

**НЕЙРОННА МЕРЕЖА ГОПФІЛДА
ТА СУЧАСНІ ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ЇХ ПРОЄКТУВАННЯ**

Дзєндзура Олексій, Луньова Марія

Науковий керівник – доктор фіз.-мат. наук, професор Авраменко О. В.

Центральноукраїнський державний педагогічний університет
імені Володимира Винниченка

У роботі окреслено особливості штучної нейронної мережі Гопфілда та наведено приклади задач, для вирішення яких доцільно застосувати даний тип мережі. Наведена порівняльна характеристик деяких прикладних програм та математичних пакетів з можливістю проєктування та навчання штучних нейронних мереж, а також готових програмних засобів для практичного застосування штучних нейронних мереж. Досліджено їх функції, позитивні і негативні сторони. Обґрунтовано застосування до проєктування штучної нейронної мережі Гопфілда для розв'язання конкретних задач.

Ключові слова: програмні засоби, штучні нейронні мережі, нейронна мережа Гопфілда.

**HOPFIELD NEURAL NETWORK
AND MODERN SOFTWARE OF THEIR DESIGN**

Dzdzura Alexey, Lunova Mariia

Scientific adviser – Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Avramenko O.V.

Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State Pedagogical University

The article describes the features of the Hopfield artificial neural network and provides examples of problems for which it is advisable to use this type of network. A comparative characteristics of some applications and mathematical packages with the possibility of designing and training artificial neural networks, as well as ready-made software for the practical application of artificial neural networks are presented. Their functions, positive and negative sides are investigated. The application of the Hopfield artificial neural network for solving specific problems has been substantiated.

Key words: software, artificial neural networks, Hopfield's neural network.

Постановка проблеми. Швидкий розвиток інноваційних технологій призвів до того, що штучні нейронні мережі (штучний інтелект) стали невід'ємною частиною діяльності людини. Починаючи від пошуку інформації в мережі Інтернет і закінчуючи машинами з автопілотом чи онлайн-перекладачами в реальному часі.

Для України цей напрям достатньо новий, проте у грудні 2020 року Кабмін затвердив концепцію розвитку штучного інтелекту до 2030 року, метою якої є визначення пріоритетних напрямів і основних завдань розвитку технологій штучного інтелекту для задоволення прав та законних інтересів фізичних та юридичних осіб, побудови конкурентоспроможної національної економіки, вдосконалення системи публічного управління [17].

Аналіз досліджень і публікацій. Першими хто сформулював термін «штучний нейрон» були У. Маккалок та У. Пітс ще в середині ХХ ст. [5]. Практично одночасно з моделлю Маккаллока-Пітса з'явилась модель штучного нейрона, що навчається, у вигляді адаптивного лінійного елемента, розробленого Б. Уїдроу [6]. Проте, описані ними моделі штучних нейронів належать до статичних структур і не здатні моделювати динамічний процес. Альтернативою їм виступає модель нейронна Дж. Гопфілда [3], що є на сьогодні найбільш популярною динамічною моделлю біологічного нейрона. Дослідженням штучних нейронних систем також займалися такі провідні вчені як Д. Хебб [2], Г. Кохонен [4], Ф. Розенблатт, Дж. Андерсон [1] та інші.

Мета статті полягає в аналізі сучасних засобів проектування та навчання штучних нейронних мереж, дослідження їх функцій, позитивних і негативних сторін, обґрунтування застосування до проектування штучної нейронної мережі Гопфілда для розв'язання конкретних задач.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Штучна нейронна мережа (ШНМ) – це частина обчислювальної системи, призначена для імітації того, як людський мозок аналізує та обробляє інформацію. Така мережа може бути використана як фільтр та автоасоціативна

пам'ять, тобто така, яка може завершити чи виправити образ, але не може асоціювати отриманий образ іншим образом. На відміну від багатьох нейронних мереж, що працюють до отримання відповіді через певну кількість тактів, мережі Гопфілда працюють до досягнення рівноваги, коли наступний стан мережі дорівнює попередньому. Нейронна мережа Гопфілда – це тип рекурентної, повнозв'язної, штучної нейронної мережі з симетричною матрицею зв'язків. У процесі роботи динаміка таких мереж сходиться до одного з положень рівноваги, які ще називаються енергією мережі, і є локальними мінімумами функціоналу.

На жаль, у нейронній мережі Гопфілда є низка недоліків: по-перше – це відносно невеликий об'єм пам'яті, тому спроба запису великої кількості образів призводить до того, що нейронна мережа перестає їх розпізнавати, по-друге – досягнення стійкого стану не гарантує правильної відповіді мережі через те, що мережа може зійтися до так званих хибних атракторів.

До основних функцій мережі Гопфілда належать: класифікація образів (напр. розпізнавання літер, мови), оптимізація (розв'язання задач оптимізації в математиці, статистиці, економіці та ін.). Головною перевагою, яка спостерігається для цього типу нейронних мереж, є можливість відновлення початкового стану об'єкта, що досліджується.

Таким чином, можемо зробити висновок, що штучні нейронні мережі стали незамінним елементом в людській діяльності. Вони покращують якість прийнятих управлінських рішень та допомагають знизити вплив людського фактору.

В цьому контексті приведемо приклади програм для проєктування та навчання штучних нейронних мереж.

На сьогоднішній день ряд прикладних програм та математичних пакетів у своєму комплектуванні мають бібліотеки та надбудови до існуючих модулів для роботи зі штучними нейронними мережами. Зокрема, це:

MATLAB – це платформа програмування та числових обчислень, яку використовують мільйони інженерів і вчених для аналізу даних, розробки

алгоритмів і створення моделей [12]. MatLab має вбудовану мову та інструментарій для роботи зі штучними нейронними мережами, а саме створення, навчання, тренування, графічний та командний інтерфейс для побудови архітектури мереж. Компанія MathWork реалізує платні продукти та послуги, ціна на які стартує від 940\$ США на рік. Проте доступна пробна версія з пільговим періодом 30 днів;

Statistica – перевірений у всьому світі пакет програмного забезпечення, який можна використовувати для аналізу та візуалізації даних, створення ідей та прогнозів, а також надання індивідуальних рішень для користувачів [16]. В цій програмі робота зі штучними нейронними мережами представлена у модулі *Statistica Neural Networks*, яка складається з інструментів автоматичного нейромережевого пошуку. Автоматизована нейронна мережа дає можливість користувачу пройти через всі етапи створення різних нейронних мереж і вибрати найкращу. Містить найсучасніші, оптимізовані та потужні алгоритми навчання мережі, повний контроль над усіма параметрами, що впливають на якість мережі, такими як функції активації та помилок, складність мережі. Діє підписка. Ціну потрібно уточнювати у продавця, а інформація про доступність демо-версії відсутня;

Maple – це одна з небагатьох систем комп'ютерної математики, яка включає засоби програмування інтерфейсу, які можна використовувати для розробки програмних додатків навчального призначення з графічним інтерфейсом [11]. Починаючи з 2018 року в Maple був представлений пакет *DeepLearning*, який реалізовано за допомогою Google TensorFlow і забезпечує доступ до підмножини API TensorFlow Python, версія 2.2.0. Пакет *DeepLearning* – це набір інструментів для машинного навчання. Пакет підтримує кілька загальних операцій, що використовуються з нейронними мережами, включаючи класифікацію та регресію. Діє підписка, але ціну потрібно уточнювати у продавця. Також доступна пробна версія з пільговим періодом 15 днів та приклади роботи зі штучними нейронними мережами.

Наведені вище прикладні програми дозволяють самостійно зпроектувати та налаштувати ШНМ, яка відповідатиме конкретному завданню. Проте не всі підприємства в змозі розробити власну нейросистему, тому існує можливість використання вже готових програм.

Програмне забезпечення ШНМ призначене для практичного застосування штучних нейронних мереж з основним акцентом на аналізі даних та прогнозуванні. Ці симулятори аналізу даних зазвичай мають певні можливості попередньої обробки та використовують відносно просту статичну нейронну мережу, яку можна налаштувати.

Наведемо приклади декількох найкращих програм для створення штучної нейронної мережі, на які варто звернути увагу.

Neural Designer – це платформа машинного навчання, здатна моделювати й оптимізувати процеси за допомогою доступних даних. Вона спеціалізується на нейронних мережах, які визнані найпотужнішою технікою машинного навчання [13]. Програмний засіб підтримує весь цикл моделювання, від підготовки даних до виготовлення моделі, і був створений для того, щоб інноваційні компанії та дослідницькі центри зосередилися на своїх програмах, а не на математичних алгоритмах чи техніках програмування. В *Neural Designer* використано високопродуктивні обчислювальні методи, такі як оптимізація використання пам'яті, розпаралелювання ЦП і прискорення графічного процесора. Як наслідок, він може аналізувати більші набори даних за менший час. Документація містить багато навчальних посібників і робочих прикладів. *Neural Designer* надає платні продукти та послуги, зокрема: стандартні ліцензії (ціна на які стартує від 2495\$ США на рік), *AWS Pay As You Go* («платиш, лише коли працюєш» 50\$ США / год.), Академічні ліцензії (від 2495\$ США на рік), навчальні програми (1495\$ США, програма розрахована на 8 годин навчання). Також доступна пробна версія з пільговим періодом 15 днів та можливість навчання створювати моделі штучного інтелекту, досліджуючи реальні приклади.

Neuroph – це легка структура нейронної мережі Java для розробки загальних архітектур нейронних мереж. Він містить добре розроблену бібліотеку Java з відкритим вихідним кодом з невеликою кількістю базових класів, які відповідають основним концепціям нейронних мереж. Також має хороший графічний редактор нейронної мережі для швидкого створення компонентів нейронної мережі Java [14]. Даний програмний засіб підтримує такі архітектури нейронних мереж як Адаліна, персептрон, багатошаровий персептрон із зворотним поширенням, імпульсом пружного поширення, мережа Гопфілда, мережа Кохонена та ін. Проста для сприйняття структура та логіка з підтримкою правил навчання під наглядом і без нагляду. нормалізація даних, підтримка розпізнавання зображень. Діє підписка. Ціну потрібно уточнювати у продавця. На сайті доступна демо-версія, для якої потрібно попередньо встановити середовище Java Runtime Environment. Також доступна бібліотека з різноманітними прикладами.

Keras – це бібліотека нейронних мереж високого рівня, написана на Python і здатна працювати поверх TensorFlow або Theano. Він був розроблений з упором на можливість швидкого експериментування [10]. Бібліотека глибокого навчання Keras дозволяє легко і швидко створювати прототипи (за рахунок повної модульності, мінімалізму та розширеності). Він підтримує як згорткові мережі, так і рекурентні, а також їх комбінації. Діє підписка, ціну потрібно уточнювати у продавця. Доступна демо-версія та бібліотека з різноманітними прикладами та відкритим кодом.

NeuroSolutions – ще один простий у використанні пакет програмного забезпечення для нейронних мереж для Windows [15]. Він поєднує модульний інтерфейс мережевого проектування та основі піктограм з реалізацією передового штучного інтелекту та алгоритмів навчання за допомогою інтуїтивно зрозумілих майстрів або простого у використанні інтерфейсу Excel. Проте з 20 серпня 2021 року компанія nDimensional оголосила про припинення використання програмного забезпечення NeuroSolutions і він більше не доступний для нових користувачів.

З появою нейронних мереж дана концепція почала широко використовуватись для аналізу даних, оскільки використання нейронних мереж робить аналіз швидшим, а прогнози – точнішими, порівняно з іншими методами аналізу. Зокрема, прогнозування часових рядів, апроксимація функцій, регресійний аналіз тощо можна проводити за допомогою програмного забезпечення для нейронної мережі. Також важливим прикладом застосування нейронних мереж є прогнозування ігор, підтримка прийняття рішень, розпізнавання образів, автоматизовані системи керування та багато іншого.

Отже, представленні у статті програмні засоби є найкращим вибором для проектування нейронних мереж, зокрема мережі Гопфілда, яка можуть імітувати функціональність людського мозку, і застосовується для обробки даних і розпізнавання шаблонів даних.

Висновки та перспективи подальших пошуків у напрямі дослідження.

Отже, штучні нейронні мережі залишаються досить перспективним напрямком дослідження і результатами їх впровадження, на нашу думку, може бути: підвищення точності складних розрахунків та прогнозів, поліпшення якості продукції, поліпшення життя, шляхом зниження рівня злочинності. І хоча нейронні мережі не можна вважати універсальним засобом для вирішення усіх проблем, проте вони успішно використовуються для роботи у відносно вузьких областях. Перспективою подальших досліджень в цьому напрямку вбачається розгляд можливостей застосування нейронної мережі Гопфілда в розрізі аналізу функціональних особливостей та технічної характеристики даної архітектури при проектуванні у різних прикладних програмах.

Список використаної джерел

1. Anderson J.A., Rosenfeld E. Neurocomputing: Foundations of Research. – Cambridge, MA: MIT Press, 1988.
2. Hebb D. The Organization of Behavior. – New York: Wiley Publications, 1949.
3. Hopfield J.J. Neural Networks and physical with Emergent Collective Computational Abilities // Proc. of the National Academy of Science. – 1982. – 79. – P. 2554-2558.
4. Kohonen T. Associative Memory: A System Theoretic Approach. – Berlin: Springer. 1977.

5. Mc Culloch W.S., Pitts W.A. Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity // Bulletin of Mathematical Biophysics. – 1943. - № 5. – P. 115-133.
6. Widrow B., Hoff M.E. Adaptive Switching Circuits / IRE WESCON Convention Record – New York, IRE, 1960. – P. 96-104.
7. Бодянский Е.В., Руденко О.Г. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения, Харьков: Телетех, 2004. – 369 с.
8. Ежов А.А., Шумский С.А. Нейрокомпьютинг и его применения в экономике и бизнесе (серия "Учебники экономико-аналитического института МИФИ" под ред. проф. В.В. Харитонов). М.: МИФИ, 1998. – 224 с.
9. Хайкин Саймон. Нейронные сети. Полный курс. 2-е изд., испр.: Пер. с англ. – М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2006. – 1104 с.
10. Keras. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [<https://keras.io/>]. Дата звернення 27.10.2021 13:40
11. MapleSoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.maplesoft.com/>. Дата звернення 28.10.2021 13:30
12. Mathwork [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. Дата звернення 30.10.2021 13:30
13. Neural Designer. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.neuraldesigner.com/>. Дата звернення 27.10.2021 12:46
14. Neuroph. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://neuroph.sourceforge.net/>. Дата звернення 27.10.2021 13:00
15. NeuroSolutions [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.neurosolutions.com/>. Дата звернення 28.10.2021 11:20
16. Statistica. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.statistica.com/en/>. Дата звернення 28.10.2021 12:15
17. Концепція розвитку штучного інтелекту в Україні. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#Text>. Дата звернення 03.11.2021 12:46.