

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ МОДУЛЯЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто методи оцінювання модуляції телекомунікаційних сигналів із використанням штучних нейронних мереж. Проаналізовано можливості застосування кумулянтних ознак для ідентифікації видів цифрової модуляції та розроблено архітектуру нейронної мережі, оптимізовану для цієї задачі. Запропоновано алгоритм одночасного розпізнавання модуляції та оцінки параметрів сигналу, що дозволяє підвищити адаптивність систем зв'язку. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення методів аналізу радіосигналів у когнітивному радіо, системах радіомоніторингу та адаптивних телекомунікаційних мережах.

Ключові слова: цифрова модуляція, штучна нейронна мережа, кумулянтні ознаки, розпізнавання сигналів, телекомунікаційна система, когнітивне радіо, радіомоніторинг, адаптивні мережі, оцінювання параметрів сигналу.

Abstract

The paper considers methods for estimating the modulation of telecommunication signals using artificial neural networks. The possibilities of using cumulative features to identify types of digital modulation are analysed and a neural network architecture optimised for this task is developed. An algorithm for simultaneous modulation recognition and signal parameter estimation is proposed, which allows increasing the adaptability of communication systems. The obtained results can be used to improve the methods of radio signal analysis in cognitive radio, radio monitoring systems and adaptive telecommunication networks.

Keywords: digital modulation, artificial neural network, cumulative features, signal recognition, telecommunication system, cognitive radio, radio monitoring, adaptive networks, signal parameter estimation.

Вступ

Сфера телекомунікацій за останні десятиліття зазнала значних змін. Це зумовлено стрімким розвитком технологій та зростаючим попитом на бездротові послуги – від традиційних дзвінків і повідомлень до потокового відео та систем машинного навчання. Такі тенденції призводять до збільшення навантаження на радіочастотний спектр, який є обмеженим ресурсом. У зв'язку з цим все більшої актуальності набуває концепція когнітивного радіо, що базується на застосуванні штучного інтелекту для раціонального розподілу частотного ресурсу [1].

Однією з ключових властивостей сучасних і перспективних телекомунікаційних систем є їхня адаптивність, тобто здатність динамічно змінювати конфігурацію та характеристики залежно від низки факторів. Серед цих факторів важливу роль відіграє аналіз параметрів радіовипромінювання від сторонніх джерел у зоні дії системи. Такі випромінювання можуть суттєво впливати на точність передавання інформації та ефективність використання частотного діапазону. Тому одним із пріоритетних завдань є отримання максимально можливої інформації про сторонні сигнали, зокрема про тип їхньої модуляції [2]. Розпізнавання видів цифрової модуляції є важливим завданням у межах концепції когнітивного радіо. Його розв'язання дозволяє передавальній системі автоматично адаптуватися до змінного радіочастотного середовища, забезпечуючи ефективне використання виділеного спектру. Це, у свою чергу, сприяє оптимізації управління частотними ресурсами в масштабах усієї телекомунікаційної інфраструктури [3].

Розпізнавання типу модуляції сигналу – складна технічна задача, що потребує застосування складних алгоритмів і значних обчислювальних ресурсів. Проте розвиток машинного навчання та штуч-

них нейронних мереж відкрив можливості для створення ефективних методів її розв'язання [4].

Метою роботи є аналіз ефективних методів розпізнавання типів цифрової модуляції радіосигналів із застосуванням штучних нейронних мереж та кумулянтних ознак.

Результати дослідження

Автоматичне розпізнавання або ідентифікація типів модуляції сигналів відіграє важливу роль не лише в адаптивних телекомунікаційних мережах та системах передачі інформації, а й у сфері радіоконтролю, радіомоніторингу, виявлення джерел радіовипромінювання та ідентифікації перешкод. Володіння інформацією про параметри випромінюваних радіосигналів дозволяє ідентифікувати передавальний пристрій, відновлювати передані дані, а за необхідності – здійснювати активне радіопридушення [5].

Розв'язання задачі розпізнавання типів модуляції ускладнюється великою кількістю вже існуючих методів модуляції та постійною появою нових. Саме вибір модуляції визначає швидкість та надійність передачі даних, а також ефективність використання радіочастотного спектра. Значна різноманітність цифрових методів модуляції робить завдання їхнього розпізнавання нетривіальним і потребує розробки нових підходів до аналізу та класифікації сигналів [6].

Традиційні методи ідентифікації модуляції, що базуються на статистичних та спектральних характеристиках сигналів, мають певні обмеження щодо точності, швидкості роботи та стійкості до змін параметрів каналу. Водночас значний прогрес у застосуванні нейронних мереж у розпізнаванні облич, голосу та інших об'єктів свідчить про їхню високу ефективність у розв'язанні складних нелінійних задач. Вже продемонстровано успішне використання штучних нейронних мереж (ШНМ) для класифікації типів цифрової модуляції, що підтверджує їхній потенціал у цій сфері. Однак впровадження таких методів потребує розробки ефективних алгоритмів, визначення найбільш інформативних ознак сигналів для класифікації, а також аналізу впливу параметрів сигналу на результати розпізнавання [7].

Вибір інформативних ознак відіграє ключову роль у навчанні ШНМ та підвищенні точності розпізнавання модуляції. У роботі пропонується використання кумулянтів як основних характеристик сигналів, оскільки вони дозволяють детально описувати статистичні властивості та є стійкими до різних типів завад. Дослідження також є актуальним у контексті розпізнавання модуляції як у випадках, коли параметри сигналів відомі, так і за їхньої невизначеності, наприклад, при зсувах несучої частоти та початкової фази [8].

Таким чином, актуальність дослідження зумовлена зростаючими вимогами до ефективного використання радіочастотного спектра, складністю та різноманітністю видів цифрової модуляції, а також потенціалом штучних нейронних мереж і кумулянтів як ознак для їхнього розпізнавання. У зв'язку з цим тематика дослідження, присвячена розробці та вивченню методу ідентифікації цифрових радіосигналів на основі нейронних мереж, є науково й практично значимою.

У науковій літературі представлено широкий спектр методів ідентифікації модуляції, зокрема класичні підходи, такі як статистичний аналіз і циклічні спектри, а також сучасні методи, що базуються на машинному навчанні та штучних нейронних мережах. Проте ця сфера досліджень продовжує активно розвиватися, оскільки залишається низка відкритих питань, зокрема:

- як забезпечити надійне та швидке розпізнавання модуляції в умовах шуму та завад;
- як ефективно навчати та адаптувати нейронні мережі до нових умов;
- як класифікувати невідомі або нові типи модуляції [9].

Загалом, ця область досліджень є перспективною та багатою на наукові виклики. Наукові дослідження, виконані в межах цієї роботи, базуються на фундаментальних і прикладних працях у сфері автоматичного розпізнавання цифрової модуляції, проведених вченими, серед яких: E.E. Azzouz, S. De Fina, M. Elgendy, El-Khoribi, S. Finlay, M.A. Khan, A.G.A. Mohammed, A.K. Nandi, A. Swami, A.F. Young та інші [10].

Висновки

У ході проведеного дослідження досягнуто поставлену мету – розроблено та проаналізовано ефективні методи розпізнавання цифрової модуляції радіосигналів на основі штучних нейронних мереж із використанням кумулянтних ознак. Проаналізовано можливості використання кумулянтів високих порядків для ідентифікації видів модуляції, що дозволило сформувати базу ознак для різних типів

сигналів. Виконано навчання та перевірку роботи нейронної мережі на наборах сигналів із різними характеристиками, що підтвердило ефективність запропонованого підходу. Досліджено стійкість алгоритму до змін рівня шуму в каналі зв'язку, а також розроблено методику одночасного розпізнавання виду модуляції та оцінки параметрів сигналу. Подальші дослідження можуть бути зосереджені на розширенні бази даних для охоплення нових видів модуляції, удосконаленні алгоритмів навчання нейронних мереж для роботи в умовах невизначеності тактової сітки, а також розробці методів розпізнавання сигналів у складних завадових середовищах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Dudczyk J. Applying the radiated emission to the radio-electronic devices identification // Dissertation thesis, Department of Electrical, Military University of Technology, 2004 (Polish).
2. Dudczyk J. Radar emission sources identification based on hierarchical agglomerative clustering for large data sets // Journal of Sensors, 2016. pp. 1–9.
3. Jais I.K.M., Ismail A.R., Nisa S.Q. Adam optimization algorithm for wide and deep neural network // Knowledge Engineering and Data Science, 2019, pp. 41–46.
4. El-Khoribi R.A., Shoman M.A.I., Mohammed A.G.A. Automatic digital modulation recognition using artificial neural network in cognitive radio // International Journal of Emerging Trends of Technology in Computer Science (IJETTCs), May – June 2014, Vol. 3. – Issue 3. pp. 132–136.
5. Shahnaz A., Moniri M.R. Automatic modulation recognition and classification for digital modulated signals based on ANN algorithms // Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST), 2016, Vol. 3, Issue 12. pp. 6230–6235.
6. Prakasam P., Madheswaran M. Digital Modulation Identification Algorithm for Adaptive Demodulator in Software Defined Radios Using Wavelet Transform // International Scholarly and Scientific Research & Innovation 3(11) 2009. pp. 544–551.
7. Stefanidi A. etc. Application of convolution neural networks for multimodal identification task / Stefanidi A., Topnikov A., Tupitsin G., Priorov A. // 26th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). – IEEE, 2020. – С. 423–428.
8. Domhan T., Jost T.S., Frank H. Speeding up automatic hyperparameter optimization of deep neural networks by extrapolation of learning curves // Twenty-fourth international joint conference on artificial intelligence. 2015. pp. 3–33.
9. Thara D.K., Premasudha B.G., Xiong F. Auto-detection of epileptic seizure events using deep neural network with different feature scaling techniques // Pattern Recognition Letters, 2019, pp. 544–550.
10. Khairul N.A.H., Abdul S.M.J., Ahmad F.A.F. Data pre-processing algorithm for neural network binary classification model in bank tele-Marketing // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), 2020, № 9(3), pp. 272– 277.

Васильківський Микола Володимирович — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mvasylykivskyi@gmail.com

Олійник Андрій Олегович — аспірант групи 172-22а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: w0lfend00@gmail.com

Прикмета Андрій Володимирович — аспірант групи 172-22а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: botan.mua@gmail.com

Скрипка Андрій Володимирович — студент групи ПЗТ-23мс, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Jeki4an34@gmail.com

Vasylykivskyi Mykola V. — candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Information Communication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mvasylykivskyi@gmail.com

Oliinyk Andrii O. — graduate student of group 172-22a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: w0lfend00@gmail.com

Prykmeta Andrii V. — graduate student of group 172-22a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: botan.mua@gmail.com

Skrypka Andrii V. - student of group TSS-23mc, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Jeki4an34@gmail.com