

УДК 004.4

Мартинов А.Ю., Радюк П.М.

Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НЕЙРОМЕРЕЖІ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ РАДІОСИГНАЛІВ БПЛА

Використання системи штучного інтелекту (ШІ) для ідентифікації безпілотних літальних апаратів (БПЛА) на сьогодні стало вкрай актуальним через зростання кількості та різновидів БПЛА. У роботі розглянуто нейромережу для розпізнавання радіосигналів БПЛА. Визначено межі оптимальності (ефективності) нейронної мережі за кількістю епох, часу навчання точності класифікації.

The use of artificial intelligence (AI) systems for identifying unmanned aerial vehicles (UAVs) has become highly relevant due to the growing number and variety of UAVs. This work examines a neural network for recognizing UAV radio signals. The optimal performance boundaries of the neural network are defined in terms of the number of epochs, training time, and classification accuracy.

З розвитком нових технологій і постійним підвищенням кількості різних типів БПЛА та використання сучасних систем ШІ у різних в галузі оборони виникає потреба у ідентифікації БПЛА за його радіосигналом. Використання нейромережі має бути раціональним (ефективним) за часом оброблення сигналу [1] та з великою ймовірністю розпізнавання радіосигналу для забезпечення життя та здоров'я як військових, так і цивільного населення.

Щоб визначити рівень загрози, яку може нести на собі невідомий БПЛА необхідно дізнатися [2]:

1) частотне розташування радіосигналу, що дає змогу оцінити можливі габарити БПЛА щодо розміщення антен;

2) амплітудні значення випромінюваного відеосигналу БПЛА, що говорить про орієнтовну відстань до нього [1, 3].

3) визначений тип протоколу управління БПЛА, який вказує на те, які модулі передавачів можуть використовуватися.

Сукупність вище наведених чинників дає зрозуміти радіо-обстановку на певній ділянці фронту.

Отже, використання сучасних технологій таких як штучний інтелект (який містить і нейромережі) з метою визначення ефективності нейромережі щодо розпізнавання радіосигналу за допомогою цифрового радіоприймача, який отримує I , Q – складові сигналу [4].

Від натренованості нейромережі залежить точність визначення протоколу керування чи відео БПЛА і відповідно це нам дасть змогу адекватно реагування на загрозу з повітря [5].

Ефективність навчань Ef є основним показником за витратами часу на результат і описується так [1]:

$$Ef = \frac{100 \cdot H}{60 \cdot t(e)} = 1,67 \frac{H}{t(e)}, \quad (1)$$

де 1,67 – коефіцієнт переведення відсотків (множимо на 100) та хвилини переводимо в секунди, $t(e)$ – кількість затраченого часу навчання за кількістю епох, H – отриманий результат розпізнавання у відсотковому відношенні.

Значення затрат часу та отриманий при цьому результат, представлений у відсотках, приведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Розрахункова кількість часу для навчань нейронної мережі з відсотковим результатом класифікації радіосигналу.

Кількість епох, e	Кількість елементів для навчань	Кількість елементів для тестування	Отриманий результат, %	Використання часу для отримання результату нейромережі t , хвилин	Ефективність навчань
5	154000	66000	41	2	34,2
10	154000	66000	47	4	19,6
30	154000	66000	54	12	7,5
50	154000	66000	58	20	4,8
100	154000	66000	62	40	2,6
200	154000	66000	65	80	1,4
300	154000	66000	67	120	0,9
500	154000	66000	71	250	0,5
1000	154000	66000	77	510	0,3

У таблиці 1 кількість епох – це кількість прогонів нейромережі для розпізнавання сигналів. Кількість елементів для тренування – частина дата сету, на основі якого ми тренуємо нейромережу. Кількість елементів для тестувань – частина дата сету, яка не брала участь у навчанні, а бере участь у перевірці правильності розпізнавань сигналів. Ці співвідношення набору даних: 70% – навчання, 30% – тестування. Отриманий результат – це середнє арифметичне значення усіх видів модуляцій, задіяних в дата сеті, які були правильно розпізнані. Використання часу для отримання результату – це та кількість часу, яка була використана для навчань та перевірки нейромережі на розпізнавання сигналів. Ефективність навчань – розрахована за формулою (1).

Таблиця складалася при таких потужностях комп'ютера як: процесор i5-11400@2/60GHz; кількість ядер – 12; ОЗУ – 32 Гб; відеокарта – NVIDIA QUADRO P2000.

Щоб оптимізувати затрати при досліді можна використати мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4 Model B 8GB.

Відповідно до рисунку 1, в проміжку 4-го значення (50 епох) та 5-го значення (100 епох) доцільно використовувати цю нейромережу, тому що вона є лінійною в цьому проміжку.

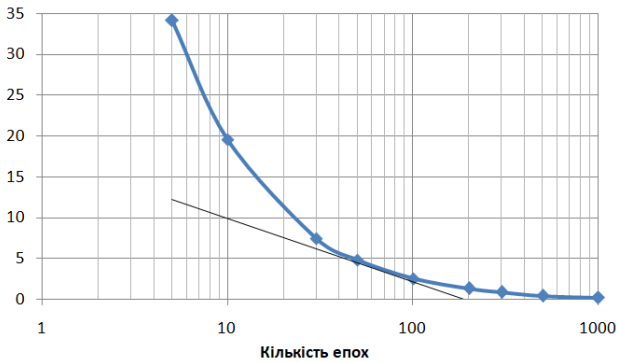


Рисунок 1 – Графік значень ефективності нейромережі щодо лінійності

Отже, за межами лінійності спостерігаємо наступне: при тренуванні нейромережі більше, ніж 100 епох ми затрачаємо занадто багато часу, а менше, ніж 30 епох ми отримуємо занадто малу точність.

Отже, запропоноване представлення ефективності нейромережі до лінійності може інформувати нас про доцільність цієї чи іншої нейромережі. Подальші дослідження спрямовані на вибірку кращої нейромережі для ефективності використання за часом навчання та тестування, а також зменшення затрат на впровадження.

Перелік посилань

1. Підвищення чутливості амплітудного методу пеленгації з БПЛА / В. Авдєєв та ін. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2024. № 1. С. 60–67. URL: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-8>
2. Техніка авіаційна військової призначеності. Апарати літальні безпілотні. Основні терміни, визначення понять і класифікація: ДСТУ В 7371:2013 / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України [Наказ № 1010 від 22.08.2013]. К., 2014. С. 2.
3. Апаратно-програмне забезпечення моніторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії / [В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Берегун та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака]. К., Ін-т технічної теплофізики НАН України, 2016. 352 с.
4. Солоха М.А. Використання безпілотників при вирішенні екологічних задач. Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. Серія «Екологія». 2013. №1070. Вип. 9. С. 84–90. URL: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/42512>
5. The classification of the certain types of the unmanned aerial vehicles / В.Р. Knysh et al. International periodic scientific journal. Modern engineering and innovative technologies. Heutiges ingenieurwesen und innovative technologien. Karlsruhe, 2017. Vol. 1. Issue 2. P. 34–39.