

УДК 656.212

Р. В. ВЕРНИГОРА, Л. О. ЄЛЬНИКОВА (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ПОЇЗНОЇ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ НАРЯМКІВ

Ефективне оперативне планування перевізного процесу повинне базуватись на точному прогнозі надходження поїздів, вагонів, локомотивів, вантажів тощо. Цей прогноз можна реалізувати за допомогою сучасного математичного методу – апарату штучних нейронних мереж.

Нейронні мережі мають такі властивості як адаптивне навчання, самоорганізація, узагальнення, обчислення в реальному часі та стійкість до перебоїв. Основними сферами застосування нейронних мереж є апроксимація функцій, асоціативна пам'ять, стиснення даних, розпізнавання та класифікація, оптимізаційні задачі, керування складними процесами та прогнозування.

Складовими елементами формального нейрону являються x_1, x_2, \dots, x_n – вхідні сигнали мережі, кожен з яких характеризується своєю вагою w_1, w_2, \dots, w_n відповідно. Суматор Σ підсумовує вхідні сигнали, функція активації f описує правило переходу нейрона при надходженні нових сигналів. За архітектурою зв'язків нейромережі можуть бути згруповані в два класи: мережі прямого поширення, в яких графи не мають петель, і рекурентні мережі, або мережі зі зворотними зв'язками. Під навчанням нейромережі мається на увазі налаштування архітектури мережі і ваг зв'язків для ефективного виконання завдання. Методи навчання можна розділити на дві групи: з учителем та без учителя.

Нейромережі можна використати для оперативного прогнозу моментів прибуття поїздів на технічні станції на основі відомих параметрів відправлення поїздів: інформації про час відправлення з сусідньої технічної станції, масу поїзда та даних про сезонну та тижневу нерівномірність. При розробці нейромережі для вирішення певної задачі слід розглянути декілька варіантів, що відрізняються, наприклад, кількістю нейронів у шарах, кількістю прихованих шарів тощо. Основними показниками, за якими можна виконати порівняння обраних архітектур нейромереж, можуть бути такі параметри як мінімальна похибка, а також високий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими даними.

Таким чином, штучні нейронні мережі можуть бути широко використані при розробці систем оперативного керування рухом поїздів, оскільки дозволяють отримати точний прогноз з врахуванням багатьох факторів та є відносно простими для розробки.

Ключові слова: нейрон, нейронна мережа, архітектура, алгоритм навчання, керування процесами, планування.

Эффективное оперативное планирование перевозочного процесса должно базироваться на точном прогнозе поступления поездов, вагонов, локомотивов, грузов и т.д. Этот прогноз можно реализовать с помощью современного математического метода – аппарата искусственных нейронных сетей.

Нейронные сети обладают такими свойствами как адаптивное обучение, самоорганизация, обобщение, вычисления в реальном времени и устойчивость к перебоям. Основными сферами применения нейронных сетей являются аппроксимация функций, ассоциативная память, сжатие данных, распознавания и классификация, оптимизационные задачи, управление сложными процессами и прогнозирование.

Составляющими элементами формального нейрона являются x_1, x_2, \dots, x_n – входные сигналы сети, каждый из которых характеризуется своим весом w_1, w_2, \dots, w_n соответственно. Сумматор Σ суммирует входные сигналы, функция активации f описывает правило перехода нейрона при поступлении новых сигналов. По архитектуре связей нейросети могут быть сгруппированы в два класса: сети прямого распространения, в которых графы не имеют петель, и рекуррентные сети, или сети с обратными связями. Под обучением нейросети подразумевается настройка архитектуры сети и весов связей для эффективного выполнения задачи. Методы обучения можно разделить на две группы: с учителем и без учителя.

Нейросети можно использовать для оперативного прогноза моментов прибытия поездов на технические станции на основе известных параметров отправления поездов: информации о времени отправления с соседней технической станции, массе поезда, данных о сезонной и недельной неравномерностях. При разработке нейросети для решения определенной задачи следует рассмотреть несколько вариантов, отличающихся, например, количеством нейронов в слоях, количеством скрытых слоев и тому подобное. Основными показателями, по которым можно выполнить сравнения выбранных архитектур нейросетей, могут быть такие параметры как минимальная погрешность, а также высокий коэффициент корреляции между фактическими и расчетными данными.

Таким образом, искусственные нейронные сети могут быть широко использованы при разработке систем оперативного управления движением поездов, поскольку позволяют получить точный прогноз с учетом многих факторов и является относительно простыми для разработки.

Ключевые слова: нейрон, нейронная сеть, архитектура, алгоритм обучения, управление процессами, планирование.

Effective operational planning of the transportation process should be based on accurate forecasts of revenue trains, wagons, locomotives, freight, etc. This prediction can be realized with the help of modern mathematical method – apparatus of artificial neural networks.

Neural networks have such properties as adaptive learning, self-organizing, summarizing, calculating in real time and resistance to disruption. The main applications of neural networks are functions approximation, associative memory, data compression, pattern recognition and classification, optimization problems, the management of complex processes and forecasting.

The constituent elements of a formal neuron are x_1, x_2, \dots, x_n – the network inputs, each of which is characterized by its weight w_1, w_2, \dots, w_n , respectively. The adder Σ summarizes the input signals, the activation function f describes the neuron transition rule when new signals are received. According to connections architecture the neural networks can be grouped into two classes: feedforward networks, which graphs have no loops, and recurrent networks or networks with feedback. By the neural network training is understood a setting of the network architecture and weights for the effective implementation of the task. The learning methods can be divided into two groups: with the teacher and without a teacher.

Neural networks can be used for real-time forecasting of the train arrival at the technical stations on the basis of known departure parameters of the trains: information about the time of departure from the neighboring technical station, the train weight, the data on seasonal and weekly uneven. While designing the neural network to solve a particular problem should be considered several variants differing in, for example, the number of neurons in the layers, the number of hidden layers, etc. The main indicators, by which can be made a comparison of the selected architectures of neural networks can be such parameters as the minimum error, as well as a high correlation coefficient between actual and calculated data.

Thus, the artificial neural networks can be widely used in the design of operational traffic control systems since allows to receive an accurate prediction based on many factors and is relatively simple to design.

Keywords: neuron, neural network, architecture, learning algorithm, management of processes, planning.

Вступ

Сучасні умови роботи будь-якої сфери обслуговування, в тому числі транспорту, потребують оперативного реагування на вимоги клієнтів з урахуванням змін навколишнього середовища. Методи організації перевізного процесу, які базуються на застарілих засадах оперативного планування роботи транспорту і спираються, в основному, лише на досвід оперативного диспетчерського персоналу, наразі є недостатніми. Ефективне оперативне планування перевізного процесу повинне базуватись на точному прогнозі надходження поїздів, вагонів, локомотивів, вантажів тощо. Отримання ж такого прогнозу неможливе без використання сучасних математичних методів та програмних засобів.

Одним з таких методів є апарат штучних нейронних мереж (ШНМ), що має відносно коротку історію, але вже завоював широку популярність серед науковців та практиків [1]. Основними сферами застосування нейронних мереж (НМ) є апроксимація функцій, асоціативна пам'ять, стиснення даних, розпізнавання та класифікація, оптимізаційні задачі, керування складними процесами та прогнозування [2].

Загальні відомості про нейронні мережі

З інженерної точки зору ШНМ – це паралельно розподілена система обробки інформації, утворена тісно зв'язаними простими обчислювальними вузлами (однотипними або різними), що має властивість накопичувати експериментальні знання, узагальнювати їх і робити доступними для користувача у формі, зручній для інтерпретації й прийняття рішень [3].

Нейронні мережі мають такі властивості:

- *адаптивне навчання*: здатність поліпшувати свої характеристики, закладені у тому або іншому алгоритмі налагодження параметрів мережі, що дає можливість опрацьовувати подані їй навчальні послідовності та використовувати набутий при цьому досвід у подальшому;
- *самоорганізація*: ШНМ здатні змінювати свою структуру (архітектуру) або форму подання інформації;
- *узагальнення*: після завершення процесу навчання мережа може бути нечутливою до незначних змін вхідних сигналів, що дозволяє застосовувати її при зашумлених або не повністю заданих даних;

- *обчислення в реальному часі*: нейромережеві обчислення можуть здійснюватися паралельно в часі, що істотно збільшує швидкість ШНМ;

- *стійкість до перебоїв*: часткове руйнування мережі призводить до втрати якості, однак деякі її властивості зберігаються навіть у випадку руйнування більшої частини мережі.

Трьома основними поняттями в теорії нейромереж є: нейрон, архітектура мережі і поняття навчання [4].

На рис. 1 наведено формальний нейрон – одиницю обробки інформації в нейромережі. Складовими елементами нейрону являються x_1, x_2, \dots, x_n – вхідні сигнали мережі, кожний з яких характеризується своєю вагою w_1, w_2, \dots, w_n відповідно. Суматор Σ підсумовує вхідні сигнали, зважені відносно відповідних синапсів нейрону. Функція активації f описує правило переходу нейрона, що перебуває в момент часу k у стані $z(k)$, у новий стан $z(k+1)$ при надходженні нових сигналів x [5].

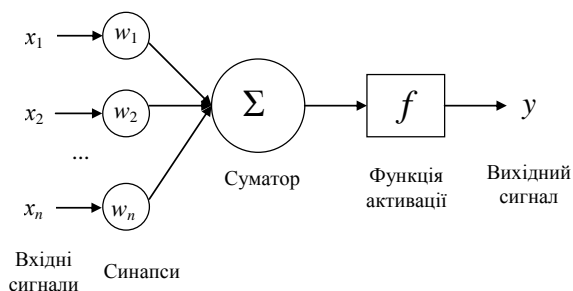


Рис. 1. Модель формального нейрона

З точки зору архітектури НМ може розглядатися як орієнтований граф зі зваженими зв'язками, в якому штучні нейрони є вузлами. За архітектурою зв'язків НМ можуть бути згруповані в два класи (рис. 2): мережі прямого поширення (рис. 2, а), в яких графи не мають петель, і рекурентні мережі (рис. 2, б), або мережі зі зворотними зв'язками [6]. У найбільш поширеному сімействі мереж першого класу, які називаються багат шаровим перцептроном, нейрони розташовані шарами і мають односпрямовані зв'язки між шарами.

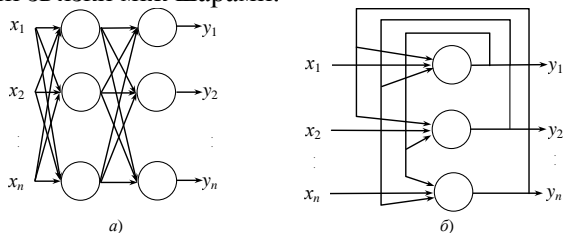


Рис. 2. Типи нейронних мереж.

Мережі прямого поширення є статичними в тому сенсі, що на заданий вхід вони продукують одну сукупність вихідних значень, які не залежать від попереднього стану мережі. Рекурентні мережі є динамічними, так як в силу зворотних зв'язків у них модифікуються входи нейронів, що призводить до зміни стану мережі.

Під навчанням НМ мається на увазі налаштування архітектури мережі і ваг зв'язків для ефективного виконання завдання. Методи навчання можна розділити на дві групи: з учителем та без учителя. При використанні алгоритму навчання з учителем налаштування значень ваг виконується розробником таким чином, щоб вихід мережі був якомога близький до правильного. Алгоритм навчання без учителя заснований на принципі самоорганізації, тобто в якості «вчителя» виступає зовнішнє середовище, в якому виконується навчання.

Зазвичай нейронна мережа повинна налаштувати ваги зв'язків по наявній навчальній вибірці. Функціонування мережі поліпшується у міру послідовного налаштування вагових коефіцієнтів. Властивість мережі навчатися на прикладах робить їх більш привабливими в порівнянні з системами, які слідує певній системі правил функціонування, сформульованої експертами.

ШНМ знаходять сьогодні широке застосування у будь-яких галузях, починаючи від завдань апроксимації функцій і закінчуючи створенням нейрокомп'ютерів. Основні сфери застосування нейронних мереж наступні:

- *апроксимація функцій*: було встановлено, що нейронна мережа з одним прихованим й одним вихідним шаром здатна апроксимувати з будь-якою наперед заданою точністю на компактній множині будь-яку неперервну функцію;
- *асоціативна пам'ять*: існують архітектури ШНМ, які запам'ятовують образи, що надходять на них, з чимось їх асоціюючи, а при пред'явленні деякого «асоціативного» образу витягують їх з пам'яті. Ця властивість дозволяє організувати пошук інформації не за адресою, а за її змістом;
- *стиснення даних*: деякі типи ШНМ мають властивості, що дозволяють використовувати ці мережі для стиснення даних, наприклад перед їхньою передачею, зменшуючи тим самим кількість переданих бітів інформації;
- *розпізнавання та класифікація*: розпізнавання образів (зображень, зокрема текстів, друкованих і рукописних, звуку, мови тощо) є тією галуззю, де найбільш яскраво виявляються переваги ШНМ;

– *оптимізаційні задачі*: більшість практично важливих задач можуть бути сформульовані як оптимізаційні, що доставляють екстремум деякому заздалегідь обраному критерію;

– *керування складними процесами*: проблема синтезу ефективної системи керування є досить складною, оскільки реальні процеси характеризуються, як правило, нелінійними залежностями, високим рівнем шумів та їх корельованістю, які змінюються умовами функціонування, що обумовлюють зміну характеристик досліджуваних об'єктів тощо. Необхідність вирішення задач керування в реальному часі висуває певні вимоги як до самих алгоритмів керування, що входять до складу математичного забезпечення проектованої системи, так і до технічних засобів, які їх реалізують. У цих умовах найбільш ефективними виявляються методи й алгоритми, що базуються на теорії адаптації. Однак, як і при будь-якому підході, ці методи вимагають розробки математичних моделей досліджуваних об'єктів;

– *прогнозування*: будь-яке прогнозування (екстраполяція) спирається на формалізоване уявлення про існуючий зв'язок між причинами й наслідком. Багато процесів формуються під впливом великої кількості факторів, що діють у різних напрямках і нерідко невідомих. Статистичний аналіз цих процесів містить дослідження взаємозв'язків факторів як у статичному стані, так і в часі. Інформацією для вивчення взаємозв'язків служать часові ряди показників, що характеризують розвиток об'єктів. Найпоширенішим підходом до вирішення задачі прогнозування є екстраполяція чинних у цей час зв'язків і закономірностей на майбутнє. Побудовані відповідно до цього принципу моделі прогнозування відрізняються одна від іншої лише гіпотезами про конкретні види збережених зв'язків. Чим більш загальні припущення закладені у форму моделі і чим більший клас процесів можна описати з її допомогою, тим ширше її можливості під час дослідження окремої реалізації.

Нейронні мережі – це дуже потужний і гнучкий механізм прогнозування. При визначенні того, що потрібно прогнозувати, необхідно вказувати змінні, які аналізуються. Другий важливий етап при побудові нейромережевої прогнозуючої системи – це визначення наступних трьох параметрів: періоду прогнозування, горизонту прогнозування та інтервалу прогнозування. Період прогнозування – це основна одиниця часу, на яку робиться прогноз. Горизонт прогнозування – це число періодів в майбутньому,

які покриває прогноз. Інтервал прогнозування – частота, з якою робиться новий прогноз.

Можливості використання апарату нейромереж на залізничному транспорті

Як було зазначено раніше, нейронні мережі мають дуже широке коло застосування. Залізничний транспорт в сфері планування його роботи також не став винятком. Використовувати нейронні мережі можна як для планування окремих показників на рівні від станції до залізничного полігону, так і для планування роботи окремих господарств (локомотивного, колійного тощо).

Наприклад, у роботі [7] була запропонована математична модель оптимального використання технічних засобів, зокрема – вантажних вагонів. Мета розробки – аналіз використання технічних засобів залізниць для подальшого його удосконалення. Основою цієї моделі була тришарова нейронна мережа прямого поширення на основі алгоритму навчання з учителем. За допомогою цієї мережі отримано апроксимуючу систему залежностей величини обігу вагона від його окремих елементів. Вказана математична модель може бути застосована для удосконалення технології використання вантажних вагонів, а також для побудови адаптивної системи прийняття рішень в автоматизованих робочих місцях оперативних працівників.

Метою розробки [8] було удосконалення місцевої роботи станції на основі прогнозування двох параметрів: часу пред'явлення вантажу клієнтом і обсягу вантажу з урахуванням інформації про обсяг замовлених контейнерів, яку клієнт надав залізниці. В роботі розроблена штучна нейронна мережа моделі прогнозування часу пред'явлення вантажу і кількості необхідних контейнерів. В основу даної моделі покладена нейронна мережа Елмана зі зворотними зв'язками з алгоритмом навчання без вчителя. Наведена нейромережа є основою автоматизованої системи оперативного планування місцевої роботи.

Слід зазначити, що при розробці нейромережі для вирішення певної задачі слід розглянути декілька варіантів, що відрізняються, наприклад, кількістю нейронів у шарах, кількістю прихованих шарів тощо. Відповідно до [9] основними показниками, за якими можна виконати порівняння обраних архітектур НМ, можуть бути такі параметри нейромережі як мінімальна

похибка, а також високий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими даними.

Висновки

Отже, нейронні мережі вже знаходять своє застосування в різноманітних сферах функціонування залізничного транспорту. Ще одним з напрямків використання ШНМ може стати оперативний прогноз моментів прибуття поїздів на технічні станції на основі відомих параметрів відправлення поїздів: інформації про час відправлення з сусідньої технічної станції, масу поїзда та даних про сезонну та тижневу нерівномірність. Навчання мережі може бути виконане на основі статистичних даних за деякий попередній період, які можна отримати з банку даних АСКВП-УЗ-Є. Оскільки відомі як вхідні вектори, так і вихідні, то ШНМ використовуватиме алгоритм навчання з вчителем.

Принцип роботи такої нейромережі базується на пошуку схожих параметрів відправлення поїздів та формуванні відповідної тривалості руху при пред'явленні оперативної інформації про поїзд.

Таким чином, штучні нейронні мережі можуть бути широко використані при розробці систем оперативного керування рухом поїздів, оскільки є дозволяють отримати точний прогноз з врахуванням багатьох факторів та є відносно простими для розробки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Bavarian, B. Introduction to neural networks for intelligent control [Електрон. ресурс] / B. Bavarian // Control Systems Magazine, IEEE. – 1988. – № 6(2). – Р. 3-7. – Режим доступу – <http://ieeecs.org/CSM/library/1988/april1988/w03-07.pdf>
2. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс [Текст] / С. Хайкин. – Москва : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
3. Руденко, О. Г. Штучні нейронні мережі [Текст] : навч. посібник / О. Г. Руденко, С. В. Бодяньський. – Харків : ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. –

404 с.

4. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский / Пер. с польск. И. Д. Рудинского. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

5. Бодянский, Е. В. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения [Текст] : монография / Е. В. Бодянский, О. Г. Руденко. – Харьков : Телетех, 2004. – 369 с.

6. Филиппенко, О. И. Биологические, искусственные и нейроавтоматные сети – сравнительный анализ. Ч. 2. Искусственные нейронные сети [Текст] / О. И. Филиппенко, И. Г. Филиппенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 3/2(15). – С. 87-93.

7. Доценко, Ю. В. Розробка математичної моделі оптимального використання технічних засобів залізничної на основі теорії нейронних мереж [Текст] / Ю. В. Доценко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 6/2(18). – С. 37-39.

8. Каньовська, Д. В. Формування автоматизованої технології управління місцевою роботою на основі використання автономних модульних поїздів [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.22.01 / Каньовська Дарина Василівна ; Укр. держ. акад. заліз. трансп. – Харків, 2013. – 21 с.

9. Razavi, S.V. Using feed-forward back propagation (FFBP) neural networks for compressive strength prediction of lightweight concrete made with different percentage of scoria instead of sand [Електрон. ресурс] / S.V. Razavi, M.Z. Jumaat, A.H. Ei-Shafie // International Journal of Physical Sciences. – 2011. – № 6 (6). – Р. 1325-1331. – Режим доступу – https://www.google.com/url?q=http://www.academicjournals.org/journal/IJPS/article-full-text-pdf/6B9CB6328791&sa=U&ei=jqU_VNDKL9fzatrceGD&ved=0CB0QFjAB&usg=AFQjCNHNIU-MDmP5iypzl0Yhac0IPcte0A

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Ломотько Д. В. (Україна)

Надійшла до редколегії 10.11.2014.

Прийнята до друку 12.11.2014.