается рядом с его именем на первой странице статьи.

Категория (тип) статьи

Категоризация статьей является обязанностью редакции и имеет особое значение. Категорию статьи могут предлагать рецензенты и члены редакции, т.е.

редакторы рубрик, но ответственность за категоризацию несет исключительно главный редактор. Статьи в журнале распределяются по следующим категориям:

Научные статьи:

– оригинальная научная статья (работа, в которой приводятся ранее неопубликованные результаты собственных исследований, полученных научным методом);

– обзорная статья (работа, содержащая оригинальный, детальный и критический обзор исследуемой проблемы или области, в который автор внёс определённый вклад, видимый на основе автоцитат);

– краткое сообщение (оригинальная научная работа полного формата, но меньшего объёма или имеющая предварительный характер);

– научная критическая статья (дискуссия-полемика на определённую научную тему, основанная исключительно на научной аргументации) и научный комментарий.

Однако, в некоторых областях знаний научная работа в журнале может иметь форму монографического исследования, а также критического обсуждения научного материала (историко-архивного, лексикографического, библиографического, обзора данных и т.п.) – до сих пор неизвестного или недостаточно доступного для научных исследований. Работы, классифицированные в качестве научных, должны иметь, по меньшей мере, две положительные рецензии. В случае если в журнале объявляются и приложения, не имеющие научный характер, научные статьи должны быть сгруппированы и четко выделены в первой части номера.

Профессиональные статьи:

– профессиональная работа (приложения, в которых предлагаются опыты, полезные для совершенствования профессиональной практики, но которые не должны в обязательном порядке быть обоснованы на научном методе);

– информативное приложение (передовая статья, комментарий и т.п.);

– обзор (книги, компьютерной программы, случая, научного события и т.п.).

Объем кратких сообщений составляет 4-7 страниц, исследовательские статьи и тематические исследования с проблемно-ситуационным анализом – 10-14 страниц, однако объем обзорных статей может быть больше. Ограничения по количеству страниц не являются строгими, следовательно при соответствующем обосновании предоставленные работы могут быть длиннее или короче. В случае подачи расширенных версий ранее опубликованных докладов, представленных на конференции, редакция проверит было ли добавлено достаточно новых материалов для того, чтобы статья соответствовала стандартам журнала и условиям рецензирования. Добавленный материал должен быть новым, неопубликованным ранее. Новые результаты приветствуются, но не являются обязательным условием; однако ключевые тезисы, примеры, разработки и пр. должны быть более подробно представлены в статье по сравнению с первичным докладом на конференции.

Язык работы

Статья должна быть написана на английском языке. Текст должен быть в лингвистическом и стилистическом смысле упорядочен, систематизирован, без сокращений (за исключением стандартных). Все физические величины должны соответствовать Международной системе единиц измерения – СИ. Очередность формул обозначается порядковыми номерами, проставляемыми с правой стороны в круглых скобках.

Резюме

Резюме является кратким информативным обзором содержания статьи, обеспечивающим читателю быстроту и точность оценки её релевантности. В интересах редакции и авторов, чтобы резюме содержало термины, часто используемые для индексирования и поиска статьей. Составными частями резюме являются введение/цель исследования, методы, результаты и выводы. В резюме должно быть от 100 до 250 слов, и оно должно находиться между титулами (заголовков, ФИО авторов и др.) и ключевыми словами, за которыми следует текст статьи.

Ключевые слова

Ключевыми словами являются термины или фразы, адекватно представляющие содержание статьи, необходимые для индексирования и поиска. Ключевые слова необходимо выбирать, опираясь при этом на какой-либо международный источник (регистр, словарь, тезаурус), наиболее используемый внутри данной научной области. Число ключевых слов не может превышать 10. В интересах редакции и авторов, чтобы частота их встречи в статье была как можно большей. В статье они пишутся непосредственно после резюме.

Программа ASSISTANT предоставляет возможность использования сервиса KWASS, автоматически фиксирующего ключевые слова из источников/словарей по выбору автора/редактора.

Дата получения статьи

Дата, когда редакция получила статью; дата, когда редакция окончательно приняла статью к публикации; а также дата, когда были предоставлены необходимые исправления рукописи, приводятся в хронологическом порядке, как правило, в конце статьи.

Выражение благодарности

Наименование и номер проекта, т.е. название программы благодаря которой статья возникла, совместно с наименованием учреждения, которое финансировало проект или программу, приводятся в отдельном примечании, как правило, внизу первой страницы статьи.

Предыдущие версии работы

В случае если статья в предыдущей версии была изложена устно (под одинаковым или похожим названием, например, в виде доклада на научной конференции), сведения об этом должны быть указаны в отдельном примечании, как правило, внизу первой страницы статьи. Работа, которая уже была опубликована в каком-либо из журналов, не может быть напечатана в «Военно-техническом вестнике» ни под похожим названием, ни в изменённом виде.

Нумерация и название таблиц и графиков

Желательно, чтобы нумерация и название таблиц и графиков были исполнены на двух языках (на языке оригинала и на английском). Таблицы подписываются таким же способом как и текст и обозначаются порядковым номером с верхней стороны. Фотографии и рисунки должны быть понятны, наглядны и удобны для репродукции. Рисунки необходимо делать в программах Word или Corel. Фотографии и рисунки надо поставить на желаемое место в тексте. Для создания изображений и графиков использование функции снимка с экрана (скриншота) не допускается. В самом тексте статьи рекомендуется применение изображений и графиков, обработанных такими компьютерными программами, как: Excel, Matlab, Origin, SigmaPlot и др.

Ссылки (цитирование) в тексте

Оформление ссылок на источники в рамках статьи должно быть однообразным. «Военно-технический вестник» для оформления ссылок, цитат и списка использованной литературы применяет Гарвардскую систему (Harvard Referencing System, Harvard Style Manual). В тексте в скобках приводится фамилия цитируемого автора (или фамилия первого автора, если авторов несколько), год издания и по необходимости номер страницы. Например: (Petrović, 2010, pp.10-20). Рекомендации о способе цитирования размещены на странице сайта *Инструкция по использованию Гарвардского стиля*. При оформлении ссылок, цитат и списка использованной литературы необходимо придерживаться установленных норм. Программа ASSISTANT предоставляет при цитировании возможность использования сервиса CiteMatcher, фиксирующего пропущенные цитаты в работе и в списке литературы.

Примечания (сноски)

Примечания (сноски) к тексту указываются внизу страницы, к которой они относятся. Примечания могут содержать менее важные детали, дополнительные объяснения, указания об использованных источниках (напр. научном материале, справочниках), но не могут быть заменой процедуры цитирования литературы.

Литература (референции)

Цитированной литературой охватываются, как правило, такие библиографические источники как статьи, монографии и т.п. Вся используемая литература в виде референций размещается в отдельном разделе статьи. Названия литературных источников не переводятся на язык работы. «Военно-технический вестник» для оформления списка использованной литературы применяет Гарвардскую систему (Harvard Style Manual). В списке литературы источники указываются в алфавитном порядке фамилий авторов или редакторов. Рекомендации о способе цитирования размещены на странице сайта *Инструкция по использованию Гарвардского стиля*. При оформлении списка использованной литературы необходимо придерживаться установленных норм. При оформлении списка литературы программа ASSISTANT предоставляет возможность использования сервиса RefFormatter, осуществляющего контроль оформления списка литературы в соответствии со стандартами Гарвардского стиля. Нестандартное, неполное и непоследовательное приведение литературы в системах оценки журнала считается достаточной причиной для оспаривания научного статуса журнала.

Авторское заявление

Авторское заявление предоставляется вместе со статьей, в нем авторы заявляют о своем личном вкладе в написание статьи. В заявлении авторы подтверждают, что статья написана в соответствии с *Приглашением и инструкциями для авторов*, а также с *Кодексом профессиональной этики журнала*.

Все рукописи статей подлежат профессиональному рецензированию.

Список рецензентов журнала «Военно-технический вестник» размещён на странице сайта *Список рецензентов*. Процесс рецензирования описан в разделе *Правила рецензирования*.

Редакция

Почтовый адрес редакции:

«Војнотехнички гласник»

ул. Велька Лукича Куряка 33, 11042 Белград, Республика Сербия

e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs,

тел: +381 11 3603 260, +381 66 8700 123

CALL FOR PAPERS AND ARTICLE FORMATTING INSTRUCTIONS

The instructions to authors about the article preparation for publication in the *Military Technical Courier* are based on the Regulations on categorization and ranking of scientific journals of the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia (Official Gazette of the Republic of Serbia, No 159/20). This Regulations aims at improving the quality of national journals and raising the level of their compliance with the international system of scientific information exchange.

The Military Technical Courier / Vojnotehnički glasnik (www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html, втг.мо.упр.срб, ISSN 0042-8469 – print issue, e-ISSN 2217-4753 – online, UDC 623+355/359, DOI: 10.5937/VojnotehnickiGlasnik; <https://doi.org/10.5937/VojnotehnickiGlasnik>), is an peer-reviewed scientific journal.

The owners of the journal are the Ministry of Defence of the Republic of Serbia and the Serbian Armed Forces. The publisher and financier of the *Military Technical Courier* is the University of Defence in Belgrade (Military Academy).

The program of the journal is based on the annual classification of journals performed by a relevant Ministry as well as on its indexing in international indexing databases.

The journal covers scientific and professional fields within the educational-scientific field of **Natural-Mathematical Sciences**, as well as within the educational-scientific field of **Technical-Technological Sciences**, and especially the field of **defense sciences and technologies**. It publishes theoretical and practical achievements leading to professional development of all members of Serbian, regional and international academic communities as well as members of the military and ministries of defence in particular. It publishes papers with balanced coverage of analytical, experimental, and applied research as well as numerical simulations from various disciplines. The material published is of high quality and relevance, written in a manner that makes it accessible to a wider readership. The journal welcomes papers reporting original theoretical and/or practice-oriented research as well as extended versions of already published conference papers. Manuscripts for publication are selected through a double-blind peer-review process to validate their originality, relevance, and readability. This being so, the objective is not only to keep the quality of published papers high but also to provide a timely, thorough, and balanced review process.

The editorial policy of the *Military Technical Courier* is based on the COPE Core Practices, common COPE, DOAJ, OASPA and WAME Principles of Transparency and Best Practice in Scholarly Publishing as well as on the best accepted practices in scientific publishing. The *Military Technical Courier* has been a COPE (Committee on Publication Ethics) member since 2nd May 2018 and a member of OASPA (Open Access Scholarly Publishers Association) since 27th November 2015.

The Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia classified the *Military Technical Courier* for the year 2022, on October 25, 2022

- **on the list of periodicals for computer sciences**,
category: reputed national journal (M51),
- **on the list of periodicals for electronics, telecommunications and IT**,
category: reputed national journal (M51),
- **on the list of periodicals for mechanical engineering**,
category: reputed national journal (M51),
- **on the list of periodicals for materials and chemical technology**,
category: reputed national journal (M51).

The approved lists of national periodicals for the year 2022 can be viewed on the website of the *Military Technical Courier*, page *Journal categorization*.

More detailed information can be found on the website of the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

The information on the categorization can be also found on the website of KOBSON (Consortium of Libraries of Serbia for Unified Acquisition).

The periodical is categorized in compliance with the Regulations on categorization and ranking of scientific journals of the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia (Official Gazette of the Republic of Serbia, No 159/20). More detailed information can be found on the website of the Ministry of Education, Science and Technological Development.

The journal is in the Serbian Citation Index – SCIndex (data base of national scientific journals), in the Scientific Information System Redalyc, and in the Russian Index of Science Citation/Российский индекс научного цитирования (RINC/РИНЦ) and is constantly monitored depending on the impact within the bases themselves. More detailed information can be viewed on the website of the *Military Technical Courier*, page *Journal indexing*.

Military Technical Courier enables open access and applies the Creative Commons Attribution (CC BY) licence provisions on copyright. The copyright details can be found on the *Copyright notice and Self-archiving policy* page of the journal's website.

Manuscripts are submitted online, through the electronic editing system ASSISTANT, developed by the Center for Evaluation in Education and Science – CEON.

The access and the registration are through the *Military Technical Courier* site <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html>, on the page ASSISTANT or the page SCINDEKS or directly through the link (aseestant.ceon.rs/index.php/vtg).

The detailed instructions about the registration for the service are on the website <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html>, on the page *Instructions for ASSISTANT*.

All authors submitting a manuscript for publishing in the *Military Technical Courier* should register for an ORCID ID following the instructions on the web page *Registration for an ORCID identifier*.

The *Military Technical Courier* publishes articles in English, using Arial and a font size of 11pt with Single Spacing.

The procedures of article preparation, writing and editing should be in accordance with the *Publication ethics statement* (<http://www.vtg.mod.gov.rs/publication-ethics-statement.html>).

The article should contain an abstract with keywords, introduction (motivation for the work), body (adequate overview of the representative work in the field, a clear statement of the novelty in the presented research, suitable theoretical background, one or more examples to demonstrate and discuss the presented ideas), conclusion, and references (without heading and subheading enumeration). The article length should not normally exceed 16 pages of the A4 paper format with single spacing, up to a maximum of 24 pages with references and supplementary material included.

The article should be formatted following the instructions in the Article Form which can be downloaded from website page *Article form*.

Title

The title should be informative. It is in both Journal's and author's best interest to use terms suitable for indexing and word search. If there are no such terms in the title, the author is strongly advised to add a subtitle.

Letterhead title

The letterhead title is given at a top of each page for easier identification of article copies in an electronic form in particular. It contains the author's surname and first name initial (for multiple authors add "et al"), article title, journal title and collation (year, volume, issue, first and last page). The journal and article titles can be given in a shortened form.

Author's name

Full name(s) of author(s) should be used. It is advisable to give the middle initial. Names are given in their original form (with diacritic signs if in Serbian).

Author's affiliation

The full official name and seat of the author's affiliation is given, possibly with the name of the institution where the research was carried out. For organizations with complex structures, give the whole hierarchy (for example, University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department for Military Electronic Systems). At least one organization in the hierarchy must be a legal entity. When some of multiple authors have the same affiliation, it must be clearly stated, by special signs or in other way, which department exactly they are affiliated with. The affiliation follows the author's name. The function and title are not given.

Contact details

The postal addresses or the e-mail addresses of the authors are given in the first page.

Type of articles

Classification of articles is a duty of the editorial staff and is of special importance. Referees and the members of the editorial staff, or section editors, can propose a category, but the editor-in-chief has the sole responsibility for their classification.

Journal articles are classified as follows:

Scientific articles:

- Original scientific papers (giving the previously unpublished results of the author's own research based on scientific methods);
- Review papers (giving an original, detailed and critical view of a research problem or an area to which the author has made a contribution demonstrated by self-citation);
- Short communications or Preliminary communications (original scientific full papers but shorter or of a preliminary character);
- Scientific commentaries or discussions (discussions on a particular scientific topic, based exclusively on scientific argumentation) and opinion pieces.

Exceptionally, in particular areas, a scientific paper in the Journal can be in a form of a monograph or a critical edition of scientific data (historical, archival, lexicographic, bibliographic, data survey, etc.) which were unknown or hardly accessible for scientific research.

Papers classified as scientific must have at least two positive reviews.

If the journal contains non-scientific contributions as well, the section with scientific papers should be clearly denoted in the first part of the Journal.

Professional articles:

- Professional papers (contributions offering experience useful for improvement of professional practice but not necessarily based on scientific methods);
- Informative contributions (editorial, commentary, etc.);
- Reviews (of a book, software, case study, scientific event, etc.)

Short communications are usually 4-7 pages long, research articles and case studies 10-14 pages, while reviews can be longer. Page number limits are not strict and, with appropriate reasoning, submitted manuscripts can also be longer or shorter. If extended versions of previously published conference papers are submitted, Editors will check if sufficient new material has been added to meet the journal standards and to qualify such manuscripts for the review process. The added material must not have been previously published. New results are desired but not necessarily required; however, submissions should contain expansions of key ideas, examples, elaborations, etc. of conference papers.

Language

The language of the article should be in English. The grammar and style of the article should be of good quality. The systematized text should be without abbreviations (except standard ones). All measurements must be in SI units. The sequence of formulae is denoted in Arabic numerals in parentheses on the right-hand side.

Abstract and summary

An abstract is a concise informative presentation of the article content for fast and accurate evaluation of its relevance. It contains the terms often used for indexing and article search. A 100- to 250-word abstract has the following parts: introduction/purpose of the research, methods, results and conclusion.

Keywords

Keywords are terms or phrases showing adequately the article content for indexing and search purposes. They should be allocated heaving in mind widely accepted international sources (index, dictionary or thesaurus), such as the Web of Science keyword list for science in general. The higher their usage frequency is, the better. Up to 10 keywords immediately follow the abstract and the summary, in respective languages. For this purpose, the ASSISTANT system uses a special tool KWASS for the automatic extraction of key words from disciplinary thesauruses/dictionaries by choice and the routine for their selection, i.e. acceptance or rejection by author and/or editor.

Article acceptance date

The date of the reception of the article, the dates of submitted corrections in the manuscript (optional) and the date when the Editorial Board accepted the article for publication are all given in a chronological order at the end of the article.

Acknowledgements

The name and the number of the project or programme within which the article was realised is given in a separate note at the bottom of the first page together with the name of the institution which financially supported the project or programme.

Article preliminary version

If an article preliminary version has appeared previously at a meeting in a form of an oral presentation (under the same or similar title), this should be stated in a separate note at the bottom of the first page. An article published previously cannot be published in the *Military Technical Courier* even under a similar title or in a changed form.

Tables and illustrations

All the captions should be in the original language as well as in English, together with the texts in illustrations if possible. Tables are typed in the same style as the text and



are denoted by Arabic numerals at the top. Photographs and drawings, placed appropriately in the text, should be clear, precise and suitable for reproduction. Drawings should be created in Word or Corel.

For figures and graphs, proper data plot is recommended i.e. using a data analysis program such as Excel, Matlab, Origin, SigmaPlot, etc. It is not recommended to use a screen capture of a data acquisition program as a figure or a graph.

Citation in the text

Citation in the text must be uniform. The *Military Technical Courier* applies the Harvard Referencing System given in the Harvard Style Manual. When citing sources within your paper, i.e. for in-text references of the works listed at the end of the paper, place the year of publication of the work in parentheses and optionally the number of the page(s) after the author's name, e.g. (Petrovic, 2012, pp.10-12). A detailed guide on citing, with examples, can be found on *Military Technical Courier* website on the page *Instructions for Harvard Style Manual*. In-text citations should follow its guidelines. For checking in-text citations, the ASSISTANT system uses a special tool CiteMatcher to find out quotes left out within papers and in reference lists.

Footnotes

Footnotes are given at the bottom of the page with the text they refer to. They can contain less relevant details, additional explanations or used sources (e.g. scientific material, manuals). They cannot replace the cited literature.

Reference list (Literature)

The cited literature encompasses bibliographic sources such as articles and monographs and is given in a separate section in a form of a reference list. References are not translated to the language of the article.

In compiling the reference list and bibliography, the *Military Technical Courier* applies the Harvard System – Harvard Style Manual. All bibliography items should be listed alphabetically by author's name, without numeration. A detailed guide for listing references, with examples, can be found on *Military Technical Courier* website on the page *Instructions for Harvard Style Manual*. Reference lists at the end of papers should follow its guidelines. In journal evaluation systems, non-standard, insufficient or inconsequent citation is considered to be a sufficient cause for denying the scientific status to a journal.

Authorship Statement

The Authorship statement, submitted together with the paper, states authors' individual contributions to the creation of the paper. In this statement, the authors also confirm that they followed the guidelines given in *the Call for papers* and the *Publication ethics and malpractice statement of the journal*.

All articles are peer reviewed.

The list of referees of the *Military Technical Courier* can be viewed at website page *List of referees*. The article review process is described on the *Peer Review Process* page of the website.

Editorial Team

Address of the Editorial Office:

Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier

Veljka Lukića Kurjaka 33

11042 Belgrade, Republic of Serbia

e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs, tel.: +381 11 3603 260, +381 66 8700 123

ОБАВЕШТЕЊА САРАДНИЦИМА И ЧИТАОЦИМА
СООБЩЕНИЯ ДЛЯ АВТОРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ
INFORMATION FOR CONTRIBUTORS AND READERS

Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије објавило категоризацију „Војнотехничког гласника” за 2022. годину

Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, сагласно Правилнику о категоризацији и рангирању научних часописа („Службени гласник РС”, број 159/20), утврдило је дана 25. 10. 2022. године категоризацију „Војнотехничког гласника” за 2022. годину:

- **на листи часописа за рачунарске науке:**
категирија врхунски часопис националног значаја (M51),
- **на листи часописа за електронику, телекомуникације и информационе технологије:**
категирија врхунски часопис националног значаја (M51),
- **на листи часописа за машинство:**
категирија врхунски часопис националног значаја (M51),
- **на листи часописа за материјале и хемијске технологије:**
категирија врхунски часопис националног значаја (M51).

Усвојене листе домаћих часописа за 2022. годину могу се видети на страници сајта *Категоризација часописа* (<http://www.vtg.mod.gov.rs/kategorizacija-casopisa.html>).

Детаљније информације могу се пронаћи и на сајту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (<https://mpn.gov.rs/nauka/nauka-i-istrazivanje-u-srbiji/kategorizacija-naucnih-casopisa/>).

Министерство образования, науки и технологического развития Республики Сербия утврдило категоризацију журнала «Военно-технический вестник» за 2022 год

Министерством образования, науки и технологического развития Республики Сербия, согласно Регламенту о категоризации и ранжировании научных журналов («Службени гласник РС», № 159/20), утврђена 25 октобра 2022 г. категоризација журнала «Военно-технический вестник» за 2022 год:

- **Область компьютерные науки:**
ведущий журнал государственного значения (M51),
- **Область электроники, телекоммуникаций и информационных технологий:**
ведущий журнал государственного значения (M51),
- **Область машиностроения:**
ведущий журнал государственного значения (M51),
- **Область материалов и химической технологии:**
ведущий журнал государственного значения (M51).

С информацией о категоризации за 2022 год можно ознакомиться на странице *Категоризация вестника* (<http://www.vtg.mod.gov.rs/kategorizacija-vestnika.html>).

Более подробно с информацией можно ознакомиться на сайте Министерства образования, науки и технологического развития Республики Сербия (<https://mpn.gov.rs/nauka/nauka-i-istrazivanje-u-srbiji/kategorizacija-naucnih-casopisa/>).

Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia classified the Military Technical Courier for the year 2022

Pursuant to the Regulations on categorization and ranking of scientific journals (Official Gazette of the Republic of Serbia, No 159/20), the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia classified the Military Technical Courier for the year 2022, on October 25, 2022

- **on the list of periodicals for computer sciences,**
category: reputed national journal (M51),
- **on the list of periodicals for electronics, telecommunications and IT,**
category: reputed national journal (M51),
- **on the list of periodicals for mechanical engineering,**
category: reputed national journal (M51),
- **on the list of periodicals for materials and chemical technology,**
category: reputed national journal (M51).













The approved lists of national periodicals for the year 2022 can be viewed on the web page *Journal categorization* (<http://www.vtg.mod.gov.rs/journal-categorisation-1.html>).









More detailed information can be found on the website of the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia (<https://mpn.gov.rs/nauka/nauka-i-istrazivanje-u-srbiji/kategorizacija-naucnih-casopisa/>).





СПИСАК РЕЦЕНЗЕНАТА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА
СПИСОК РЕЦЕНЗЕНТОВ ЖУРНАЛА «ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК»
LIST OF REFEREES OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER









СПИСАК РЕЦЕНЗЕНАТА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА

Име, средње слово и презиме	Област компетенције (научног интересовања)	 ORCID ID	Web of Science ResearcherID
Марко Д. Андрејић	логистика	 https://orcid.org/0000-0002-6753-9786	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/D-4101-2016
Милош Ж. Арсић	логистички менаџмент	 https://orcid.org/0000-0001-7853-0819	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AEU-0737-2022
Саша Т. Бакрач	заштита животне средине, процена еколошких ризика, екоменаџмент	 https://orcid.org/0000-0003-0211-3765	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-8165-2019
Ђорђе Б. Баралић	алгебарска топологија, геометрија и комбинаторика	 https://orcid.org/0000-0003-2836-7958	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/ABV-8411-2022
Војислав Ј. Батинић	опште машинске конструкције	 https://orcid.org/0000-0001-6786-7846	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFL-5896-2022
Драгана Бечејски-Вујаклија	пословни информациони системи, пословна интелигенција, ERP, IT менаџмент	 https://orcid.org/0000-0002-9615-3620	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-9257-2019
Дарко И. Божанић	вишекритеријумско одлучивање, менаџмент у одбрани	 https://orcid.org/0000-0002-9657-0889	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/X-9329-2018
Мирко А. Борисов	геодетско инжењерство, геоматика, географски информациони системи, дигитални модели терена, картографија, геодезија, мулттимедијална картографија, веб картографија	 https://orcid.org/0000-0002-7234-6372	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/X-1875-2019
Угљеша С. Бугарић	операц. истраживања, масовно опслуживање, теротехнологија-одржавање, транспортни и складишни системи	 https://orcid.org/0000-0003-2459-2656	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFV-3252-2022
Славиша И. Влацић	ваздушни саобраћај, системска контрола; аутоматска контрола; навигација возила; морнарички борбени и навигациони системи; симулација	 https://orcid.org/0000-0001-9336-0512	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAB-2977-2021










Име, средње слово и презиме	Област компетенције (научног интересовања)	 ORCID iD	Web of Science ResearcherID
Драгољуб А. Вујић	примењена механика, дијагностика, софистицирани системи одржавања техничких система	 https://orcid.org/0000-0001-6999-6828	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AGT-6754-2022
Иван Б. Вулић	информациони системи, географски информациони системи	 https://orcid.org/0000-0002-5161-5422	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAH-7701-2019
Љубомир Ј Гиговић	географија, географски информациони систем, геопросторна анализа	 https://orcid.org/0000-0002-8388-3624	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/N-1250-2018
Миро Ј. Говедарица	геоинформатика	 https://orcid.org/0000-0003-1698-0800	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/X-1267-2019
Горан Д. Дикић	системи аутоматског управљања, праћење циљева, системи вођења и управљања ракета	 https://orcid.org/0000-0002-0858-1415	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AEU-0672-2022
Снежана М. Драгићевић	енергетска ефикасност, машинство, соларна енергија, термоинжењеринг	 https://orcid.org/0000-0002-6244-0111	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-1254-2022
Чедомир В. Дубока	мотори, моторна возила	 https://orcid.org/0000-0003-2944-2278	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AEY-9478-2022
Бобан Д. Ђоровић	процеси и методе у саобраћају и транспорту, транспортне мреже, организација транспорта	 https://orcid.org/0000-0001-8133-2389	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-3731-2022
Владо П. Ђурковић	примењена механика крутог и деформабилног тела	 https://orcid.org/0000-0002-5064-4117	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-9011-2022
Дејан Р. Инђић	тактика АБХ службе, оружје за масовно уништавање, тероризам оружјем за масовно уништавање, нуклеарни и хемијски удеси	 https://orcid.org/0000-0001-9111-0472	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAI-9298-2020
Дамир Д. Јерковић	наоружање, нумеричка анализа, CFD симулација, спољна балистика, балистика, балистика на циљу, интеграција наоружања	 https://orcid.org/0000-0001-5182-7057	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/C-8568-2015

Име, средње слово и презиме	Област компетенције (научног интересовања)	 ORCID iD	Web of Science ResearcherID
Бориша Ж. Јовановић	информационе технологије, софтверско инжењерство, безбедност рачунарских система, рачунарске мреже	 https://orcid.org/0000-0002-9353-724X	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAX-2216-2020
Митар Т. Јоцановић	трибологија и теорија подмазивања, одржавање технолошких система, хидраулички системи	 https://orcid.org/0000-0003-1088-5028	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAB-4171-2019
Владимир А. Катић	енергетска електроника, електричне машине, електромоторни погони, квалитет електричне енергије, обновљиви извори електричне енергије	 https://orcid.org/0000-0002-0138-8807	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAT-1114-2021
Мирко С. Козић	механика флуида, нумеричка динамика флуида, аеродинамичка оптерећења	 https://orcid.org/0000-0002-7287-0780	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-9017-2022
Комлен Г. Лаловић	информационе технологије, програмирање, заштита података	 https://orcid.org/0000-0002-4590-2185	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFN-4549-2022
Марија З. Малнар	електротехника, телекомуникације	 https://orcid.org/0000-0003-1416-8253	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAG-6470-2019
Зоран Ђ. Миљковић	технологија машинске обраде, роботика, вештачка интелигенција, аутономни системи и машинско учење, вештачке неуронске мреже, интелигентни технолошки системи и процеси, методе одлучивања	 https://orcid.org/0000-0001-9706-6134	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-1423-2014

Име, средње слово и презиме	Област компетенције (научног интересовања)	ORCID iD	Web of Science ResearcherID
Надица С. Милковић	биомедицинска обрада сигнала, е-здравље, електротехника, биомедицински инжењеринг, електрофизиологија	 https://orcid.org/0000-0002-3933-6076	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/L-5211-2015
Срђан Т. Митровић	мобилни роботи, управљање у реалном времену, фази логика, фази управљање, микропроцесорски системи, управљање системима (аутоматика), алгоритми навигације возила, бродски борбени и навигациони системи	 https://orcid.org/0000-0002-1287-2792	https://www.webofscience.com/wos/author/record/F-9171-2014
Дејан М. Мицковић	конструкција класичног наоружања, аутоматска оружја, унутрашња балистика	/	/
Драган Д. Младеновић	информациона безбедност, сајбер безбедност, сајбер сукоби, сајбер ратовање, информационе технологије, међународно право, нове технологије	 https://orcid.org/0000-0003-4530-633X	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/T-6659-2018
Бобан З. Павловић	телекомуникационе мреже, квалитет сервиса, телекомуникациони саобраћај	 https://orcid.org/0000-0002-5476-7894	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/P-1904-2016
Сретен Р. Перић	машинство	 https://orcid.org/0000-0002-7270-5187	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFL-0330-2022
Мирослав В. Поповић	рачунарска техника	 https://orcid.org/0000-0002-1118-6491	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-8986-2022
Југослав Р. Радуловић	муниција, менаџмент, квалитет	 https://orcid.org/0000-0002-4003-7209	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFK-7670-2022
Наем Салем	математика	 https://orcid.org/0000-0002-1485-6163	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/E-3280-2015

Име, средње слово и презиме	Област компетенције (научног интересовања)	 ORCID iD	Web of Science ResearcherID
Влада С. Соколовић	одржавање, техничка подршка, интегрисани навигацијски системи, GPS, GNSS, сателитски системи, логистика	 https://orcid.org/0000-0003-0782-0506	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/B-9463-2013
Љубиша К. Танчић	унутрашња балистика, наоружање	 https://orcid.org/0000-0003-1242-9333	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFD-8276-2022
Иван А. Тот	базе података, информациони системи, заштита информационих система	 https://orcid.org/0000-0002-5862-9042	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAS-7352-2021
Обрад Т. Чабаркапа	индустријска својина, заштита интелектуалне и индустријске својине, патентна заштита, управљање пројектима, машинство, наоружање, пројект менаџмент	 https://orcid.org/0000-0002-3949-8227	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-9000-2022
Нада М. Читаковић	физика	 https://orcid.org/0000-0003-2813-2323	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AES-2868-2022
Томислав Б. Шекара	управљање процесима; оптимални индустријски регулатори; фракциони закони управљања; дискретизација и обрада сигнала; сензори и актуатори	 https://orcid.org/0000-0001-8031-3135	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-8144-2019
Горан П. Шимић	информациони системи, рачунарство, програмирање, базе података, вештачка интелигенција	 https://orcid.org/0000-0002-7563-699X	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFB-1501-2022

**СПИСОК РЕЦЕНЗЕНТОВ ЖУРНАЛА
«ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК»**

ФИО	Области научной деятельности	 ORCID iD	Web of Science ResearcherID
Марко Д. Андреич	логистика	 https://orcid.org/0000-0002-6753-9786	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/D-4101-2016
Милош Ж. Арсич	управление логистикой	 https://orcid.org/0000-0001-7853-0819	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AEU-0737-2022
Саша Т. Бакрач	охрана окружающей среды, оценка экологических рисков, экологический менеджмент	 https://orcid.org/0000-0003-0211-3765	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-8165-2019
Джордже Б. Баралич	алгебраическая топология, геометрия и комбинаторика	 https://orcid.org/0000-0003-2836-7958	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/ABV-8411-2022
Воислав Й. Батинич	общие машиностроительные конструкции	 https://orcid.org/0000-0001-6786-7846	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFL-5896-2022
Драгана Бечейски-Вуяклия	бизнес-информационные системы, бизнес-аналитика, ERP, управление ИТ	 https://orcid.org/0000-0002-9615-3620	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-9257-2019
Дарко И. Божанич	принятие многокритериальных решений, управление в области обороны	 https://orcid.org/0000-0002-9657-0889	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/X-9329-2018
Мирко А. Борисов	геодезическая инженерия, геоматика, геоинформационные системы, цифровые модели местности, картография, геодезия, мультимедийная картография, веб-картография	 https://orcid.org/0000-0002-7234-6372	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/X-1875-2019
Углеша С. Бугарич	исследование операций, теория массового обслуживания, теротехнология обслуживания, транспортно-складские системы	 https://orcid.org/0000-0003-2459-2656	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFV-3252-2022

ФИО	Области научной деятельности	 ORCID iD	Web of Science ResearcherID
Славиша И. Влаич	воздушное движение, управление системой; автоматическое управление; автомобильная навигация; морские боевые и навигационные системы; моделирование	 https://orcid.org/0000-0001-9336-0512	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAB-2977-2021
Драголюб А. Вуич	прикладная механика, диагностика, сложные системы технического обслуживания	 https://orcid.org/0000-0001-6999-6828	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AGT-6754-2022
Иван Б. Вулич	информационные системы, географические информационные системы	 https://orcid.org/0000-0002-5161-5422	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAH-7701-2019
Любомир Й. Гивович	география, географическая информационная система, геопространственный анализ	 https://orcid.org/0000-0002-8388-3624	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/N-1250-2018
Миро Й. Говедарица	геоинформатика	 https://orcid.org/0000-0003-1698-0800	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/X-1267-2019
Бобан Д. Джорович	транспортные процессы и методы, транспортные сети, организация транспорта	 https://orcid.org/0000-0001-8133-2389	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-3731-2022
Владо П. Джуркович	прикладная механика твердых и деформируемых тел	 https://orcid.org/0000-0002-5064-4117	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-9011-2022
Горан Д. Дикич	системы автоматического управления, прицеливания, системы наведения и телеуправления ракет	 https://orcid.org/0000-0002-0858-1415	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AEU-0672-2022
Снежана М. Драгичевич	энергоэффективность, машиностроение, солнечная энергия, теплотехника термоинженерия	 https://orcid.org/0000-0002-6244-0111	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-1254-2022

















ФИО	Области научной деятельности	 ORCID iD	Web of Science ResearcherID
Чедомир В. Дубока	двигатели, автомобили	 https://orcid.org/0000-0003-2944-2278	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AEY-9478-2022
Дамир Д. Еркович	вооружение, численный анализ, CFD вычислительная гидродинамика, внешняя баллистика, баллистика, терминальная баллистика, интегрирование вооружения	 https://orcid.org/0000-0001-5182-7057	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/C-8568-2015
Деян Р. Инджич	тактика ядерно-химической биологической защиты, оружие массового уничтожения, терроризм с оружием	 https://orcid.org/0000-0001-9111-0472	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/C-8568-2015
Бориша Ж. Иванович	информационные технологии, программная инженерия, безопасность компьютерных систем, компьютерные сети	 https://orcid.org/0000-0002-9353-724X	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAx-2216-2020
Митар Т. Йоцанович	трибология и теория смазки, техническое обслуживание технологических систем, гидравлических систем	 https://orcid.org/0000-0003-1088-5028	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAB-4171-2019
Владимир А. Катич	силовая электроника, электрические машины, электрические приводы, качество электроэнергии, возобновляемые источники энергии	 https://orcid.org/0000-0002-0138-8807	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAT-1114-2021
Мирко С. Козич	механика жидкостей, вычислительная динамика жидкостей, аэродинамические нагрузки	 https://orcid.org/0000-0002-7287-0780	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-9017-2022
Комлен Г. Лалович	информационные технологии, программирование, защита данных	 https://orcid.org/0000-0002-4590-2185	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFN-4549-2022
Мария З. Малнар	электротехника, телекоммуникации	 https://orcid.org/0000-0003-1416-8253	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAG-6470-2019















ФИО	Области научной деятельности	ORCID iD	Web of Science ResearcherID
Зоран Дж. Милькович	технология производства, процессы обработки, робототехника, искусственный интеллект, автономные системы и машинное обучение, искусственные нейронные сети, интеллектуальные производственные системы и процессы, принятие решений	https://orcid.org/0000-0001-9706-6134	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-1423-2014
Надица С. Милкович	обработка биомедицинских сигналов, электронное здравоохранение, электротехника, биомедицинская инженерия, электрофизиология	https://orcid.org/0000-0002-3933-6076	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/L-5211-2015
Срджан Т. Митрович	мобильные роботы, управление в реальном времени, нечеткая логика, нечеткое управление, микропроцессорные системы, управление системами автоматки, алгоритмы навигации транспорта, навигационные системы для судов и боевого транспорта	https://orcid.org/0000-0002-1287-2792	https://www.webofscience.com/wos/author/record/F-9171-2014
Деян М. Мицкович	конструкция классического конвенционального вооружения, автоматическое оружие, внутренняя баллистика	/	/
Драган, Д. Младенович	информационная безопасность, кибербезопасность, кибер-конфликт, кибер-война, информационные технологии, международное право	https://orcid.org/0000-0003-4530-633X	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/T-6659-2018
Бобан З. Павлович	телекоммуникационные сети, качество обслуживания, телекоммуникационный трафик	https://orcid.org/0000-0002-5476-7894	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/P-1904-2016











ФИО	Области научной деятельности	ORCID iD	Web of Science ResearcherID
Сретен Р. Перич	машиностроение	https://orcid.org/0000-0002-7270-5187	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFL-0330-2022
Мирослав В. Попович	компьютерная инженерия	https://orcid.org/0000-0002-1118-6491	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-8986-2022
Югослав Р. Радулович	боеприпасы, менеджмент, качество	https://orcid.org/0000-0002-4003-7209	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFK-7670-2022
Наем Салем	математика	https://orcid.org/0000-0002-1485-6163	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/E-3280-2015
Влада С. Соколович	техническое обслуживание, техническая поддержка, интегрированные навигационные системы, GPS, GNSS, спутниковые системы, логистика	https://orcid.org/0000-0003-0782-0506	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/B-9463-2013
Любиша К. Танчич	внутренняя баллистика, вооружение	https://orcid.org/0000-0003-1242-9333	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFD-8276-2022
Иван А. Тот	базы данных, информационные системы, защита информационных систем	https://orcid.org/0000-0002-5862-9042	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAS-7352-2021
Обрад Т. Чабаркапа	промышленная собственность, защита интеллектуальной и промышленной собственности, патентная защита, управление проектами, машиностроение, вооружение, управление проектами	https://orcid.org/0000-0002-3949-8227	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-9000-2022
Нада М. Читакович	физика	https://orcid.org/0000-0003-2813-2323	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AES-2868-2022
Томислав Б. Шекара	управление процессами, оптимальные промышленные регуляторы, дискретизация и обработка сигналов, сенсоры и актуаторы, компенсация электроэнергии в электроэнергетических системах	https://orcid.org/0000-0001-8031-3135	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-8144-2019
Горан П. Шимич	информационные системы, информатика, программирование, базы данных, искусственный интеллект	https://orcid.org/0000-0002-7563-699X	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFB-1501-2022

LIST OF REFEREES OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER

Name, middle initial and surname	Scientific research competence area	 ORCID iD	Web of Science ResearcherID
Marko D. Andrejić	logistics	 https://orcid.org/0000-0002-6753-9786	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/D-4101-2016
Miloš Ž. Arsić	logistics management	 https://orcid.org/0000-0001-7853-0819	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AEU-0737-2022
Saša T. Bakrač	environmental protection, environmental risk assessment, eco-management	 https://orcid.org/0000-0003-0211-3765	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-8165-2019
Đorđe B. Baralić	algebraic topology, geometry and combinatorics	 https://orcid.org/0000-0003-2836-7958	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/ABV-8411-2022
Vojislav J. Batinić	general mechanical engineering constructions	 https://orcid.org/0000-0001-6786-7846	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFL-5896-2022
Dragana Bečejski-Vujaklija	business information systems, business intelligence, ERP, IT management	 https://orcid.org/0000-0002-9615-3620	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-9257-2019
Mirko A. Borisov	geodetic engineering, geomatics, geographic information systems, digital terrain models, cartography, geodesy, multimedia cartography, web mapping	 https://orcid.org/0000-0002-7234-6372	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/X-1875-2019
Darko I. Božanić	multi-criteria decision making, management in defense	 https://orcid.org/0000-0002-9657-0889	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/X-9329-2018
Uglješa S. Bugarić	operational research, mass service, terotechnology – maintenance, transportation and storage systems	 https://orcid.org/0000-0003-2459-2656	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFV-3252-2022
Obrad T. Čabarkapa	industrial property, protection of intellectual and industrial property, patent protection, project management, mechanical engineering, armaments, project management	 https://orcid.org/0000-0002-3949-8227	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-9000-2022
Nada M. Čitaković	physics	 https://orcid.org/0000-0003-2813-2323	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AES-2868-2022
Goran D. Dikić	automatic control systems, target tracking, missile guidance and control systems	 https://orcid.org/0000-0002-0858-1415	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AEU-0672-2022
Snežana M. Dragičević	energy efficiency, mechanical engineering, solar energy, thermal engineering	 https://orcid.org/0000-0002-6244-0111	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-1254-2022

Name, middle initial and surname	Scientific research competence area	 ORCID iD	Web of Science ResearcherID
Čedomir V. Duboka	engines, motor vehicles	 https://orcid.org/0000-0003-2944-2278	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AEY-9478-2022
Boban D. Đorović	processes and methods in traffic and transportation, transportation networks, transport organization	 https://orcid.org/0000-0001-8133-2389	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-3731-2022
Vlado P. Đurković	applied mechanics of rigid and deformable bodies	 https://orcid.org/0000-0002-5064-4117	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-9011-2022
Ljubomir J. Gigović	geography, geographic information system, geospatial analysis	 https://orcid.org/0000-0002-8388-3624	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/N-1250-2018
Miro J. Govedarica	geoinformatics	 https://orcid.org/0000-0003-1698-0800	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/X-1267-2019
Dejan R. Inđić	tactic of Nuclear Chemical Biological Defense, weapons of mass destruction, terrorism with weapons of mass destruction, nuclear and chemical incidents	 https://orcid.org/0000-0001-9111-0472	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAI-9298-2020
Damir D. Jerković	weapons, numerical analysis, CFD simulation, external ballistics, ballistics, terminal ballistics, weapons integration	 https://orcid.org/0000-0001-5182-7057	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/C-8568-2015
Mitar T. Jocanović	tribology and theory of lubrication, maintenance of technological systems, hydraulic systems	 https://orcid.org/0000-0003-1088-5028	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAB-4171-2019
Boriša Ž. Jovanović	IT, software engineering, computer systems security, computer networks	 https://orcid.org/0000-0002-9353-724X	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAX-2216-2020
Vladimir A. Katić	power electronics, electric machines, electric power systems and stations, electric power quality, renewable energy sources	 https://orcid.org/0000-0002-0138-8807	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAT-1114-2021
Mirko S. Kozić	mechanics of fluids, computational fluid dynamics, aerodynamic load	 https://orcid.org/0000-0002-7287-0780	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-9017-2022
Komlen G. Lalović	information technology, programming, data protection	 https://orcid.org/0000-0002-4590-2185	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFN-4549-2022
Marija Z. Malnar	electrical engineering - telecommunications	 https://orcid.org/0000-0003-1416-8253	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAG-6470-2019

Name, middle initial and surname	Scientific research competence area	ORCID iD	Web of Science ResearcherID
Dejan M. Micković	construction of classic weapons, automatic weapons, internal ballistics	/	/
Nadica S. Miljković	biomedical signal processing, e-health, electrical engineering, biomedical engineering, electrophysiology	https://orcid.org/0000-0002-3933-6076	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/L-5211-2015
Zoran Đ. Miljković	manufacturing technology, machining processes, robotics, artificial intelligence, autonomous systems and machine learning, artificial neural networks, intelligent manufacturing systems and processes, decision-making methods	https://orcid.org/0000-0001-9706-6134	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-1423-2014
Srđan T. Mitrović	mobile robots, real time control, fuzzy logic, fuzzy control, microprocessing systems, system control (automation), vehicle navigation algorithms, naval combat and navigation systems	https://orcid.org/0000-0002-1287-2792	https://www.webofscience.com/wos/author/record/F-9171-2014
Dragan D. Mladenović	information security, cyber security, cyber conflict, cyber warfare, information technology, international law, emerging technologies	https://orcid.org/0000-0003-4530-633X	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/T-6659-2018
Boban Z. Pavlović	telecommunication networks, quality of service, telecommunication traffic	https://orcid.org/0000-0002-5476-7894	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/P-1904-2016
Sreten R. Perić	mechanical engineering	https://orcid.org/0000-0002-7270-5187	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFL-0330-2022
Miroslav V. Popović	computer engineering	https://orcid.org/0000-0002-1118-6491	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFO-8986-2022
Jugoslav R. Radulović	ammunition, management, quality	https://orcid.org/0000-0002-4003-7209	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFK-7670-2022
Naeem Saleem	mathematics	https://orcid.org/0000-0002-1485-6163	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/E-3280-2015
Vlada S. Sokolović	maintenance, technical support, integrated navigation systems, GPS, GNSS, satellite systems, logistics	https://orcid.org/0000-0003-0782-0506	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/B-9463-2013

Name, middle initial and surname	Scientific research competence area	 ORCID iD	Web of Science ResearcherID
Tomislav B. Šekara	control of processes with concentrated and distributed parameters, industrial regulators with optimum performance, fraction laws of control in industrial application, process characterisation, adequate signal discretisation and processing, sensors and actuators, electric energy compensation and saving in electric energy distribution systems	 https://orcid.org/0000-0001-8031-3135	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-8144-2019
Goran P. Šimić	Inform. systems, computer science, programming, databases, artificial intelligence	 https://orcid.org/0000-0002-7563-699X	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFB-1501-2022
Ljubiša K. Tančić	internal ballistics, armaments	 https://orcid.org/0000-0003-1242-9333	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFD-8276-2022
Ivan A. Tot	databases, inform.systems, information system security	 https://orcid.org/0000-0002-5862-9042	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAS-7352-2021
Slaviša I. Vlačić	air traffic, system control, automatic control, vehicle navigation, naval combat and navigation systems, simulation	 https://orcid.org/0000-0001-9336-0512	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAB-2977-2021
Dragoljub A. Vujić	applied mechanics, diagnostics, sophisticated systems for technical system maintenance	 https://orcid.org/0000-0001-6999-6828	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AGT-6754-2022
Ivan B. Vulić	information systems, geographic information systems	 https://orcid.org/0000-0002-5161-5422	https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAH-7701-2019

ИЗЈАВА О ЕТИЧКОМ ПОСТУПАЊУ
ЭТИЧЕСКИЙ КОДЕКС
PUBLICATION ETHICS STATEMENT

ИЗЈАВА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА О ЕТИЧКОМ ПОСТУПАЊУ

НАПОМЕНА: Уређивачка политика *Војнотехничког гласника* заснива се на препорукама Одбора за етичност у издаваштву (COPE Core Practices) и заједничким принципима транспарентности и најбоље праксе у издаваштву COPE, DOAJ, OASPA и WAME, као и на најбољим прихваћеним праксама у научном издаваштву. *Војнотехнички гласник* је члан COPE (Committee on Publication Ethics) од 2. маја 2018. године и члан OASPA (Open Access Scholarly Publishers Association) од од 27. новембра 2015. године. Уредништво примењује Контролну листу за издаваче отвореног приступа о спровођењу Препоруке УНЕСКО-а о отвореној науци. Овај документ је део Унесковог комплета алата за отворену науку, осмишљеног да подржи имплементацију Препоруке Унеска о отвореној науци. Произведен је у партнерству са OASPA.

Основна делатност научног часописа *Војнотехнички гласник* је објављивање чланака након стручне рецензије. У процесу уређивања, који има за циљ објављивање научних чланака, неопходно је постићи сагласност о етичким начелима у поступцима свих учесника (редакције, тј. уредника, чланова Уређивачког одбора и рецензента часописа, као и самих аутора). Поменута начела и поступци дефинисани су овом Изјавом *Војнотехничког гласника* о етичком поступању.

Мере, радње, одговорности и обавезе Редакције *Војнотехничког гласника*

Уредништво *Војнотехничког гласника* не тражи од аутора, нити од трећих страна, плаћање накнаде за аплицирање чланка за објављивање. Читав поступак уређивања и објављивања чланка за ауторе је потпуно бесплатан, како услуге пријављивања рукописа и њихове обраде, тако и услуге публиковања чланака. Не постоје било какви скривени трошкови.

Уредништво *Војнотехничког гласника* доноси коначну одлуку о томе који ће се рукописи објавити. Одлуке се доносе искључиво на основу вредности рукописа. Морају бити ослобођене расних, полних/родних, верских, етничких или политичких предрасуда. Приликом доношења одлуке о објављивању уредништво се руководи уређивачком политиком, водећи рачуна о законским прописима који се односе на клевету, кршења ауторских права и плагирање.

Рукописи се чувају као поверљив материјал. Информације и идеје садржане у рукописима не смеју се користити у личне сврхе без изричите писане дозволе аутора.

У свом раду, према препоруци Центра за евалуацију у образовању и науци (ЦЕОН), Редакција користи електронски систем уређивања часописа СЦИндекс (Српски цитатни индекс) АСИСТЕНТ (развијен на бази платформе OJS), који омогућава транспарентност и јавност рада, подразумевајући пуну одговорност за прихватање и објављивање чланка.

Процес уређивања чланка у *Војнотехничком гласнику* подразумева следеће обавезе Редакције:

1. Након пријема чланка, Редакција од аутора прибавља Изјаву о ауторству у којој аутори: наводе свој појединачни допринос у изради чланка; потврђују да су упознати са политиком часописа у вези са повлачењем већ објављених радова; потврђују да послати рукопис представља оригиналан рад који су написали и

потписали наведени аутори и који није објављен раније на неком другом месту, те да се рукопис не разматра за објављивање на другом месту и није истовремено послат на рецензију у друге часописе; потврђују да чланак и додатни материјали не садрже тврдње које би се могле сматрати клеветом или било какве незаконите тврдње и не садрже материјал који на било који начин угрожава лична или власничка права физичких или правних лица; потврђују да немају сукоб интереса који би могао да доведе у питање интегритет и веродостојност резултата који су објављени у чланку, као и да су добили сагласност од носилаца ауторских права за коришћење свих извода из дела заштићених ауторским правима и других материјала заштићених ауторским правима који су коришћени у рукопису и да су навели изворе у рукопису и додатним материјалима.

2. Пре доделе рукописа уреднику Редакција проверава да ли је садржај рукописа плагијат, ради провере оригиналности приспелих радова и спречавања публикувања плагијата и дупликата. *Војнотехнички гласник* не објављује плагиране радове. Уредништво полази од става да је плагирање, односно преузимање туђих идеја, речи или других облика креативног доприноса и њихово представљање као сопствених, грубо кршење научне и издавачке етике. Плагирање може да укључује и кршење ауторских права, што је законом кажњиво.

Плагирање обухвата:

– дословно (реч по реч) или готово дословно преузимање или смишљено, ради прикривања извора, парафразирање делова текстова других аутора без јасног назначавања извора;

– копирање једначина, података или табела из других докумената без правилног назначавања извора и/или без дозволе изворног аутора или носиоца ауторског права.

Рукопис у којем се утврде јасне индикације да је плагиран биће аутоматски одбијен. У случају да се плагијаризам открије у већ објављеном раду, чланак ће бити опозван (повучен) у складу са процедуром описаном у тачки 6.

Ради спречавања плагијата у часопису рукописи се подвргавају провери уз помоћ система iThenticate/CrossRef у оквиру сервиса СЦИндекс АСИСТЕНТ. Резултате добијене провером верификује уредништво часописа у складу са смерницама и препорукама Комитета за етику публикувања (COPE).

3. Након провере на плагијаризам Редакција додељује приспели рукопис уреднику који ће надаље водити уређивачки процес и одабрати рецензенте. Уредништво и уредник којем је додељен приспели чланак не смеју бити у сукобу интереса у вези са рукописом који разматрају.

Ако такав сукоб интереса постоји, о избору рецензената и судбини рукописа одлучује Уређивачки одбор. Чланови Уређивачког одбора за које се претпостави да би могли бити у сукобу интереса такође не учествују у поступку одлучивања о одређеном рукопису.

4. Рукописи се упућују на рецензију тек након иницијалне оцене да ли су, с обзиром на форму и тематски делокруг, подобни за објављивање у *Војнотехничком гласнику*. Посебна се води рачуна да иницијална оцена не траје дуже него што је неопходно.

Војнотехнички гласник примењује поступак „двоструког анонимног рецензирања свих радова”.

Главни уредник и чланови уредништва дужни су да предузму одговарајуће мере да аутори и рецензенти остану међусобно анонимни током и након процеса рецензије, у складу са двоструким слепим процесом рецензије. Поред тога, уредништво *Војнотехничког гласника* може пружити информацију о пристиглом

рукопису само аутору, рецензентима или потенцијалним рецензентима, уколико је то потребно.

Сваки рукопис рецензирају бар два рецензента, независно један од другог, а њихов идентитет је међусобно непознат. Рецензенти се бирају искључиво према томе да ли располажу релевантним знањима за оцену рукописа. Не смеју бити из исте институције као аутори рукописа, нити бити њихови коаутори у скоријој прошлости. Евентуални предлози аутора рукописа да се ангажују одређени рецензенти не уважавају се.

Циљ рецензије јесте да уредништву помогне у доношењу одлуке да ли рад треба прихватити или одбити, као и да се у процесу комуникације с уредником, ауторима и другим рецензентима побољша квалитет рукописа.

Током поступка рецензије главни уредник може да захтева од аутора да доставе додатне информације, укључујући и примарне податке, ако су оне неопходне за доношење суда о рукопису. Уредник и рецензенти морају да чувају такве информације као поверљиве и не смеју их употребити у друге сврхе.

У редовним околностима поступак рецензирања траје највише четири недеље, а само изузетно до три месеца. Период од пријема рада до његовог објављивања траје, у просеку, 90 дана.

У случају да аутори имају озбиљне и основане замерке на рецензију, уредништво проверава да ли је она објективна и да ли задовољава академске стандарде. Ако се посумња у објективност или квалитет рецензије, уредник ангажује додатне рецензенте.

Додатни рецензенти се ангажују и у случају када су одлуке постојећа два рецензента међусобно опречне (одбити/прихватити) или на други начин непомирљиве.

Коначну одлуку о прихватању рукописа за објављивање доноси искључиво уредништво.

5. У изузетним случајевима, а посебно у оним околностима када је избор часописа ограничен због специфичне тематике чланка, чланови уредништва часописа *Војнотехнички гласник* могу бити и аутори његових научних радова. Ипак, у овом случају уредништво спроводи додатно транспарентнији и ригорознији двоструко слепи процес рецензије. То подразумева да ће Редакција часописа уложити напор да одржи интегритет рецензије и необјективност сведе на најмању могућу меру, тако што ће други уредник сарадник водити процедуру рецензије независно од уредника аутора, при чему ће тај процес бити апсолутно транспарентан. Уредништво ће посебно водити рачуна да рецензент не препозна ко је написао рад. Као додатну меру предострожности, ако и када се такав чланак објави, уредништво може објавити пропратни коментар који показује колико је процес уређивања и рецензије био транспарентан.

6. У случају кршења права *Војнотехничког гласника*, носилаца ауторских права или самих аутора, објављивања истог рукописа у више часописа, лажног ауторства, плагијата, манипулације подацима ради преваре или било које друге злоупотребе, објављени рад се мора опозвати.

Чланак се може опозвати и зато да би се исправиле озбиљне и бројне омашке које није могуће обухватити објављивањем исправке. Опозив објављује уредништво, аутор(и) или обе стране споразумно.

Опозив има облик засебног рада који се приказује у садржају свеске и уреднички класификује као Опозив или Ретракција.

Опозиви се публикују према захтевима COPE које је разрадио CEON, као издавач базе у којој се *Војнотехнички гласник* примарно индексира, односно издавач

националног цитатног индекса где се метаподаци опозива и опозваних радова морају означити одговарајућим упозорењима и међусобно повезати унакрсним линковима:

У електронској верзији изворног чланка (оног који се повлачи) успоставља се веза (HTML линк) са обавештењем о повлачењу. Повучени чланак се чува у изворној форми, али са воденим жигом на PDF документу, на свакој страници, који указује да је чланак повучен (RETRACTED).

7. Редакција је отворена за академску, научно засновану, колегијалну и подстицајну размену мишљења и критику, односно за изношење евентуалних неслагања у вези са резултатима објављеним у чланцима *Војнотехничког гласника*, тиме што ће пружити могућност учесницима да њихови предметни дописи или полемике буду објављени у рубрици часописа „Писма уреднику”.

Мере, радње, одговорности и обавезе рецензента *Војнотехничког гласника*

Рецензенти су дужни да квалификовано и у задатим роковима доставе уреднику оцену научне, односно стручне вредности рукописа. Рецензент води посебну бригу о стварном доприносу и оригиналности рукописа. Рецензија мора бити сасвим објективна, а суд рецензента јасан и поткрепљен аргументима.

Рецензенти оцењују рукописе у односу на усклађеност садржаја с профилом *Војнотехничког гласника*, значај и корисност садржаја, адекватност примењених метода, научну вредност садржаних информација, стил излагања и опремљеност текста. Рецензија има стандардни формат који обухвата оцене појединих димензија рада, општу оцену и закључну препоруку. Неприхватљива је лична критика аутора.

Рецензент не сме бити у сукобу интереса са ауторима или финансијером истраживања. Уколико такав сукоб постоји, рецензент је дужан да о томе правовремено обавести уредника. Рецензент не прихвата на рецензију радове изван области за коју се сматра потпуно компетентним.

Рецензенти треба да упозоре главног уредника ако основано сумњају или имају сазнање о повредама етичких стандарда од стране аутора рукописа. Дужност рецензента јесте да скрене пажњу уреднику на значајна подударња или сличност рукописа са већ објављеним радом, уколико о томе има лична сазнања. Такође, треба да препозна релевантне изворе који у раду нису узети у обзир. Може да препоручи цитирање одређених референци, али не сме да захтева цитирање радова објављених у часопису *Војнотехнички гласник* или својих радова, ако за то не постоји оправдање.

Од рецензента се очекује да својим сугестијама унапреде квалитет рукописа. Ако оцене да рад заслужује објављивање уз корекције, дужни су да прецизирају начин на који то може да се оствари.

Рукописи који су послати рецензенту морају се сматрати поверљивим документима. Рецензенти не смеју да користе материјал из рукописа за своја истраживања без изричите писане дозволе аутора.

Редакција *Војнотехничког гласника* подстиче рецензенте да рецензије верификују на својим персонализованим страницама у бази Publons, у складу са упутством на страници сајта: Позив и упутство рецензентима за регистрацију у Publons-у.

Рецензентска политика *Војнотехничког гласника*, која је верификована у Publons-у:

- омогућава јавно приказивање рецензије (искључиво након објављивања чланка),
- рецензентима приказује наслове рецензираног чланка (искључиво након објављивања чланка),
- у складу са смерницама Publons-а.

Мере, радње, одговорности и обавезе аутора који пишу чланке за *Војнотехнички гласник*

Аутори гарантују да рукопис представља њихов оригиналан допринос, да није објављен раније и да се не разматра за објављивање на другом месту. Истовремено предавање истог рукописа у више часописа представља кршење етичких стандарда, што га искључује из даљег разматрања за објављивање у *Војнотехничком гласнику*. Рад који је већ објављен на неком другом месту не може бити прештампан у часопису *Војнотехнички гласник*.

Аутори носе сву одговорност за целокупни садржај рукописа. Рукопис не сме да садржи неосноване или незаконите тврдње, нити да крши права других лица.

Аутори су дужни да обезбеде да њихов ауторски тим наведен у рукопису обухвати само она лица која су значајно допринела садржају рукописа. Ако су у битним аспектима истраживачког пројекта и припреме рада учествовала и друга лица, њихов допринос треба навести у фусноти или посебној напомени (Захвалница, Acknowledgements).

Обавеза је аутора да у напомени наведу назив и кодну ознаку научноистраживачког пројекта у оквиру којег је рад настао, као и пун назив финансирајуће институције. У случају да је рад под истим или сличним насловом био изложен на неком скупу у виду усменог саопштења, детаљи о томе треба да буду наведени на истом месту.

Аутори су дужни да потпуно и правилно цитирају изворе који су значајно утицали на садржај истраживања и рукописа. Делови рукописа, укључујући текст, једначине, слике или табеле, који су дословно преузети из других радова, морају бити јасно означени посебном напоменом, нпр. знацима навода са прецизном ознаком места преузимања (броја странице) или, ако су обимнији, наведени у засебном параграфу.

Пуне референце свих навода у тексту (цитата) морају бити наведене у засебном одељку (Литература) и то на једнообразан начин, у складу са цитатним стилем који *Војнотехнички гласник* користи (Harvard Style Manuel). У одељку Литература наводе се само цитирани, а не и остали извори коришћени приликом припреме рукописа.

У случају да аутори открију важну грешку у свом раду након његовог објављивања, дужни су да одмах о томе обавесте главног уредника (или Редакцију *Војнотехничког гласника*) и да сарађују у процесу повлачења или исправљања рада.

Обавеза је аутора да у рукопису наведу да ли су у финансијском или било ком другом битном сукобу интереса који би могао да утиче на њихове резултате или интерпретацију резултата.

Ако се у ауторовом истраживању појављују хемијска једињења, поступци или опрема који су опасни по здравље људи или животиња, то мора бити јасно назначено у рукопису.

Предавањем рукописа аутори се обавезују на поштовање уређивачке политике часописа *Војнотехнички гласник*, што потврђују достављањем Изјаве о ауторству.

Разрешавање спорних ситуација

Сваки појединац или институција могу уреднику и/или уредништву пријавити сазнања о кршењу етичких стандарда и другим неправилностима и о томе доставити веродостојне информације/доказе ради покретања истраге. Поступак провере изнетих доказа одвија се на следећи начин:

– главни уредник доноси одлуку о покретању истраге;

- током тог поступка сви докази се сматрају поверљивим материјалом и предочавају само оним лицима која су директно обухваћена случајем;
- осумњиченим лицима пружа се прилика да одговоре на изнете оптужбе;
- ако се утврди да је заиста дошло до неправилности, оцењује се да ли је реч о мањем прекршају или грубом кршењу етичких стандарда.

Мањи прекршаји, без последица по интегритет рада и *Војнотехничког гласника*, на пример када је реч о неразумевању или погрешној примени публицистичких стандарда, разрешавају се у директној комуникацији с ауторима и рецензентима, без укључивања трећих лица, на неки од следећих начина:

- ауторима и/или рецензентима упућује се писмо упозорења;
- објављује се исправка рада, на пример у случају када се са списка референци изоставе извори који су у самом тексту цитирани на прописан начин;
- објављује се ератум, на пример колико се испостави да је грешка настала омашком уредништва.

У случају грубог кршења етичких стандарда, уредништво може да предузме различите мере:

- објављује саопштење или уводник у којем се случај описује;
- службено обавештава афилијативну организацију аутора/рецензента;
- повлачи објављени рада;
- изриче забрану објављивања у часопису на одређени период;
- предочава случај надлежним организацијама и регулаторним телима ради предузимања мера из њихове надлежности.

Ове мере могу се примењивати појединачно или истовремено. У процесу разрешавања случаја по потреби се консултују релевантне експертске организације, тела или појединци.

Приликом разрешавања етичких спорних поступака уредништво се руководи смерницама Комитета за етику публикација (COPE).

Одрицање одговорности

Изнесени ставови у објављеним радовима не изражавају ставове уредника, чланова Редакције и Уређивачког одбора часописа *Војнотехнички гласник*. Аутори преузимају правну и моралну одговорност за идеје изнесене у својим радовима. Издавач неће сносити никакву одговорност у случају испостављања било каквих захтева за накнаду штете.

Рекламирање

Није дозвољено рекламирање у *Војнотехничком гласнику*.

Детаљи о етичком поступању Војнотехничког гласника доступни су и на страницама часописа: Уређивачка политика, Управљање квалитетом часописа, Подрика квалитету радова у Српском цитатном индексу – издавачу базе у којој се Војнотехнички гласник примарно индексира, односно издавачу националног цитатног индекса.

**КОДЕКС ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЭТИКИ
ЖУРНАЛА «ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК»
ЗАЯВЛЕНИЕ**

ПРИМЕЧАНИЕ: Редакционная политика журнала «Военно-технический вестник» основана на рекомендациях Комитета по этике научных публикаций (COPE Core Practices), общих принципах прозрачности и лучшей практике издательской деятельности COPE, DOAJ, OASPA и WAME, а также на лучшей практике научно-издательской деятельности. Журнал «Военно-технический вестник» является членом COPE (Комитет по этике научных публикаций) со 2 мая 2018 года и членом OASPA (Ассоциация научных издателей открытого доступа) с 27 ноября 2015 года. Редакция применяет Контрольный перечень по выполнению Рекомендации ЮНЕСКО об открытой науке для издателей с открытым доступом. Данный документ является частью инструментария ЮНЕСКО по открытой науке, разработанного с целью поддержки внедрения Рекомендации ЮНЕСКО по открытой науке. Документ составлен при содействии с OASPA.

Публикация статей после их профессиональной рецензии является основной деятельностью научного журнала «Военно-технический вестник». В редакционно-издательском процессе в первую очередь необходимо достичь договоренности об этических нормах и принципах, применяемых ко всем участникам, начиная с автора, редакционной коллегии, профессиональных рецензентов до самого издателя. Вышеперечисленные принципы и процедуры утверждены настоящим Заявлением и Кодексом профессиональной этики журнала «Военно-технический вестник».

Меры, деятельность, права и обязанности редакции журнала «Военно-технический вестник»

Редакция журнала «Военно-технический вестник» не взимает плату за подачу и публикацию статей ни с их авторов, ни с третьих лиц. Все процедуры редактирования и публикации абсолютно бесплатны для авторов, включая подачу, прием, редактуру, корректуру, обработку и публикацию статьи. Нет никаких скрытых затрат.

Окончательное решение по выбору статей к публикации принимается редколлекцией журнала «Военно-технический вестник». Решение принимается исключительно на основании научной ценности статьи. Не допускается дискриминация по признаку расы, пола, религии, этнического происхождения или политических убеждений. При принятии решений редакция руководствуется редакционной политикой, соблюдая положения законодательства, касающихся клеветы, нарушения авторских прав или плагиата.

Рукописи являются конфиденциальным материалом и хранятся соответствующим образом. Пользоваться информацией и идеями из рукописей в личных целях без письменного согласия авторов недопустимо.

По рекомендациям Центра поддержки оценки в образовании и науке (ЦЕОН) редакция журнала в своей работе пользуется электронной системой редактирования SCIndex (Сербский индекс цитирования) ASSISTANT (разработанной на основе платформы OJS), обеспечивающей прозрачность и доступность информации о текущем состоянии рукописи. Редакция несет полную ответственность за принятие решения о её публикации.

Процедура редактирования статьи в журнале «Военно-технический вестник» включает следующие обязанности редакции:



1. После приема статьи редакции необходимо получить от автора Авторское заявление, в котором авторы: должны указать свой индивидуальный вклад в создание статьи; подтвердить, что ознакомлены с политикой журнала в отношении отзыва уже опубликованных статей; подтвердить, что представленная рукопись является оригинальной работой, написанной и подписанной указанными авторами, что ранее она не публиковалась, а также, что рукопись не рассматривается другими изданиями для публикации и не проходит рецензирование в других журналах; подтвердить, что статья и дополнительные материалы не содержат никаких ложных высказываний, которые могли бы рассматриваться как клевета, не содержат никаких противоречащих закону утверждений или материалов, которые каким-либо образом могут поставить под угрозу личные или имущественные права физических или юридических лиц; подтвердить, что у них нет конфликта интересов, который мог бы поставить под сомнение целостность и достоверность результатов, представленных в статье, и что авторы получили согласие от правообладателей на использование всех выдержек из трудов и других материалов, защищенных авторским правом, которые использовались в рукописи, а также подтвердить, что они указали цитируемые источники в рукописи и дополнительных материалах.

2. Прежде чем редактор ознакомится с рукописью, редколлегия проверяет содержание рукописи на предмет плагиата, для того чтобы удостовериться в оригинальности представленных статей и предотвратить публикацию плагиата и дублирования. Журнал «Военно-технический вестник» не публикует статьи, содержащие плагиат. Редакция придерживается мнения, что плагиат, то есть использование чужих идей, слов или других творческих способов внесения вклада в науку без намеренного указания источника и их представление как своих собственных, является серьезным нарушением исследовательской и публикационной этики. Плагиат является нарушением авторских прав, и он уголовно наказуем.

Под плагиатом понимается:

- Дословное или приблизительное заимствование, а также намеренное перефразирование частей текстов других авторов без четкого указания источника, с целью скрыть источник;
- Копирование уравнений, данных или таблиц из чужих документов без четкого указания источника и/или без согласия автора или правообладателя;

Рукописи с явными признаками плагиата будут автоматически отклонены. Если плагиат выявлен в уже опубликованной статье, то она будет отозвана в порядке, описанном в пункте 6.

В целях предотвращения публикации плагиата в журнале рукописи проверяются с помощью системы iThenticate/CrossRef в рамках платформы SCIndex ASSISTANT. Результаты проверки перепроверяются редакционной коллегией журнала в соответствии с принципами и рекомендациями Комитета по этике научных публикаций (COPE).

3. После проверки на плагиат редколлегия передает рукопись редактору, который в дальнейшем будет вести редакционный процесс и выбирать рецензентов. Редколлегия и редактор, которым направлена представленная статья, не должны иметь конфликта интересов в отношении рассматриваемой ими рукописи.

При наличии такого конфликта интересов о выборе рецензентов и судьбе рукописи решение принимает редакционный совет. Члены редакционного совета, у которых тоже может быть конфликт интересов, также не участвуют в процессе принятия решения по конкретной рукописи.

4. Рукописи представляются на рецензирование только после первичной оценки с учетом соответствия оформления и тематики статьи для публикации в журнале «Военно-технический вестник». Особое внимание уделяется продолжительности оценки, которая длится ровно столько, сколько это необходимо.

Редакция журнала «Военно-технический вестник» проводит конфиденциальное рецензирование всех статей, применяя «двойной слепой метод».

Главный редактор и члены редколлегии обязаны принять соответствующие меры для того, чтобы авторы и рецензенты оставались анонимными друг для друга во время и после процесса рецензирования, проведенного методом двойного слепого рецензирования. Редакция журнала «Военно-технический вестник» при необходимости может предоставить информацию о представленной рукописи только автору, рецензентам или потенциальным рецензентам.

Все рукописи рецензируются как минимум двумя анонимными рецензентами, которые рецензируют рукопись независимо друг от друга. Рецензенты выбираются исключительно на основании их компетенции в области исследования рукописи. Рецензенты не могут быть коллегами авторов, то есть работать в том же учреждении, где работает автор, и они не должны иметь с авторами совместных работ, опубликованных в ближайшем прошлом. Возможные пожелания и предложения авторов о привлечении конкретных рецензентов не принимаются.

Рецензирование проводится с целью оказания помощи редколлегии при принятии решений о публикации статей или отказе авторам, а также улучшения качества статьи путем коммуникации рецензента с редактором, авторами и другими рецензентами.

В процессе рецензирования главный редактор вправе потребовать от автора дополнительную информацию, включая исходные данные, если это необходимо для оценки рукописи. Редактор и рецензенты должны хранить данную информацию в конфиденциальности и не вправе использовать ее в иных целях.

Процесс рецензирования обычно занимает максимум четыре недели и только в исключительных случаях он может длиться до трех месяцев. Период времени от подачи рукописи до ее публикации составляет примерно 90 дней.

Если авторы предъявляют серьезные и обоснованные претензии на рецензию, редколлегия должна проверить являются ли рассматриваемые рецензии объективными и соответствуют ли они академическим стандартам. Если объективность или качество этих рецензий вызывает сомнения, редактор привлекает дополнительных рецензентов.

Дополнительные рецензенты также привлекаются, в случае если решения выбранных рецензентов полностью расходятся (принять/отклонить) или противоречат друг другу по другим признакам.

Окончательное решение о принятии рукописи к публикации принимается исключительно редакционной коллегией.

5. В исключительных случаях, особенно когда выбор журнала ограничен из-за специфической темы статьи, членам редколлегии журнала «Военно-технический вестник» допускается публиковаться в нем. В таком случае редколлегия гарантирует, что процесс двойного слепого рецензирования будет еще более прозрачным и строгим. Это означает, что редакция приложит все усилия для того, чтобы сохранить целостность рецензии и свести к минимуму любую предвзятость. Заместитель редактора проведет абсолютно прозрачную процедуру рецензирования независимо от редактора-автора. Редакционная коллегия позаботится о том, чтобы рецензент не узнал кто является автором статьи. В качестве дополнительной меры предосторожности, если и когда такая статья будет опубликована, редколлегия к

статье добавит примечание, содержащее информацию о высоком уровне прозрачности, проведенных процессов редактирования и рецензирования.

6. В случае нарушения прав журнала *«Военно-технический вестник»*, авторских прав или самих авторов, а также в случае повторной публикации одной и той же статьи в различных изданиях, присвоения авторства, плагиата, манипулирования данными или другого вида нарушения этических норм, опубликованная статья будет отозвана.

Статья также может быть отозвана с целью исправления многочисленных и/или фундаментальных недостатков, которые не могут быть устранены исправлениями после публикации. Отзыв статьи производится редакцией, автором (авторами) или обеими сторонами по взаимному согласию.

Уведомление об отзыве имеет форму отдельного документа, указанного в содержании выпуска под названием «Отзыв» или «Ретракция».

Отзывы публикуются в соответствии с требованиями COPE, разработанными SEON в его базе данных, где *«Военно-технический вестник»* индексируется в первую очередь, при этом метаданные отозванных и снятых с публикации статей должны быть обозначены соответствующим предупреждением и связаны между собой ссылками.

За статьей (утвержденной к отзыву) в электронном формате закрепляют HTML ссылку с уведомлением о её снятии с публикации. Изъятая статья хранится в исходном виде, но каждая страница PDF формата визируется водяным знаком, свидетельствующим об изъятии статьи с публикации (RETRACTED).

7. Редакция открыта для академического, научно обоснованного, коллегиального и продуктивного обмена мнениями и критикой, а также для выражения возможных разногласий относительно результатов в статьях, опубликованных в журнале *«Военно-технический вестник»*, предоставляя возможность участникам дискуссии публиковать свои письма по предмету полемики в рубрике: «Письма редактору».

Меры, деятельность, права и обязанности рецензентов журнала «Военно-технический вестник»

Рецензенты должны профессионально и объективно аргументировать свою позицию и в указанный срок предоставлять редактору оценку научной ценности и оригинальности рукописи.

Рецензенты, рассматривая работы оценивают соответствие содержания статьи с профилем журнала *«Военно-технический вестник»*, релевантность исследуемой области и примененных методов, оригинальность и научную значимость результатов, представленных в рукописи, стиль научного изложения, а также использование в тексте научного аппарата. Рецензия должна быть выполнена в стандартном формате, включающем оценки отдельных аспектов работы, общую оценку и заключительную рекомендацию. Личная критика автора недопустима.

У рецензента не должно быть конфликта интересов с авторами или организацией, финансирующей исследование. При наличии такого конфликта рецензент обязан своевременно сообщить об этом редактору. Рецензент может выполнять оценку только тех рукописей, которые соответствуют его области научных и профессиональных интересов, в которой он считается экспертом.

Рецензенты обязаны уведомлять главного редактора в случае, если они обоснованно подозревают или, если они выявили нарушения этических норм в рукописи.

Рецензенты обязаны идентифицировать релевантные существующие работы, которые автор не цитировал. По любому общему сведению или аргументу

приведенным в работе должны быть указаны соответствующие источники цитирования. Рецензент обязан обратить внимание редактора на значимые сходства работы с другими опубликованными работами, в случае если такое будет обнаружено. Также рецензенты должны рекомендовать релевантные источники для цитирования, которые не были учтены в работе. Однако они не вправе необоснованно требовать от авторов цитирования работ, опубликованных в журнале «Военно-технический вестник» или своих собственных работ.

Рецензенты оказывают содействие в улучшении качества рукописи своими предложениями и рекомендациями. Если они считают, что работу можно публиковать только после внесения определенных исправлений, то они обязаны указать каким именно образом это лучше сделать.

Рукописи, представленные рецензенту, считаются конфиденциальным документом. Рецензенты не вправе использовать материалы рукописей в своих собственных исследованиях без письменного согласия автора.

Редакция журнала «Военно-технический вестник» призывает рецензентов подтверждать свои рецензии на своей личной странице в базе Publons в соответствии с инструкциями, опубликованными на страницах веб-сайта: Приглашение для рецензентов и авторов и инструкция по регистрации в Publons.

Политика журнала «Военно-технический вестник» относительно рецензий, подтвержденная в Publons:

- обеспечивает публичный доступ к рецензии (но только после публикации статьи),
- позволяет рецензентам отображать заголовок рецензируемой статьи (но только после публикации статьи) в соответствии с рекомендациями Publons.

Меры, деятельность, права и обязанности авторов, публикующихся в журнале «Военно-технический вестник»

При подаче рукописи в журнал «Военно-технический вестник» автор гарантирует, что рукопись является оригинальной работой, которая не была опубликована ранее и не рассматривается к публикации в других издательствах. Дублирование одной и той же статьи является нарушением этического кодекса, соответственно при обнаружении дублирования автору будет отказано в ее публикации.

Авторы несут ответственность за полное содержание своей рукописи. Рукопись не должна содержать необоснованных или противоречащих закону высказываний, а также не должна нарушать права других лиц.

Авторы должны указать имена, отчества, фамилии всех соавторов, действительно участвующих в процессе исследования и внесших вклад в содержание рукописи. Если в важных аспектах исследовательского проекта и подготовке работы участвовали и другие лица необходимо описать их вклад в сноске или в отдельном примечании (Благодарность, Acknowledgements).

В примечании также должны быть указаны название и кодовый номер научно-исследовательского проекта, в рамках которого была написана статья, а также полное название учреждения/организации, оказавшей финансовую поддержку в осуществлении исследования. В случае, если данное исследование ранее уже было представлено в устной форме, например, на конференции, в примечании необходимо указать название конференции и прочие данные.

Авторы обязаны правильно и полностью цитировать источники, которые оказали значительное влияние на содержание исследования и рукописи. Фрагменты рукописи, включая текст, уравнения, рисунки, графики и таблицы, непосредственно

взятые из работ других авторов, должны быть наглядно выделены, например, кавычками с точной ссылкой на первоисточник (номер страницы). Если предмет цитирования длинный, то его следует оформить отдельным абзацем.

Подробная информация о ссылках в тексте (цитирование) должна быть указана в отдельном разделе (Литература) в соответствии со стилем цитирования, используемым журналом «Военно-технический вестник» (Harvard Style Manual). В разделе «Литература» следует указывать не все источники, использованные при подготовке рукописи, а только цитируемые.

Авторы обязаны незамедлительно уведомить главного редактора (или редакцию журнала «Военно-технический вестник») и содействовать редакции в процессе отзыва или исправления ошибок, в случае если после публикации статьи ими была обнаружена грубая ошибка в ее содержании.

Авторы обязаны указать в рукописи, если существует финансовый или любой другой конфликт интересов, который может повлиять на результаты или интерпретацию результатов исследования.

Если исследование связано с химическими веществами, видами деятельности или оборудованием, представляющими угрозу здоровью людей или животных, это должно быть четко указано в рукописи.

При подаче рукописи авторы соглашаются соблюдать редакционную политику журнала «Военно-технический вестник», подтвердив свое согласие с условиями редакционной политики журнала предоставлением Авторского заявления.

Разрешение спорных ситуаций

Любое лицо либо учреждение вправе в любой момент предъявить претензию редактору или редколлегии в связи с нарушением этических стандартов, подкрепив ее достоверными доказательствами. По получении претензии, подкрепленной доказательствами, редакционная комиссия проведет расследование в соответствии со следующими принципами:

- главный редактор принимает решение о проведении расследования;
- в процессе проверки доказательств все материалы считаются конфиденциальными и будут предоставлены только тем лицам, которые непосредственно причастны к процессу проверки;
- подозреваемым лицам в нарушении этических норм будет предоставлена возможность ответить на выдвинутое против них обвинение;
- если установлено, что нарушение действительно произошло, оценивается степень тяжести нарушения этических норм.

В случае негрубого нарушения (без угрозы репутации журнала «Военно-технический вестник»), например, в случае неправильного толкования или применения публикационных стандартов, редакция напрямую без содействия третьих лиц, обращается к нарушителю следующим образом:

- автору/рецензенту, допустившему ошибку/нарушение направляется письменное предупреждение;
- публикуется уведомление об исправлении, например, если источник, цитируемый в тексте статьи не внесен в список литературы;
- публикуется исправление ошибки, в случае если ошибка произошла по вине редакции.

В случае грубого нарушения этических норм редакция принимает решение о дальнейших мерах:

- публикуется отдельная заметка или статья редактора с описанием случая нарушения этических стандартов;
- направляет официальное уведомление руководителям учреждения, в котором работает автор/рецензент;
- редакция производит отзыв опубликованной статьи;
- редакция объявляет запрет к публикации автора/рецензента на определенный срок;
- информирует соответствующие профессиональные организации и компетентные учреждения о случае, в целях привлечения нарушителя к ответственности.

Редакция вправе предпринимать меры одновременно или поочередно по отдельности. В процессе разрешения дела по мере необходимости проводятся консультации с соответствующими экспертными организациями, органами или лицами.

При разрешении спорных ситуаций редакция журнала руководствуется предписаниями и инструкциями Комитета по этике научных публикаций (COPE).

Отказ от ответственности

Выносимые положения в опубликованных статьях не отражают точку зрения редактора, редколлегии и редакционного совета журнала «Военно-технический вестник». Авторы несут юридическую и моральную ответственность за представленные в своих работах идеи. Редакция не несет никакой ответственности в случае возникновения требований по возмещению материального ущерба и взысканию компенсации морального вреда.

Реклама

Реклама в журнале «Военно-технический вестник» не допускается.

*Более подробно с информацией об Этическом кодексе журнала «Военно-технический вестник» можно ознакомиться на интернет-страницах журнала: **Редакционная политика, Управление качеством журнала, Поддержка качеству работ** на сайте Сербского индекса научного цитирования, в базе которой журнал «Военно-технический вестник» первично индексируется.*

STATEMENT OF THE *MILITARY TECHNICAL COURIER* ON ETHICAL CONDUCT

NOTE: The editorial policy of the *Military Technical Courier* is based on the COPE Core Practices, common COPE, DOAJ, OASPA and WAME Principles of Transparency and Best Practice in Scholarly Publishing as well as on the best accepted practices in scientific publishing. The *Military Technical Courier* has been a COPE (Committee on Publication Ethics) member since 2nd May 2018 and a member of OASPA (Open Access Scholarly Publishers Association) since 27th November 2015. The editorial office applies Checklist for open access publishers on implementing the UNESCO Recommendation on Open Science. This document is part of the UNESCO Open Science Toolkit, designed to support implementation of the UNESCO Recommendation on Open Science. It has been produced in partnership with OASPA.

The main scope of the *Military Technical Courier* scientific journal is publishing scientific articles after peer reviewing. In the editing process leading to publishing scientific articles, it is necessary to reach an agreement on ethical principles in the behavior of all parties involved (Editorial Office i.e. Editor, members of the Editorial Board, reviewers, and authors alike). The aforementioned principles and practices are defined by this Statement of the *Military Technical Courier* on Ethical Conduct.

Measures, activities, responsibilities, and duties of the *Military Technical Courier* Editorial Office

The Editorial Office of the *Military Technical Courier* does not charge for submitting manuscripts from their authors nor from third parties. The whole process of processing and publishing is completely free of charge for authors – from the manuscript submission services through processing to the article publishing services. There are no hidden costs whatsoever.

The Editorial Office decides finally which manuscripts are to be published. Decisions are based only on manuscript values. In making decisions, there is no discrimination on the basis of race, sex/gender, religion, ethnic origin or political beliefs. In making decisions, the Editorial Office is guided by the Journal's policy, complying with legal regulations dealing with libel, copyright infringement and plagiarism.

Manuscripts are kept as confidential material. No information and/or ideas from manuscripts are to be used for private purposes without authors' explicit consent in writing.

In its work, following the recommendations of the Centre for Evaluation in Education and Science (CEON/CEES), the Editorial Office uses the Serbian Citation Index (SCIndeks) ASSISTANT electronic editing system which provides full transparency of the publishing process (developed on the basis of the OJS platform) while being fully responsible for accepting and publishing articles.

The editing process in the *Military Technical Courier* consists of the following steps of the Editorial Office:

1. After receiving manuscripts, the Office asks the authors to fill in the Authorship Statement in which they: specify their contribution to the manuscript; confirm that they are familiar with the Journal's policy regarding the retraction of already published articles; confirm that the submitted manuscript is an original paper written and signed by its authors, not previously published, not considered for publication elsewhere and not concurrently sent for review to other journals; confirm that the manuscript and the additional material contain neither any false statements that could be considered defamation, any false claims nor material that in any way endangers personal or property rights of natural or legal persons; confirm that they do not have a conflict of interest that could cast doubt on the article's

integrity and the credibility of the results published in it; confirm that they have obtained permission from copyright holders to use all content from copyright-protected works and other copyright-protected material used in the manuscript; and confirm that they have acknowledged the sources in the manuscript and supplementary material.

2. Before the Editor attends to the manuscript, the Editorial Office checks the manuscript content for plagiarism in order to establish the originality of submitted papers and prevent plagiarism and duplication. The *Military Technical Courier* does not publish plagiarized papers. The Editorial Office is of the opinion that plagiarism i.e. using another's ideas, words or other creative ways of contributing without acknowledging their source and presenting them as one's own is serious violation of research and publication ethics. Plagiarism may also involve copyright infringement which is violation of law.

Plagiarism involves:

- Verbatim or nearly verbatim copying or paraphrasing parts of other authors' texts without clear citing of the source purposefully, in order to hide the source;
- Copying equations, data or graphical presentations from documents of others without clearly acknowledging the source and/or without the authorization of the original author or copyright holder;

A manuscript showing obvious signs of plagiarism is rejected automatically. In case plagiarism is found in an already published article, the article is revoked (retracted) following the procedure given in point 6.

In order to prevent plagiarism, the Journal uses the iThenticate/CrossRef system within the SCIndex Assistant service for checking manuscripts. The results obtained by such checking are verified by the Editorial Office in accordance with the COPE guidelines and recommendations.

3. After being checked for plagiarism, a manuscript is dealt with by the Editor who continues the publishing process by choosing peer reviewers. Neither the Editorial Team nor the Editor in charge of the particular manuscript are allowed to be in a conflict of interest in the case of the manuscript in question.

If there is a conflict of interest, it is up to the Editorial Board to decide on peer reviewers and further actions regarding the manuscript. The Editorial Board members who might be in a conflict of interest are also excluded from the decision-making process in the case of the manuscript in question.

4. Manuscripts are sent to reviewers only after the initial assessment stating that, based on their form and content scope, they are eligible for publication in the *Military Technical Courier*. Special care is taken that the initial assessment does not last longer than necessary.

The *Military Technical Courier* makes use of double-blind peer review of all papers.

It is mandatory for the Editor-in-Chief and the Editorial Team members to take appropriate measures that authors and reviewers remain anonymous to each other during and after the reviewing process, in accordance with the double-blind peer review method. The Editorial Team of the *Military Technical Courier* can give information on the submitted manuscript only to the author, reviewers or potential reviewers if necessary.

Every manuscript has to be reviewed by at least two reviewers who are not aware of each other's identity and who review the manuscript independently of each other. Reviewers are chosen solely based on whether they have relevant knowledge for the particular paper review. They must not have the same affiliation as the paper author(s) and they are not allowed to have been co-authors with them in the recent past. Possible suggestions of manuscript authors on engaging particular reviewers are not accepted.

The purpose of a review is to help the Editorial Team make a decision whether the paper should be accepted or rejected and to improve the quality of the manuscript through the process of communication with the Editor, authors and other reviewers. During the reviewing process, the Editor-in-Chief may ask the author to submit additional information, including raw data, if it is necessary for assessing the manuscript. The Editor and the reviewers should treat such information as confidential and should not use it for any other purpose.

The reviewing process usually lasts for four weeks maximum, and only exceptionally up to three months. The period of time from the manuscript submission to its publishing is approximately 90 days.

If authors have some serious and justifiable concern with reviews, the Office checks whether the reviews in question are objective and of academic standard. If the objectivity or quality of these reviews are questionable, the Editor engages additional peer reviewers.

Additional reviewers are also engaged when the decisions of the assigned reviewers are contradictory (accept/reject) or somehow incompatible.

The final decision on the acceptance of a manuscript for publication is made exclusively by the Editorial Team.

5. In extreme cases, especially when the choice of journals is limited due to the paper's narrow subject field, it is acceptable that the members of the Editorial Team of the *Military Technical Courier* may also be authors of scientific articles published in it. However, in this case, the Editorial Team ensures that the double-blind review process is even more transparent and more rigorous. This means that the Editorial Office will make every effort to maintain the integrity of the review and to minimize any bias by having another associate editor handle the review procedure independently of the editor – author in a completely transparent process. The Editorial Team will take special care that a reviewer does not recognize the author's identity. As an extra precaution, if and when such an article is published, the Editorial Team may accompany the article with a note about a high level of transparency of the editing and reviewing processes in question.

6. In case of the violation of the rights of the *Military Technical Courier*, copyright holders or authors as well as in case of multiple publication, fake authorship, plagiarism, data manipulation or any other malpractice, the published article must be retracted.

Articles can also be retracted for correcting numerous and/or fundamental flaws which cannot be dealt with by post-publication corrections. Retractions are issued by the Editorial Team, the author(s) or by both parties based on mutual agreement.

A retraction notice has a form of a separate paper listed in the Contents of an issue, classified as "Retraction".

Retractions are published in accordance with the COPE Guidelines elaborated by the CEON/CEES in its database where the *Military Technical Courier* is primarily indexed.

The CEON/CEES publishes the national citation index where the metadata of retraction notices and related retracted articles must be clearly and appropriately marked and mutually cross-linked. An electronic version of the original article (the one being retracted) is provided with a HTML link to the retraction notice. Retracted articles are retained in their original form but with a watermark on each page of the PDF document indicating that the article in question is RETRACTED.

7. The Editorial Office is open to academic, scientifically based, collegial and productive exchange of opinions and critiques as well as for expressing possible disagreements regarding the results in articles published in the *Military Technical Courier* by enabling polemics and reactions to be published in the Journal's section "Letters to the Editor".

Measures, activities, responsibilities, and duties of the *Military Technical Courier* reviewers

Reviewers are required to assess the scientific and professional values of manuscripts in a qualified and timely manner. They have to focus especially on the genuine contribution and originality of manuscripts. A review should be completely unbiased and the reviewer's assessment unambiguous and backed with arguments.

Reviewers assess manuscripts with regard to the compliance of the content with the Journal's character, importance and effectiveness of the content, convenience of the methods applied, scientific value of the presented information as well as with regard to the style, tone and form of the text. A review has a standard form which comprises assessment of particular elements of a manuscript, general assessment and final recommendation. Personal criticism of the author is unacceptable.

Reviewers must not be in a conflict of interest with authors or research funders. If such a conflict exists, the reviewer is obliged to inform the Editor about it in due time. Reviewers should not accept to review papers out of the scope of their full competence.

They should notify the Editor-in-Chief if they have a reasonable doubt about the author violating ethical standards. A duty of reviewers is to call to the editor's attention any substantial similarity or overlap between the manuscript under consideration and any other published paper of which they have personal knowledge. Also, they should recognize relevant sources which have not been taken into account in the manuscript. They may recommend citing particular references but must not insist on citing articles published in the *Military Technical Courier* or their own papers if there is no justification for doing so.

Their suggestions should aim at improving the manuscript's quality. If they conclude the paper deserves to be published but with corrections, they are required to provide detailed instructions.

Manuscripts sent to reviewers must be treated as confidential documents. The material from manuscripts must not be used for reviewers' own research without the author's explicit consent in writing.

The Editorial Office of The *Military Technical Courier* encourages reviewers to verify their reviews on their personal profile pages in the Publons base in accordance with the instructions on the website page: Call and instructions to reviewers for the registration in Publons.

The reviewing policy of the *Military Technical Courier*, verified in Publons:

- allows visibility of the review in public (only after the article has been published),
 - shows titles of reviewed articles to reviewers (only after the article has been published),
- in accordance with the guidelines of Publons.

Measures, activities, responsibilities and duties of the *Military Technical Courier* authors

Authors undertake that the manuscripts are their original contribution, that they have not been published before, and that they are not considered for publication elsewhere.

Parallel submission represents violation of ethical codes which eliminates the manuscript in question from being further considered for publication in the *Military Technical Courier*. A paper already published elsewhere cannot be published in the *Military Technical Courier*.

Authors are fully responsible for the complete content of their manuscripts. The manuscript should not contain unfounded or illegal statements nor infringe on the rights of others.

Authors are required to make sure that their team mentioned in the manuscript consists only of individuals whose contribution to the content of the manuscript is significant. If there were other individuals who participated in some other important moments of the research project or in the manuscript preparation, their contribution is to be mentioned in a footnote or in a separate note (Acknowledgement).

The name and the code number of the research project from which the paper originates must be given in a note, as well as the full name of the funding institution. In case the paper has been presented orally elsewhere with the same title or a similar one, the details of such a communication have to be mentioned in a note as well.

Authors' duty is to correctly and completely quote the sources which had a significant influence on the content of the research and the manuscript. Fragments of the manuscript, including the text, equations, graphical presentations, figures and tables, directly included from the works of others, must be clearly marked e.g. by quotation marks with a precise reference to the original source (page number) or in a separate paragraph if they are bigger in size.

Full references of all citations in the main text must be given in a separate section (References) in a uniform way, complying with the citation style used in the *Military Technical Courier* (Harvard Style Manual). The Reference Section contains only the cited sources, not all sources used in the preparation of the manuscript.

In case authors find an error in their article after its publication, they are obliged to promptly notify the Editor-in-Chief (or the Editorial Office) and cooperate in the process of retracting or correcting the article.

Authors are under the obligation to declare in their manuscript whether there is a financial or any other conflict of interest that may influence the results or interpretations of the results.

If the research involves chemicals, activities or equipment posing risk to the health of humans or animals, this must be clearly stated in the manuscript.

When submitting their manuscript, authors agree to comply with the editorial policy of the *Military Technical Courier* and they confirm such compliance by submitting the Authorship Statement.

Handling allegations of misconduct

Any individual or institution may notify the Editor and/or Editorial Team of ethical malpractice and other misconduct by supplying undisputed information/evidence to start an enquiry. The procedure for investigating the case raised with the supplied evidence is as follows:

- Editor-in-Chief determines to start investigation;
- all evidence is considered confidential during investigation and is available only to those directly involved in the case;
- individuals suspected of ethical breaches are given a chance to respond to the allegations;
- if a misconduct is confirmed, it is further established whether there is a minor or a major violation of publication ethics.

Minor issues not affecting either the integrity of the paper or that of the Journal, e.g. misunderstanding or misapplication of publication standards, are dealt with by directly communicating authors and reviewers, without third parties involved, in one of the following ways:

- authors and/or reviewers are sent a letter of warning;
- a correction notice is published, e.g. when a source, otherwise properly cited within the main text, has been omitted from the Reference List;

- an erratum is published, e.g. when an error is made by the Editorial staff.

Serious, major violations of the ethical code may lead to different measures:

- a separate note or a leading article is published, describing the case;
- affiliate institution of the author/reviewer is officially notified;
- the published article is retracted;
- publishing in the Journal is prohibited for a defined period of time;
- relevant organisations and regulatory bodies are informed about the case for taking course of actions within their competence.

These measures may be taken separately or jointly. In the process of handling the case, relevant expert organisations, bodies or individuals are consulted when necessary.

In resolving ethically controversial issues, the Editorial Team follows the guidelines of the Committee on Publication Ethics (COPE).

Disclaimer

The views in the published articles do not represent the views of the Editor, the Editorial Office, the Editorial Team or the Editorial Board of the *Military Technical Courier* journal. Authors take full legal and moral responsibility for the information and opinions expressed in their articles. The publisher will not be held liable in any way for any claims or damages.

Advertising

Advertising in the *Military Technical Courier* is not permitted.

*Details on the ethical conduct of the Military Technical Courier are also available on the Journal pages: **Publication Policy, Journal Quality Management and Article Quality Support** via the website of the Serbian Citation Index (SCIndex) – publisher of the national citation index, i.e. publisher of the base in which the Military Technical Courier is primarily indexed.*

Ликовно-графички уредник
Марија Марић, e-mail: marija.maric@mod.gov.rs

Лектор
Добрила Милетић, e-mail: miletic.dobрила@gmail.com

Превод на енглески
Јасна Вишњић, e-mail: jasnavisnjic@yahoo.com

Превод на руски
Др Карина Авагјан, e-mail: karinka2576@mail.ru

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

623+355/359

ВОЈНОТЕХНИЧКИ гласник : научни часопис Министарства одбране
и Војске Србије = Военно-технический вестник : научный журнал
Министерства обороны и Вооружённых сил Республики Сербия =
Military Technical Courier : scientific Journal of the Ministry of Defence and the Serbian
Armed Forces / главни и одговорни уредник Драган Памучар. -
Год. 1, бр. 1 (1. јан. 1953)- . - Београд : Универзитет одбране у Београду,
Војна академија, 1953- (Београд : Војна штампарија). - 23 cm

Тромесечно. - Текст на срп., рус. и енгл. језику. - Друго издање
на другом медијуму: Vojnotehnicki glasnik (Online) = ISSN 2217-4753
ISSN 0042-8469 = Војнотехнички гласник
COBISS.SR-ID 4423938

Цена: 600,00 динара

Тираж: 100 примерака

На основу мишљења Министарства за науку, технологију и развој Републике
Србије, број 413-00-1201/2001-01 од 12. 9. 2001. године,
часопис „Војнотехнички гласник“ је публикација од посебног интереса за науку.

УДК: Народна библиотека Србије, Београд

Адреса редакције: Војнотехнички гласник,
Вељка Лукића Курјака 33, 11042 Београд

<http://www.vtg.mod.gov.rs>

<http://aseestant.ceon.rs/index.php/vtg/issue/current>

<http://scindeks.nb.rs/journaldetails.aspx?issn=0042-8469>

<https://www.redalyc.org/revista.oa?id=6617>

http://elibrary.ru/title_about.asp?id=53280

<https://doaj.org/toc/2217-4753>

Војнотехнички гласник је лиценциран код EBSCO Publishing-a.

Комплетан текст *Војнотехничког гласника* доступан је у базама података EBSCO Publishing-a.

e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs

Twitter: @MilTechCourier

Претплата на штампано издање: e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs; тел. 066/87-00-123.

Часопис излази тромесечно.

Први штампани број *Војнотехничког гласника* објављен је 1. 1. 1953. године.

Прво електронско издање *Војнотехничког гласника* на Интернету објављено је 1. 1. 2011. године.

Штампа: Војна штампарија – Београд, Ресавска 40б, e-mail: vojna.stamparija@mod.gov.rs

Художественный редактор
Мария Марич, e-mail: marija.maric@mod.gov.rs

Корректор
Добрила Милетич, e-mail: miletic.dobрила@gmail.com

Перевод на английский язык
Ясна Вишнич, e-mail: jasnavisnjic@yahoo.com

Перевод на русский язык
Д.филол.н. Карина Кареновна Авагян, e-mail: karinka2576@mail.ru

CIP – Каталогизация в публикации
Национальная библиотека Сербии, г. Белград

623+355/359

ВОЈНОТЕХНИЧКИ гласник : научни часопис Министарства одбране
и Војске Србије = Военно-технический вестник : научный журнал
Министерства обороны и Вооружённых сил Республики Сербия =
Military Technical Courier : scientific Journal of the Ministry of Defence and the Serbian
Armed Forces / главни и одговорни уредник Драган Памучар. -
Год. 1, бр. 1 (1. јан. 1953)- . - Белград : Универзитет одбране у Београду,
Војна академија, 1953- (Белград : Војна штампарија). - 23 cm

Тромесечно. - Текст на срп., рус. и енгл. језику. - Друго издање
на другом медијуму: Vojnotehnički glasnik (Online) = ISSN 2217-4753
ISSN 0042-8469 = Војнотехнички гласник
COBISS.SR-ID 4423938

Цена: 600,00 динаров

Тираж: 100 екземпляров

На основании решения Министерства науки и технологий Республики Сербия,
№ 413-00-1201/2001-01 от 12. 9. 2001 года, журнал «Военно-технический вестник»
объявлен изданием, имеющим особое значение для науки.

УДК: Национальная библиотека Сербии, г. Белград

Адрес редакции: Војнотехнички гласник,
Ул. Велька Лукича Куряка 33, 11042 Белград, Република Сербия

<http://www.vtg.mod.gov.rs>

<http://aseestant.ceon.rs/index.php/vtg/issue/current>

<http://scindeks.nb.rs/journaldetails.aspx?issn=0042-8469>

<https://www.redalyc.org/revista.oa?id=6617>

http://elibrary.ru/title_about.asp?id=53280

<https://doaj.org/toc/2217-4753>

«Военно-технический вестник» включен в систему EBSCO. Полный текст журнала
«Военно-технический вестник» можно найти в базах данных EBSCO Publishing.

e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs

Twitter: @MilTechCourier

Подписка на печатную версию журнала: e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs;
тел. +381 66 87 00 123.

Журнал выпускается ежеквартально.

Первый номер журнала «Военно-технический вестник» выпущен 1.1.1953 года.

Первая электронная версия журнала размещена на интернет странице 1.1.2011 года.

Типография: Војна штампарија – Белград, Ресавска 40б, e-mail: vojna.stamparija@mod.gov.rs

Graphic design editor

Marija Marić, e-mail: marija.maric@mod.gov.rs

Proofreader

Dobriła Miletić, e-mail: miletic.dobriła@gmail.com

English translation and polishing

Jasna Višnjić, e-mail: jasnavisnjic@yahoo.com

Russian translation and polishing

Dr. *Karina* Avagyan, e-mail: karinka2576@mail.ru

CIP – Catalogisation in the publication

National Library of Serbia, Belgrade

623+355/359

ВОЈНОТЕХНИЧКИ гласник : научни часопис Министарства одбране
и Војске Србије = Военно-технический вестник : научный журнал
Министерства обороны и Вооружённых сил Республики Сербия =
Military Technical Courier : scientific Journal of the Ministry of Defence and the Serbian
Armed Forces / главни и одговорни уредник Драган Памучар. -
Год. 1, бр. 1 (1. јан. 1953)- . - Београд : Универзитет одбране у Београду,
Војна академија, 1953- (Београд : Војна штампарија). - 23 cm

Тромесечно. - Текст на срп., рус. и енгл. језику. - Друго издање
на другом медијуму: Vojnotehnički glasnik (Online) = ISSN 2217-4753
ISSN 0042-8469 = Војнотехнички гласник
COBISS.SR-ID 4423938

Price: 600.00 RSD

Printed in 100 copies

According to the Opinion of the Ministry of Science and Technological Development
No 413-00-1201/2001-01 of 12th September 2001, the *Military Technical Courier* is a
publication of special interest for science.

UDC: National Library of Serbia, Belgrade

Address: Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier,
Veljka Lukića Kurjaka 33, 11042 Belgrade, Republic of Serbia

<http://www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html>

<http://aseestant.ceon.rs/index.php/vtg/issue/current>

<http://scindeks.nb.rs/journaldetails.aspx?issn=0042-8469>

<https://www.redalyc.org/revista.oa?id=6617>

http://elibrary.ru/title_about.asp?id=53280

<https://doaj.org/toc/2217-4753>

Military Technical Courier has entered into an electronic licensing relationship with EBSCO
Publishing. The full text of *Military Technical Courier* can be found on EBSCO Publishing's
databases.

e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs

Twitter: @MilTechCourier

Subscription to print edition: e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs; Tel. +381 66 87 00 123.

The journal is published quarterly.

The first printed issue of the *Military Technical Courier* appeared on 1st January 1953.

The first electronic edition of the *Military Technical Courier* on the Internet appeared on 1st
January 2011.

Printed by Voјna štampariја – Belgrade, Resavska 40b, e-mail: vojna.stampariја@mod.gov.rs

