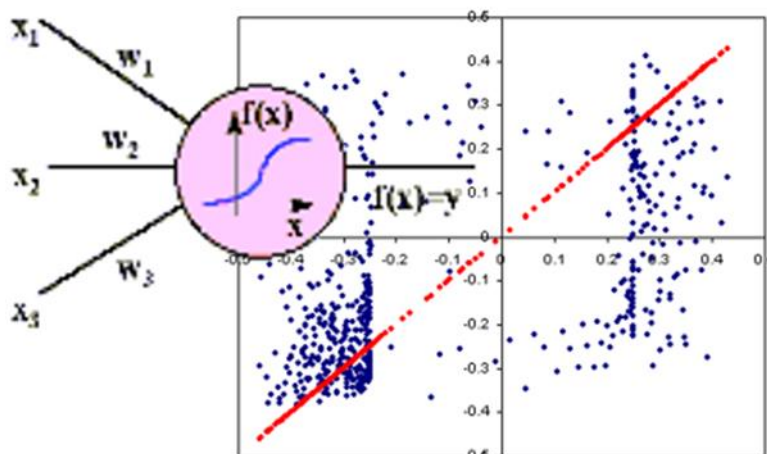


Міністерство освіти і науки України
Національна академія наук України
Національна академія наук вищої освіти України
Інститут проблем штучного інтелекту (Україна)
Донбаська державна машинобудівна академія (Україна)
Вінницький національний технічний університет (Україна)
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Engineering Academy of Serbia (IAS), Belgrade (Serbia)
University of Szeged (Hungary)
Apeiron University in Banja Luka (Bosnia and Herzegovina)
DAAAM International Vienna
Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod, JJ Strossmayer University of Osijek
(Croatia)
University of Montenegro Faculty of Mechanical Engineering
University of Zielona Góra (Poland)
Вінницький національний аграрний університет (Україна)
"American Journal Neural Network and Application" (США)
Проблемна лабораторія мобільних інтелектуальних технологічних машин (Україна)



ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

XXIII Міжнародної наукової конференції

«НЕЙРОМЕРЕЖНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ НМТЗ-2024»

Краматорськ-Вінниця-Тернопіль, Україна

Рецензенти:

Рамазанов С.К., докт.техн.наук, д.е.н.,професор, Київський національний університет імені Тараса Шевченка;

Суботін С.О., докт. техн. наук, професор, Запорізький національний технічний університет

Рекомендовано

вченою радою Донбаської державної машинобудівної академії
(протокол № 4 від 28.11.2024)

Програмний комітет конференції

Dašić Predrag - Hon.D.Sc., Prof., Engineering Academy of Serbia (IAS), Belgrade,Serbia;

Gyula Mester, - Dr.Sc., Professor, Academic, University of Szeged, Hungary;

Jenek Mariusz - Dr. Inz, Universitet Zielonogorski, Poland;

Marušić Vlatko - Dr.Sc., Prof., J.J. Strossmayer University of Osijek, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod, Croatia;

Guida Domenico - Dr.Sc., Prof., University of Salerno, Department of Industrial Engineering (DIn), Fisciano, Italy;

Karabegović Isak - Dr.Sc., Prof., Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina;

Mirjanić Dragoljub - Dr.Sc., Prof., Academy of Sciences and Arts of the Republika Srpska (ANURS), Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina;

Nedeff Valentin - Dr.Sc., Prof., University of Bacău, Faculty of Engineering, Bacău, Romania;

Pele Alexandru-Viorel, dean - Dr.Sc., Prof., University of Oradea, Faculty of Management and Technological Engineering, Oradea, Romania;

Raul Turmanidze - Georgian Technical University (GTU), Faculty of Transportation and Mechanical Engineering, Tbilisi, Georgia;

Zhelezarov S. Piya, rector - Dr.Sc., Prof., Technical University of Gabrovo, Gabrovo,Bulgaria;

Гринь О.Г. – к.т.н., доц., ДДМА, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна;

Дмитрієв Д.О. – д.т.н., проф., ХНТУ, м. Херсон, Україна;

Клименко С.А. – д.т.н., проф. ІНМ АНУ, Київ, Україна;

Ковалевська О.С. - к.т.н., доц., ДДМА, м. Краматорськ, Україна;

Ковалевський С.В. - д.т.н., проф., ДДМА, м. Краматорськ, Україна;

Ковальов В.Д. - д.т.н., проф., ДДМА, м. Краматорськ, Україна;

Козлов Л.Г. - д.т.н., проф., ВНТУ, м. Вінниця, Україна;

Кузнецов Ю.М. - д.т.н., проф., НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського, м. Київ, Україна;

Макаренко Н.О. - д.т.н., проф., ДДМА, м. Краматорськ, Україна;

Новіков Ф.В. - д.т.н., проф., ХНЕУ, м. Харків, Україна;

Петров О.В.- к.т.н., доц., ВНТУ, м. Вінниця, Україна;

Рамазанов С.К. – д.т.н., д.е.н., проф., КНЕУ, м. Київ, Україна;

Сапон С.П. – к.т.н., доц., ЧНТУ, м. Чернігів Україна;

Суботін С.О. – д.т.н., проф., ЗНУ, м. Запоріжжя, Україна;

Сухоруков С.І. – к.т.н., доц. ВНТУ, м. Вінниця, Україна;

Турчанін М.А.- д.х.н., проф., ДДМА, м. Краматорськ, Україна.

Н46 Нейромережні технології та їх застосування НМТіЗ-2024: збірник наукових праць XXIII Міжнародної наукової конференції «Нейромережні технології та їх застосування НМТіЗ-2024» / за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. С.В.Ковалевського. – Краматорськ-Тернопіль: ДДМА, 2024. – 229 с.

ISBN 978-617-7889-91-4

У збірнику праць представлені перспективні теоретичні та практичні розробки в області нейромережних технологій, виконані в 2024 р. науковими школами України і світу. Розглядається можливість застосування нейронних мереж для управління об'єктами в режимі реального часу і особливості нейронного керування динамічними об'єктами. Наводиться ряд розробок по застосуванню нейронних мереж в різних областях практичної і науково-дослідної діяльності та створенню інтелектуальної системи для підвищення швидкості та зниження трудомісткості технологічної підготовки виготовлення нових виробів.

Для здобувачів освіти, наукових працівників широкого профілю та фахівців.

ISBN 978-617-7889-91-4

УДК 004.8:62-5:007

©ДДМА,2024

ЗМІСТ

	Стор.
1. Ковалевський С.В. (<i>Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна</i>) XXIII Міжнародна наукова конференція «НЕЙРОМЕРЕЖНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ - НМТІЗ-2024».	8
2. Andrij Medvid, Vitaliy Yakovyna (<i>Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine</i>) ROBOT SELF COLLISION PREDICTION USING KOLMOGOROV-ARNOLD NETWORKS.	11
3. Hesheva Hanna (<i>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Zaporizhzhya, Ukraine</i>) ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF NEURAL NETWORKS IN AUTONOMOUS CONTROL SYSTEMS COMPARED TO TRADITIONAL APPROACHES.	17
4. Kunichik O.V. (<i>Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine</i>) CLOUD-BASED LANDMINE DETECTION SERVICE WITH MESSENGER BOT INTEGRATION.	21
5. Olena Kovalevska (<i>Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk - Ternopil, Ukraine</i>) ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A DRIVER OF TERRITORIAL COMMUNITY DEVELOPMENT.	26
6. Predrag Pravdić (<i>Academy of Professional Studies, Department in Kruševac, Serbia</i>), Violeta Đorđević, Jelena Erić-Obućina, Snežana Gavrilović (<i>Academy of Professional Studies, Department in Trstenik, Serbia</i>) INNOVATIVE APPROACHES TO LEARNING AND ADAPTIVE LEARNING.	29
7. Predrag Pravdić (<i>Academy of Professional Studies, Department in Kruševac, Serbia</i>), Violeta Đorđević, Jelena Erić-Obućina, Snežana Gavrilović (<i>Academy of Professional Studies, Department in Trstenik, Serbia</i>) PERSONALIZED EDUCATIONAL PROGRAMS WITH AI.	38
8. Sergiy Kovalevskyy (<i>Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk - Ternopil, Ukraine</i>), Predrag Dasic (<i>Engineering Academy of Serbia (IAS), Belgrade, Serbia</i>) NEURAL NETWORK BASIS OF INNOVATION.	46
9. Vitaliy Yakovyna, Danylo Melnyk (<i>Lviv Polytechnic National University, Lviv Ukraine</i>) AN INTERPRETABLE SYSTEM FOR BREAST CANCER DIAGNOSIS USING XAI METHODS.	51
10. Афонін Д.І. (<i>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна</i>) МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ В СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ З АГЕНТАМИ.	59
11. Віт Р.В., Мазурець О.В. (<i>Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна</i>) ТЕМАТИЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ ТЕКСТОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗАСОБАМИ ОБРОБКИ ПРИРОДНОЇ МОВИ.	63
12. Ємець К. В. (<i>Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна</i>) ПІДХОДИ ДО ПОПЕРЕДНЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИМИ ЗАСОБАМИ.	67

13. **Zhmai Aleksandr** (*“OFFSETIC” PE, Odessa, Ukraine*) **THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON DEVELOPMENT, EDUCATION AND WELL-BEING OF CHILDREN AND ADOLESCENTS** 69
14. **Ковалевський С.В.** (*Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна*), **Козлов С.Л.** (*Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна*) **ЗАСТОСУВАННЯ ДИФУЗНИХ МОДЕЛЕЙ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ SUPER-RESOLUTION.** 73
15. **Ланде Д. В., Гуменюк О. О.** (*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна*) **МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ДОСТОВІРНОСТІ БІОГРАФІЙ З ВІКІПЕДІЇ НА БАЗІ СЕМАНТИЧНОГО НЕТВОРКІНГУ.** 76
16. **Мазурець О.В., Овчарук О.М.,** (*Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна*) **ДІАГНОСТУВАННЯ ПРОЯВІВ ПОСТТРАВМАТИЧНОГО СТРЕСОВОГО РОЗЛАДУ ЗА НЕЙРОМЕРЕЖЕВИМ АНАЛІЗОМ ТЕКСТОВОГО КОНТЕНТУ.** 85
17. **Мартинов А.Ю., Радюк П.М.** (*Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна*) **ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК ОСНОВА ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ БПЛА ПО РАДІОСИГНАТУРІ.** 90
18. **Мельников О. Ю., Денисенко В. О.** (*Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна*) **ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ РІВНЯ ЛІСОВОГО ВКРИТТЯ ОКРЕМОГО ЛІСНИЦТВА ЗА ДОПОМОГОЮ СУПУТНИКОВОГО С.ЕРВІСУ LANDSAT ТА ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ.** 96
19. **Молчанова М.О.** (*Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна*) **ВИЯВЛЕННЯ ОБ’ЄКТІВ ПРОПАГАНДИ У ТЕКСТОВИХ ПОВІДОМЛЕННЯХ ЗАСОБАМИ ОБРОБКИ ПРИРОДНОЇ МОВИ ІЗ ВІЗУАЛЬНОЮ ІНТЕРПРЕТАЦІЄЮ РЕЗУЛЬТАТІВ.** 101
20. **Павлюк О.М., Міщук М.В., Заболотна А.О., Літовська О.В., Костінський Д.О.** (*Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна*) **НЕЙРОМЕРЕЖНА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗПІЗНАВАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПРОМИСЛОВОГО ПЕРСОНАЛУ ЗА ДАНИМИ СМАРТ-ГОДИННИКІВ.** 107
21. **Петров Д. Д.** (*Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна*) **ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗВ’ЯЗКУ GSM МЕРЕЖІ RL АГЕНТОМ.** 113
22. **Рамазанов С. К.,** (*Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Київ, Україна*) **КОГНІТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИЙНЯТТЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ РІШЕНЬ У НЕЙРОЕКОМОМІКІ У СКЛАДНОМУ ІНФОРМАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ.** 119

23. **Слюсар В.І.** (*Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України*) **НЕЙРОМЕРЕЖНИЙ АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ХМАР НА БОРТУ АВІАЦІЙНИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ МЕТЕОДАНИХ У ПРИЗЕМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ.** 129
24. **Собко О.В.,** (*Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна*) **ВІЗУАЛЬНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО ВИЯВЛЕННЯ КІБЕРБУЛІНГУ У ЦИФРОВИХ ТЕКСТАХ.** 138
25. **Чабан О.Р., Манзюк Е.А.** (*Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна*) **ПІДХІД ДО ІНТЕГРУВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ ЗНАТЬ В МОДЕЛЬ U-NET ДЛЯ СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ МРТ СЕРЦЯ.** 145
26. **Anders T. Sandnes, Bjarne Grimstad, Odd Kolbjørnsen** (*Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway*) **MULTI-TASK LEARNING WITH LEARNED CONTEXTUAL INPUTS.** 150
27. **Andreas Rauscher, Johannes Kaiser, Manoj Devaraju, Christian Endisch** (*Technische Hochschule Ingolstadt, Institute of Innovative Mobility (IIMo), Research Team Electromobility and Learning Systems (ELS), Ingolstadt, Germany*) **DEEP LEARNING FOR PARTIAL DISCHARGE DETECTION IN ELECTRICAL MACHINES.** 153
28. **Antonello Cammarano, Vincenzo Varriale, Francesca Michelino, Mauro Caputo** (*University of Salerno, Fisciano, (SA), Italy*) **DISCOVERING TECHNOLOGICAL OPPORTUNITIES WITH NEURAL NETWORKS AND LITERATURE ANALYSIS.** 158
29. **Carmen Bisogni, Lucia Cimmino, Michele Nappi, Toni Pannese, Chiara Pero** (*University of Salerno, Department of Computer Science & Department of Management & Innovation Systems, Fisciano, Salerno, Italy*) **GAIT-BASED EMOTION RECOGNITION WITH PRIVACY PRESERVATION.** 162
30. **Daniel H. Stolfi, Grégoire Danoy** (*Interdisciplinary Centre for Security, Reliability and Trust (SnT), University of Luxembourg, Luxembourg*) **EVOLUTIONARY SWARM FORMATION FOR AUTONOMOUS ROBOTS.** 167
31. **Daniel Marek, Jakub Nalepa** (*Department of Algorithmics and Software, Silesian University of Technology, Gliwice, Poland; KP Labs, Gliwice, Poland*) **DEEP LEARNING FOR EXTRATERRESTRIAL ROCK SEGMENTATION.** 170
32. **Diego Echeverria-Rios, Peter L. Green** (*School of Engineering, The University of Liverpool, UK*) **GAUSSIAN PROCESSES FOR PREDICTING PRODUCT QUALITY IN MANUFACTURING.** 173
33. **Dominik Pieczyński, Bartosz Ptak, Marek Kraft, Mateusz Piechocki, Przemysław Aszkowski** (*Poznań University of Technology, Institute of Robotics and Machine Intelligence, Piotrowo 3A, Poznań, Poland*) **FAST, LIGHTWEIGHT DEEP LEARNING PIPELINE FOR UAV LANDING SUPPORT.** 176

34. **Federico Lombardo, Federico Pittino, Daniele Goldoni, Luca Selmi** 180
(*University of Modena and Reggio Emilia, Modena, Italy*). **MACHINE LEARNING FOR NANOPARTICLE SIZING WITH BIOSENSOR ARRAYS.**
35. **Federico Rossi, Cinzia Bernardeschi, Marco Cococcioni** 184
(*University of Pisa, Pisa, Italy*) **NEURAL NETWORK VERIFICATION IN CLOSED-LOOP SYSTEMS USING INTERVAL ARITHMETIC).**
36. **Gergő Békési, Lilla Barancsuk, Bálint Hartmann** 188
(*Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary*) **DEEP NEURAL NETWORK STATE ESTIMATION WITH HYPERPARAMETER OPTIMIZATION.**
37. **Giampiero Bardella, Simone Franchini, Pierpaolo Pani, Stefano Ferraina** 191
(*Sapienza University of Rome, Rome, Italy*) **LATTICE PHYSICS APPROACHES FOR NEURAL NETWORKS.**
38. **Lilli Frison, Simon Götzhäuser, Moritz Bitterling, Wolfgang Kramer** 198
(*Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany*) **ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR OPTIMIZING DISTRICT HEATING NETWORKS.**
39. **Łukasz Sobolewski** 203
(*University of Zielona Góra, Zielona Góra, Poland*) **QUALITY EVALUATION OF POLISH TIMESCALE FORECASTING USING GMDH NEURAL NETWORK.**
40. **Mateusz Tejer, Rafal Szczepanski, Tomasz Tarczewski** 207
(*Institute of Engineering and Technology, Nicolaus Copernicus University, Torun, Poland*) **ROBUST TASK SCHEDULING IN ROBOTICS USING REINFORCEMENT LEARNING.**
41. **Mathias Held, Jannis Bulling, Yevgeniya Lugovtsova, Jens Prager** 211
(*Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Germany*) **ELASTIC CONSTANTS FROM ULTRASONIC DISPERSION IMAGES VIA NEURAL NETWORKS.**
42. **Paweł Majewski, Mariusz Mrzyglód, Piotr Lampa, Robert Burduk, Jacek Reiner** 215
(*Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poland*) **MONITORING INSECT LARVAE GROWTH WITH REGRESSION CNN AND KNOWLEDGE TRANSFER.**
43. **Tamara Sobot, Vladimir Stankovic, Lina Stankovic** 220
(*University of Strathclyde, United Kingdom*) **HUMAN-IN-THE-LOOP ACTIVE LEARNING FOR TIME-SERIES ELECTRICAL DATA.**
44. **Tomaz Brzin, Miha Brojan** 226
(*University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia*) **GAN-BASED INVERSE DESIGN OF SOFT MORPHING COMPOSITE BEAMS.**

Мартинюв А.Ю., Радюк П.М. (Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна)

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК ОСНОВА ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ БПЛА ПО РАДІОСИГНАТУРИ

Анотація: У статті представлені пару простих нейронних мереж для розпізнавання радіосигналів по типу модуляції чи маніпуляції. Вибравши кращу із них ми покращили її підналаштуванням кількості рівнів шарів та їх параметри. Також будемо звертати увагу на затребуваний час для навчання та результати досліджень.

Ключові слова: маніпуляції, покращення, підналаштування, кількість шарів, параметри, час навчання, результати досліджень.

Abstract: The article presents a pair of simple neural networks for recognizing radio signals by the type of modulation or manipulation. Having chosen the best of them, we will improve it by adjusting the number of layer levels and their parameters. We will also pay attention to the required time for training and research results.

Keywords: manipulations, improvements, fine-tuning, number of layers, parameters, training time, research results.

Вступ.

Через велику кількість виробників та типів ворожих БПЛА постає проблема розпізнати свій-чужий БПЛА на фоні активних бойових дій. Це відбувається за умов, коли переважна більшість сучасної розвідки та ураження відбувається за рахунок FPV-дронів [1–3]. Визначити тип БПЛА можна і за спектральним радіосигналом оператора [5] чи відеосигналу самого БПЛА [6–9].

Запропонований підхід.

Запропонований метод виявлення ворожого БПЛА запропонований вперше. Він охоплює в собі цифровий радіоприймач, який приймає сигнали керування оператора чи відеосигнал самого БПЛА, комп'ютер чи міні комп'ютер на якому буде розташована сама нейронна мережа із розпізнаванням типу радіосигналу та індикатор, який буде свідчити про наявність БПЛА.

У процесі пошуку нейронних мереж для розпізнавання радіосигналів було добуто основних п'ять типів нейронних мережможливих для розпізнавання радіосигналів. Із них будемовибрати оптимальнішу і вже покращувати її зміною кількості шарів та їх параметрів методом перебору.

Розпізнати БПЛА планується за наступними кроками:

Блок 1. Навчання за набором даних.

Крок 1.1 Запускаємо нейронні мережі та тренуємо згідно нашого набору даних.

Крок 1.2 виводимо результат тренувань у вигляді «Матриці плутанини». Якщо результати задовільні – переходимо до блоку 2

Блок 2. Отримуємо сигнал для порівняння

Крок 2.1 Отримуємо радіосигнал з ефіру керування оператора чи відеосигнал із самого БПЛА

Крок 2.2 Приводимо сигнал у відповідну форму для нейромережі

Блок 3. Виведення результатів для прийняття рішень

Крок 3.1. Порівняння результатів із базою даних по типам БПЛА (по характеристиках модулів, які можуть використовуватися в них)

Крок 3.2. Виведення інформації із ймовірнісним застосування певного типу БПЛА)

Опис даних.

За основу було взято dataset «RadioML 2016.10A» 11 модуляцій, було добавлено ще один тип модуляції «протокол LoRa» на якому і працюють важкі для придушення БПЛА.

Утворений новий dataset має наступні значення:

Кількість зразків модуляцій 12;

Кількість зразків в одному виді 1000;

Розмірність компонента 128x128;

Кількість рівнів SNR 20;

Загальна кількість зразків 240000.

Процедура навчання моделі.

Навчаємо неймережу за набором даних. Після тренувань прогнали ще раз набір даних, який буде на всі 100% складатися із Навчання і тільки наш вхідний сигнал записаний цифровим приймачем подаватимемо на вхід на розпізнавання до якої модуляції відноситься цей записаний радіосигнал. На виході отримаємо ймовірнісні значення цього сигналу у відсотковому відношенні до типу модуляцій. Пізніше порівнюємо характеристики існуючих модулів передачі радіосигналів з нашим розпізнаним сигналом і отримуємо ймовірнісне застосування певного типу передавача на досліджуваному БПЛА.

Описані 5 структур нейронних мереж які будемо досліджувати:

1. BASIC = Conv2D(64, size=(1, 3), activation='relu', input_shape=(H, W, C)), Dropout(0.5), Conv2D(16, size=(2, 3), activation='relu'), Dropout(0.5), Flatten(), Dense(128, activation='relu'), Dense(len(modulation), activation='softmax'), Dropout(0.5)]

2. DEEP = [Conv2D(64, kernel_size=(1, 3), activation='relu', input_shape=(H, W, C)), Dropout(0.6), Conv2D(64, kernel_size=(2, 3), activation='relu'), Dropout(0.6), Conv2D(80, kernel_size=(1, 3), activation='relu'), Dropout(0.6), Conv2D(80, kernel_size=(1, 3), activation='relu'), Dropout(0.6), Flatten(), Dense(128, activation='relu'), Dropout(0.5), Dense(len(modulation), activation='softmax')]

3. LSTM = [ZeroPadding2D(0, 2), Conv2D(64, (1, 5), activation='relu'), Dropout(0.2), ZeroPadding2D((0, 2), data_format='channels_last'), Conv2D(64, (1, 5), activation='relu'), Dropout(0.2)(conv_2), Concatenate(axis=2)([drop_1, drop_2], list(np.shape(merge))), concat_n, concat_h, concat_w, units = np.shape(merge), dimensions = int(concat_h)*int(concat_w), Reshape((units, dimensions)), Bidirectional(LSTM(64)), Dense(128, activation='relu'), Dense(len(modulation), activation='softmax')]

4. CNN = [ZeroPadding2D(0, 2), Conv2D(64, (2, 3), activation='relu'), data_format='channels_last', input_shape=(H, W, C)), Dropout(0.5), Conv2D(80, (1, 3), activation='relu', data_format='channels_last'), Dropout(0.5), Flatten(), Dense(128, activation='relu'), Dense(len(modulation), activation='softmax')]

5. VTCNN2 = [Reshape([1]+in_shp, input_shape=in_shp), ZeroPadding2D((0, 2)), Convolution2D(64, (2, 3), activation="relu", initializer='glorot_uniform'), Dropout(0.0005), ZeroPadding2D((0, 2)), odel.add(Dropout(0.0005), Flatten(), Dense(128, activation='relu', kernel_initializer='he_normal'), Dropout(0.0005), Dense(len(modulation), kernel_initializer='he_normal'), Activation('softmax')) Reshape([len(modulation)])]

Нейронні мережі тренуємо у сукупності усіх рівнів SNR а не окремо. SNR = [-20, -18, -16, -14, -12, -10, -8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18].

Результати.

Для нейронної мережі типу «DEEP» на 50 епох приведені в рисунках 1 – по точності, рисунок 2 - по втрагах, 3 – матриця плутанини.

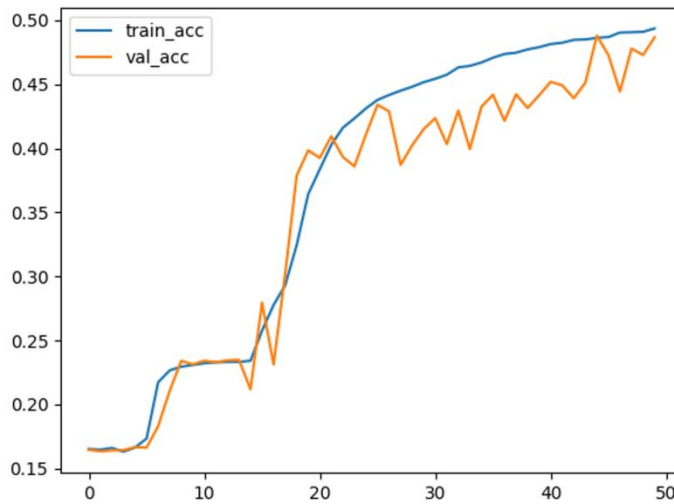


Рисунок 1 – Значення точності нейронної мережі «DEEP» протягом 50 - епох.

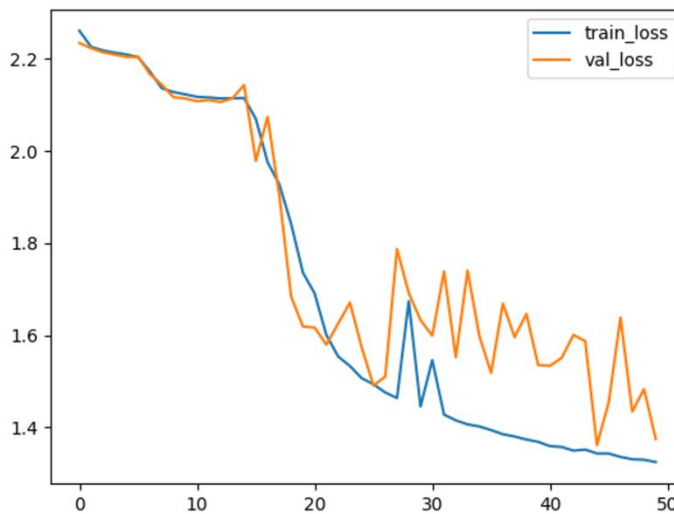


Рисунок 2 – Значення втрат нейронної мережі «DEEP» протягом 50 - епох.

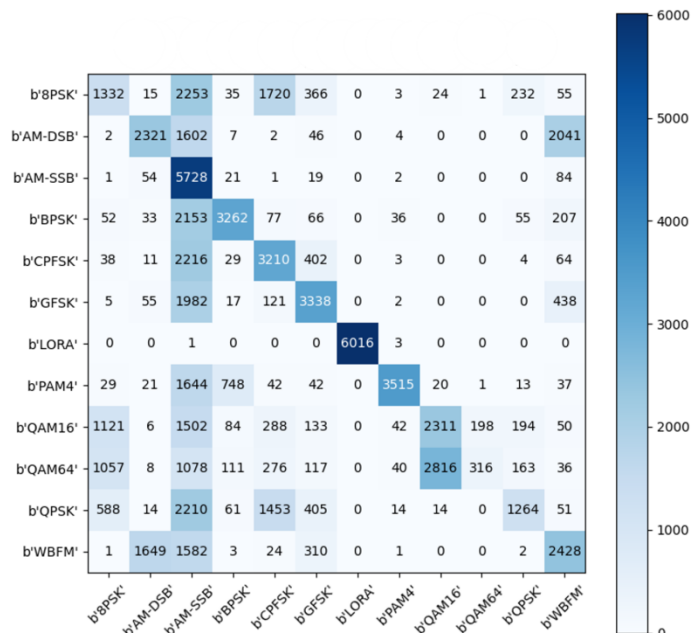


Рисунок 3 – Матриця плутанини нейронної мережі «DEEP» за 50 - епох.

Таблиця 1 – Типи нейронних мереж виражені у відсотковому представленні розпізнавань радіосигналів після тренувань за кількістю епох.

Тип мережі	BASIC	DEEP	LSTM	SNN	VTCNN2
5	8,05	16,54	16,49	16,11	34,06
10	8,13	-	31,97	16,19	48,06
20	8,06	-	54,61	16,15	47,55
50	9,3	44,49	56,5	20,13	52,10
500	-	-	-	-	50,46

Таблиця 2 – Типи нейронних мереж виражені у потребі в часі (секунди) для тренувань за кількістю епох.

Тип мережі	BASIC	DEEP	LSTM	SNN	VTCNN2
5	387	1206	1001	200	120
10	694	-	2085	346	278
20	1375	-	8109	762	514
50	7344	19698	18249	1844	5284
500	-	-	-	-	20303

Таблиця 3 – Показник затребуваного часу до її кількості епох, для тренувань по типу нейронної мережі.

Тип мережі	BASIC	DEEP	LSTM	SNN	VTCNN2
5	1,29	4,02	3,67	0,67	0,4
10	1,16	-	3,48	0,58	0,46
20	1,15	-	6,76	0,64	0,43
50	2,45	6,57	6,08	0,61	1,76
500	-	-	-	-	0,68

По результатах наведених в таблиці 1 бачимо, що «BASIC» тип нейронної мережі по точності розпізнавання радіосигналів досить мала а тому не підходить для подальших дослідів.

По результатах приведених в таблиці 2 бачимо, що «DEEP» тип нейронної мережі забирає багато часу для тренувань, а тому її відкидаємо із-за недостатньої потужності нашого обладнання.

Для нейронної мережі типу «LSTM» ми спостерігаємо геометричний ріст затребуваного часу від кількості епох (згідно таблиці 2) але і ріст розпізнаваності радіосигналу (згідно таблиці 1).

Для нейронної мережі типу «SNN», згідно таблиці 2, ми спостерігаємо лінійну рівність затребуваного часу для тренувань але відсоток досить малий. Можливо при тренуванні біля 1000 чи 5000 ми доб'ємося відсоткового значення більше за 75 але поки недостатня потужність нашого обладнання не дає змогу це перевірити.

Для нейронної мережі типу «VTCNN2», згідно таблиці 3, ми бачимо аномалію що це значення більше одного. Потрібно дослідити це детальніше.

Взявши за основу цей тип нейромережі такий як «VTCNN2» із налаштуванням шарів можна досягти кращих результатів. Ось пару змін шарів та результати обчислень на 50 епох представлені в таблиці 4.

Таблиця 4 – структури шарів для нейронної мережі.

Назва моделі	00	03	08	12	14	64	128	256	512
ZeroPadding2D((0, 2))	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Convolution2D(64,(2,3),Activation="relu",initializer='glorot_uniform')	+	+	sigmoid	+	128	64	128	256	512
Dropout(0.0005)	+	+	+	+	+	+	+	+	+

ZeroPadding2D((0, 2))	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Dropout(0.0005)	+		+		+	+	+	+	+
Flatten()	+		+		+	+	+	+	+
Dense (128, activation='relu', initializer='he_normal')	+		+		256	+	256	512	1024
Dropout (0.0005)		+	+	+	+	+	+	+	+
Flatten()		+	+	+	+	+	+	+	+
Dense(128, ctivation='sigmoid', initializer='he_normal')		+	+	+	256	+	256	512	1024
Dropout (0.0005)	+	+	+		+	+	+	+	+
Flatten()	+	+	+		+	+	+	+	+
Dense(128, activation='relu', initializer='he_normal')	+	+	+		256	+	256	512	1024
Dropout (0.0005)					+	+	+	+	+
Flatten()					+	+	+	+	+
Dense (128, activation='relu', initializer='he_normal')					256	+	256	512	1024
Dropout (0.0005)	+	+							
Flatten()	+	+							
Dense (128, activation='sigmoid', initializer='he_normal')	+	+							
Dropout (0.0005)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Dense (len(modulation), initializer='he_normal')	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Activation ('softmax')	+	+	+	+	+	Soft plus	Soft plus	Soft plus	Soft plus
Reshape ([len(modulation)])	+	+	+	+	+	+	+	+	+
model.compile (loss='categorical_crossentropy', optimizer='adam')	+	+	+	+	+	+	+	+	+
model.build (input_shape=(None, H, W, C))	+	+	+	+	+	+	+	+	+
summary()	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Результат розпізнавання у %	1887 52,37	6444 51,46	1334 8,38	7556 51,42	6872 53,88	133 40,78	306 44,44	4808 35,47	2670 33,01
Час затрачений для Навчання в секундах	1887	6444	1334	7556	6872	133	306	4808	2670

Визначили оптимальну для наших подальших напрацювань.

Висновки.

За основу для нашої нейронної мережі візьмемо нейромережу із такою структурою шарів під назвою «00». Відсоток розпізнавання більший від 50 та затребуваний час середній відносно інших.

Подальша робота буде зосереджена на зборі характеристик передавачів для БПЛА та їхні особливості керування (частоти та типи протоколів, модуляції, можливість стрибків по частоті, можливість підстроювання сигналу до рівня шумів тощо).

Список посилань.

1. A Survey of Traffic Prediction Based on Deep Neural Network: Data, Methods and Challenges / P. Cao et al. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*. Cham, 2022. P. 17–29. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-99191-3_2
2. Azzouz E. E., Nandi A. K. *Modulation Recognition Using Artificial Neural Networks. Automatic Modulation Recognition of Communication Signals*. Boston, MA, 1996. P. 132–176. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2469-1_5
3. Cao G., Wu F., Zhao J. A Survey of Deep Neural Network Compression. *Advances in Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*. Cham, 2021. P. 1442–1463. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-70665-4_157
4. Radiuk P.M. Application of a genetic algorithm to search for the optimal convolutional neural network architecture with weight distribution. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. 2020. Vol. 281, no. 1. P. 7–11. URL: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2020-281-1-7-11>

5. Liu X., Yang D., Gamal A. E. *Deep neural network architectures for modulation classification*. 2017 51st Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers, m. Pacific Grove, CA, USA, 29 Oct. – 1 Nov. 2017 p. 2017. URL: <https://doi.org/10.1109/acssc.2017.8335483>
6. *Model Compression and Acceleration for Deep Neural Networks: The Principles, Progress, and Challenges* / Y. Cheng et al. *IEEE Signal Processing Magazine*. 2018. Vol. 35, no 1. C. 126–136. URL: <https://doi.org/10.1109/msp.2017.2765695>
7. *Human-in-the-loop approach based on MRI and ECG for healthcare diagnosis* / P. Radiuk et al. *Proceedings of the 5th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine : CEUR-Workshop Proceedings, Lyon, France, 18–20 November 2022* / ed. by N. Shakhovska et al. Aachen, 2022. P. 9–20. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3302/paper1.pdf>
8. *SNAP: An Efficient Sparse Neural Acceleration Processor for Unstructured Sparse Deep[-1pt] Neural Network Inference* / J.-F. Zhang et al. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*. 2020. P. 1. URL: <https://doi.org/10.1109/jssc.2020.3043870>
9. *Survey of automatic modulation classification techniques: classical approaches and new trends* / O. A. Dobre et al. *IET Communications*. 2007. No. 1, no 2. P. 137. URL: <https://doi.org/10.1049/iet-com:20050176>