

А.Ю. Мальцев

к. ф.-м.н., доцент кафедра математичних методів
системного аналізу НТУУ “КПІ” ім. Ігоря Сікорського Проспект перемоги
37, Київ, Україна

ЩОДО ПИТАННЯ ПРОГНОЗУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ КЛАСИЧНИХ І НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

У статті описано принципи прогнозування з використанням класичних і нейромережевих методів машинного навчання. Наголошено, що механізм прогнозування застосовується у фінансовій сфері, для прогнозування рівня продажів, інфляції, реального внутрішнього валового продукту, цін на нафту, золото, валюту, тощо. Описано принципи генетичного алгоритму, кластеризації, математико-статичні методи, методи нейромережевого прогнозування. Підкреслено, що у порівнянні з математико-статичними методами кластерний аналіз не накладає умов на тип об'єктів, що розглядаються, тому дозволяє досліджувати різноманіття вихідних даних довільної природи. Здійснено порівняння алгоритмів кластеризації. Наведено типову структуру нейронної мережі з прямим зв'язком, математично обгрунтовано принцип визначення похибки роботи штучної нейронної мережі. За для визначення рівня ефективності моделей прогнозування, здійснено оцінку за допомогою математичних статистичних показників: ступінь дисперсії, середньоквадратична помилка, середнє абсолютне відсоткове відхилення, медіана абсолютних відхилень, середньоквадратична похибка прогнозу, середня абсолютна похибка. Наведено схему інформаційних зв'язків при застосуванні системи прогнозування за допомогою класичних і нейромережевих методів машинного навчання. У статті наголошено, що прогнозування за допомогою класичних і нейромережевих методів машинного навчання є програмним комплексом, який призначено для прогнозування даних. Таблично представлено результати аналізу моделей прогнозування. Зазначається, що перша модель поділяє дані на групи, таким чином, щоб кожна група складалася зі схожих об'єктів, а об'єкти різних груп були відмінними один від одного, у другій моделі, на відміну від першої, перелік груп не заданий чітко, а визначається у процесі роботи алгоритму, третя модель за один крок здійснює обробку деякої популяції рядків. Підкреслено, що вибір різних нейрометодів залежить від конкретного завдання і не може бути визначено однозначно, а для досягнення найкращого результату необхідно експериментувати з вибором заходів відстаней, інколи ж навіть змінювати алгоритм.

Ключові слова: штучна нейронна мережа, прогнозування, метод, машинне навчання, кластер, планування, автоматизація.

A. Maltsev

ON THE ISSUE OF FORECASTING USING CLASSICAL AND NEURAL NETWORK METHODS OF MACHINE LEARNING

The article describes the principles of forecasting using classical and neural network methods of machine learning. It is emphasized that the forecasting mechanism is used in the financial sphere, to forecast the level of sales, inflation, real gross domestic product, prices for oil, gold, currency, etc. The principles of genetic algorithm, clustering, mathematical and static methods, methods of neural network prediction are described. It is emphasized that in comparison with mathematical and static methods, cluster analysis does not impose conditions on the type of objects under consideration, so it allows us to study the diversity of initial data of arbitrary nature. The clustering algorithms are compared. The typical structure of a neural network with a direct connection is given, the principle of determining the error of an artificial neural network is mathematically substantiated. To determine the level of efficiency of forecasting models, the estimation was performed with the help of mathematical statistical indicators: degree of variance, standard error, standard absolute percentage deviation, median of absolute deviations, standard error of forecast, average absolute error. The scheme of information connections in the application of the forecasting system using classical and neural network methods of machine learning is given. The article emphasizes that forecasting using classical and neural network methods of machine learning is a software package designed for data forecasting. The results of the analysis of forecasting models are presented in the table. It is noted that the first model divides the data into groups so that each group consists of similar objects, and objects of different groups were different from each other, in the second model, unlike the first, the list of groups is not clearly defined, and is determined in the course of operation of algorithm, the third model in one step carries out processing of some population of lines. It is emphasized that the choice of different neuromethods depends on the specific task and can not be determined unambiguously, and to achieve the best result it is necessary to experiment with the choice of distance measures, and sometimes even change the algorithm.

Key words: artificial neural network, forecasting, method, machine learning, cluster, planning, automation.

Актуальність проблеми. Адекватне та обгрунтоване вирішення завдань прогнозування в умовах формування системи стратегічного планування та ціле покладання, в даний час набуває особливої актуальності. Прогнозування, у тому числі на регіональному рівні, починає відігравати істотну роль при реалізації проектів та прийнятті управлінських рішень у соціально-економічній сфері. Особлива увага має приділятися не лише прогнозуванню значень окремих показників, представлених тимчасовими рядами, а й прогнозуванню структурних трансформацій у тимчасових

лавах для цих показників. Це пов'язано з тим, що крім позаекономічних факторів, які можуть серйозно впливати на стан економіки та соціального благополуччя (яскравим прикладом стало поширення нової коронавірусної інфекції COVID-19 та наслідки, спричинені заходами щодо ефективного подолання пандемії) існує також ряд економічних факторів (зокрема циклічні коливання соціально-економічного розвитку, зміна технологічних укладів, структурні диспропорції в економіці та інші), які серйозно впливають на динаміку часових рядів, що кількісно характеризують рівень соціально-економічного розвитку регіонів і які необхідно враховувати при розробці, прийнятті та реалізації конкретних рішень, проектів та програм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В умовах сучасного розвитку, актуальності набувають роботи направлені на впровадження нейромережових методів машинного навчання у різні сфери життя людей.

Р. В. Кириленко, Н. А. Гук та О. В. Верба (Кириленко, Гук, Верба, 2017) розглянули комплекс алгоритмів для розв'язання задачі прогнозування реакції користувача на зображення при перегляді цифрових зображень.

Роботу (Кривохата, 2020) присвячено розв'язанню задач класифікації звукових сигналів засобами гібридних нейронних мереж із шарами згортки та автокодувальників з оптимізацією їх структури генетичними алгоритмами.

А. С. Каштальян та О. В. Каштальян (Каштальян, Каштальян, 2019) запропонували метод прогнозування часових рядів адаптованою розширеною згортковою нейронною мережею за архітектурою, подібною до WaveNet. Використання розширених каузальних згорткових шарів дозволяє збільшити рецептивне поле та врахувати довгострокові залежності в часових рядах.

У (Прочухан, 2021) розроблено структуру згорткової нейронної мережі у вигляді моделі послідовної реалізації шарів згортки, агрегування, повного зв'язку. Обґрунтовано доцільність використання функції ReLU для активації вузлів. Застосовано метод Dropout для запобігання перенавчанню нейронної мережі. Вихідний шар реалізовано у вигляді одного нейрону з використанням функції активації сигмоїда. Оптимізація згорткової нейронної мережі здійснена методом стохастичного градієнтного спуску.

Ю. В. Хома (Хома, 2020) удосконалив метод інтелектуального опрацювання сигналів віброартрографії, який відрізняється виділенням діагностичних ознак, одержаних статистичними методами на вибраних рівнях хвилькової декомпозиції ВАГ-сигналу, а його застосування забезпечило високу точність і чутливість класифікатора системи медичної діагностики попри малий обсяг даних.

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Rasyid Rachmat & Ibrahim Abdul (Rachmat, Abdul, 2020), Bavkar Vandana & Shinde Arundhati (Vandana, Arundhati, 2021), Mandal Debmalaya & Medya Sourav & Uzzi Brian & Aggarwal Charu (Debmalya, Sourav, Brian, Charu, 2021), Waikhom Lilapati & Patgiri Ripon (Lilapati, Ripon, 2021), Hou Zai-En & Duan Fu-Jian (Zai-En, Fu-Jian, 2009), Pun G. & Yamakov V. & Hickman J. & Glaessgen E. & Mishin Y. (Pun, Yamakov, Hickman, Glaessgen, Mishin, 2020), Li Zizhen & Bai Mei & Huang Ying (Zizhen, Mei, Ying, 2007), Kumari G & P Padmaja & G Jaya (Kumari, Padmaja, Jaya, 2020), Jin Lizhen (Lizhen, 2021), Yong Binbin & Qiao Fei & Wang Chen & Shen Jun & Wei Yongqiang & Zhou Qingguo (Yong, Qiao, Wang, Shen, Wei, Zhou, 2019) та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання прогнозування з використанням класичних і нейромережових методів машинного навчання залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Визначення мети дослідження. Здійснити опис принципів прогнозування з використанням класичних і нейромережових методів машинного навчання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Програмне забезпечення, робота якого направлена на обробку великих масивів даних та прогнозування, орієнтовано виключно на обробку великих обсягів даних, мають справу з наборами даних обсягом від кількох терабайт до петабайта. Як правило, ці дані надходять у кількох різних форматах і часто розподілені між кількома розташуваннями. Обробка подібних наборів даних зазвичай відбувається як багатокроковий аналітичний конвеєр, що включає стадії перетворення та інтеграції даних. У таблиці 1 представлено порівняння алгоритмів кластеризації.

Штучні нейронні мережі є обчислювально інтелектуальними методами, це ефективні інструменти моделювання на основі даних, які знайшли широке застосування в динамічних,

нелінійних і складних системах. Вони складаються з різної кількості персептронів, які приймають, обробляють і передають сигнали за допомогою коригування ваги та зміщення.

Табл. 1.

Порівняння алгоритмів

| Алгоритм | Переваги | Недоліки |
|-----------------------------|---|---|
| Алгоритм найближчого сусіда | будує оптимальне розбиття; отримання всіх розбиттів у вигляді дендрограми | обчислювальна збіжність; кластери не перетинаються; обчислювальна складність. |
| Дивізивні алгоритми | побудова розбиття; результат у вигляді дендрограми. | висока обчислювальна складність. |
| Алгоритм kmeans | простота та швидкість використання; зрозумілість та прозорість алгоритму. | необхідно знати кількість кластерів; обчислювальна складність. |
| Алгоритм DBSCAN | добре піддається модифікації; малий час обчислення. | нездатність з'єднувати кластери через отвір; висока складність. |
| Алгоритм EM | лінійне збільшення помилковості при зростанні обсягу даних; можливість побудови бажаної кількості кластерів; швидка збіжність при вдалій ініціалізації. | алгоритм може зупинитися на локальному мінімумі; при невдалій ініціалізації збіжність алгоритму може бути низькою. |
| Алгоритм COWEB | масштабованість; робота при невідомій кількості об'єктів. | відносно складний математичний апарат. |
| Алгоритм WaveCluster | може виявляти кластери довільних форм. | складність реалізації; застосовуємо лише до даних низької розмірності. |

Схема інформаційних зв'язків при застосуванні системи прогнозування за допомогою класичних і нейромережових методів машинного навчання зображена на рис. 1.

Система прогнозування за допомогою класичних і нейромережових методів машинного навчання є програмним комплексом (ПК), який призначено для прогнозування даних.

Результати аналізу моделей прогнозування наведено у таблиці 2.

Табл. 2.

Результати аналізу моделей прогнозування

| Номер моделі прогнозування | Статистичний математичний показник | | | | | |
|----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--|----------------------------------|---|-------------------------------|
| | Ступінь дисперсії R^2 | Середньоквадратична помилка СКП | Середнє абсолютне відсоткове відхилення САВВ | Медіана абсолютних відхилень МАВ | Середньоквадратична похибка прогнозу СКПП | Середня абсолютна похибка САП |
| Модель 1 | 0,45 | 0,14 | 0,12 | 0,02 | 0,09 | 0,01 |
| Модель 2 | 0,99 | 0,98 | 0,25 | 0,1 | 0,14 | 0,5 |
| Модель 3 | 0,98 | 1,62 | 0,88 | 0,11 | 0,15 | 0,79 |

Перша модель поділяє дані на групи, таким чином, щоб кожна група складалася зі схожих об'єктів, а об'єкти різних груп були відмінними один від одного. У другій моделі, на відміну від першої, перелік груп не заданий чітко, а визначається у процесі роботи алгоритму.

Третя модель за один крок здійснює обробку деякої популяції рядків. У найчастішому різновиді роботи моделі для представлення типу об'єкта застосовуються бітові рядки. При цьому кожному атрибуту об'єкта відповідає один тип об'єкта.

Таким чином, машинне навчання є невід'ємною частиною сучасної обробки великих масивів інформації, помітно полегшуючи роботу з нею та охоплюючи безліч сфер застосування. Вибір різних нейрометодів залежить від конкретного завдання і не може бути визначено однозначно. Для досягнення найкращого результату необхідно експериментувати з вибором заходів відстаней, інколи ж навіть змінювати алгоритм.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У роботі описано принципи прогнозування з використанням класичних і нейромережових методів машинного навчання. Більшість популярних алгоритмів вимагають запровадження додаткових параметрів, які потім змінюється на той чи інший бік. Запропонована нейромережева модель ефективно функціонує при обробці масивів великої розмірності, оскільки в них оптимально поєднуються цілеспрямований пошук та елементи випадковості, спрямовані на вибивання цільової функції з локальних мінімумів. Жодних попередніх умов для їх використання не потрібно.

Перспективами подальшої роботи є дослідження методів машинного навчання нейронної мережі для передбачення великих зашумлених даних за допомогою сучасних мов програмування.

Список літератури

1. Кириленко Р.В. Передбачення психологічної реакції користувача при перегляді цифрових зображень засобами машинного навчання / Р.В. Кириленко, Н.А. Гук, О.В. Верба // Зб. наук. праць «Питання прикладної математики і математичного моделювання». Дніпро. 2018. Вип. 18. С.51-58.
2. Кривохата А. Г. Нейромережові математичні моделі звукових сигналів у задачах розпізнавання. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізикоматематичних наук за спеціальністю 01.05.02 «Математичне моделювання та обчислювальні методи» (01 – фізико-математичні науки). – Запорізький національний університет Міністерства освіти і науки України, Запоріжжя, 2020. 160 с.
3. Прогнозування часових рядів адаптованою розширеною згортковою нейронною мережею / А. С. Каштальян, О. В. Каштальян // Вісник Хмельницького національного університету, 2019. №6 (279). С. 155-160.
4. Прочухан Д. В. Нейромережеве моделювання в реалізації системи визначення правильності носіння медичної маски / Системи обробки інформації: Харківський політехнічний інститут, Харків, 2021. № 1 (164). С. 65-72.
5. Хома Ю.В. Теорія і методи комп'ютерного опрацювання біосигналів на основі машинного навчання. – На правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти – Національний університет «Львівська політехніка», МОН України, Львів, 2020. 379 с.
6. Rasyid, Rachmat & Ibrahim, Abdul. (2021). Implementation of Machine Learning Using the Convolution Neural Network Method for Aglaonema Interest Classification. Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik). 5. 21-30. 10.37339/e-komtek.v5i1.434.
7. Bavkar, Vandana & Shinde, Arundhati. (2021). Machine learning algorithms for Diabetes prediction and neural network method for blood glucose measurement. Indian Journal of Science and Technology. 14. 869-880. 10.17485/IJST/v14i10.2187.
8. Mandal, Debmalya & Medya, Sourav & Uzzi, Brian & Aggarwal, Charu. (2021). MetaLearning with Graph Neural Networks: Methods and Applications. ACM SIGKDD Explorations Newsletter. 23. 13-22. 10.1145/3510374.3510379.
9. Waikhom, Lilapati & Patgiri, Ripon. (2021). Graph Neural Networks: Methods, Applications, and Opportunities. https://www.researchgate.net/publication/354115201_Graph_Neural_Networks_Methods_Applications_and_Opportunities
10. Hou, Zai-En & Duan, Fu-Jian. (2009). The Neural Network Method of Financial Forecasting. 2009 International Workshop on Intelligent Systems and Applications, ISA 2009. 1 - 3. 10.1109/IWISA.2009.5073193.

11. Pun, G. & Yamakov, V. & Hickman, J. & Glaessgen, E. & Mishin, Y.. (2020). Development of a general-purpose machine-learning interatomic potential for aluminum by the physically informed neural network method. *Physical Review Materials*. 4. 10.1103/PhysRevMaterials.4.113807.
12. Li, Zizhen & Bai, Mei & Huang, Ying. (2007). Studies of data processing in future forecasting using neural networks method. *Mathematics in Practice and Theory*. 21. https://www.researchgate.net/publication/269006893_Studies_of_data_processing_in_future_forecasting_using_neural_networks_method
13. Kumari, G & P, Padmaja & G, Jaya. (2020). ENN Ensemble based Neural Network method for Diabetes Classification. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 9. 574-579. 10.35940/ijeat.C4819.029320.
14. Jin, Lizhen. (2021). Application of neural network method in engineering prediction. *Journal of Physics: Conference Series*. 2083. 042080. 10.1088/1742-6596/2083/4/042080.
15. Yong, Binbin & Qiao, Fei & Wang, Chen & Shen, Jun & Wei, Yongqiang & Zhou, Qingguo. (2019). Ensemble Neural Network Method for Wind Speed Forecasting. 31-36. 10.1109/SiPS47522.2019.9020410.