

УДК 004.92

*Патрушев В.О., Патрушева О.І.***МЕТОД ПАКЕТНОГО НАВЧАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖ НЕЛІНІЙНОЇ АВТОРЕГРЕСІЇ
ДЛЯ ПРОГНОЗУ ПРИБУТКУ ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНУ****ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ**

У статті розглядаються і аналізуються існуючі методи прогнозування прибутку інтернет-магазину. В сучасній електронній комерції є проблема недостатньої ефективності автоматизації бізнес-процесів інтернет-магазину. Грунтуючись на основних перевагах і недоліках, розроблено і впроваджено метод нейронної мережі прогнозування прибутку інтернет-магазину. Процес зміни кількості товарів, що продаються онлайн-магазином, як правило, нелінійний, модель прогнозу повинна адаптуватися до прогнозу кількості продажів різних товарів, і в цьому випадку має сенс використовувати штучні нейронні мережі. Метод заснований на нейронній мережі нелінійної авторегресії (NAR). Навчання NAR засноване на корекції помилок (навчання з викладачем), причому найбільш часто використовуваний алгоритм – це зворотне поширення. NAR – універсальний аппроксиматор, він забезпечує глобальну аппроксимацію нелінійного відображення вхідного сигналу на виході, забезпечує хорошу якість узагальнення, автоматично визначає кількість прихованих шарів. NAR найкраще підходить для розпаралелювання; ця мережа обрана для вирішення завдань прогнозування. В якості вхідних даних навчання NAR використовувалася вибірка значень прибутку від продажів. Критерієм вибору структури мережевої моделі була мінімальна середньоквадратична помилка прогнозу. Після експерименту було виявлено, що зі збільшенням числа прихованих нейронів величина помилки зменшується. Щоб прогнозувати прибуток інтернет-магазину, досить використовувати 10 прихованих нейронів, так як при подальшому збільшенні кількості прихованих нейронів зміна значення помилки незначна. Для прискореного навчання пропонується пакетний режим. Використання режиму пакетного навчання для NAR на графічній карті GeForce 920M дозволило прискорити швидкість прямого ходу приблизно в $P(N^{(1)}+1)$ разів, а зворотного – приблизно в $\frac{P}{\log_2 P} (N^{(1)} \times (M^{(0)} + 2))$ раз, при цьому зворотна редукція використовується для реверсування збірки по всій множині, що навчається. Для оцінки ефективності запропонованого методу були здійснені численні дослідження, щоб довести ефективність обраної мережі та її архітектури.

Ключові слова: прогноз, прибуток інтернет-магазину, штучна нейронна мережа, NAR, пакетний режим навчання.

Загальна постановка проблеми

В даний час однією з найважливіших проблем, з якою стикаються сучасні інтернет-магазини є відсутність вбудованих механізмів, які дозволяють виконувати аналіз і подальше прогнозування результатів господарської діяльності, спрямованих на підвищення прибутку. Це призводить до того, що господарська діяльність власника інтернет-магазину, спрямована на збільшення прибутку, може бути неефективною. Тому

розробка способів прогнозу прибутку інтернет-магазину є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемам, пов'язаним з підвищенням ефективності функціонування комп'ютерних систем за рахунок їх інтелектуалізації, присвячена велика кількість досліджень і публікацій. Зокрема, можна виділити роботи, що проводяться в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут», в Інституті кібернетики Національної академії

© Патрушев В.О., Патрушева О.І., 2018

Method of batch training for the neural network of nonlinear autoregression for the forecasting of internet-shopping operation

наук України, в Харківському національному університеті радіоелектроніки і в інших університетах України. Основоположні принципи в області створення методів ідентифікації зображень, методів прогнозу, пошукових методів, мультиагентних систем запропоновані В.І. Васильєвим, М. Вулдрідж, Ю.В. Краком, Дж.Ф. Люгером, Ю.А. Скобцовим, В.І. Скурихіна, С.А. Субботінім, С. Хайкінім, М.І. Шлезінгером та ін.

У зв'язку з вищепереліченим актуальним є проведення досліджень, спрямованих на розробку засобів інтелектуалізації для підвищення якості автоматизації бізнес-процесів інтернет-магазину, особливо це стосується прогнозування прибутків.

Постановка завдання дослідження

Метою роботи є розробка методу дослідження високо динамічного процесу зміни прибутку інтернет-магазину. Для досягнення мети були поставлені і вирішені наступні завдання:

- провести аналіз існуючих методів прогнозу;
- вибрати штучну нейронну мережу прогнозу;
- визначити структури моделі штучної нейронної мережі;
- вибрати критерій оцінювання ефективності нейромережевої моделі прогнозу;
- навчити моделі штучної нейронної мережі;
- виконати чисельні дослідження.

Результати розробки та досліджень

На сьогоднішній день в якості інструменту для прогнозу відомо безліч підходів, серед яких можна виділити:

- регресивні і авторегресійні методи прогнозування;
- методи, засновані на експоненційному згладжуванні;
- методи на базі ланцюгів Маркова;
- на базі класифікаційно-регресійних дерев;
- нейромережеві методи прогнозу.

В роботі [1] наведено порівняльну характеристику перерахованих способів.

Оскільки використання нейронних мереж при прогнозуванні дає відчутну перевагу, яке

полягає в тому, що: взаємозв'язки між факторами досліджуються на готових моделях; не потрібні ніякі припущення щодо розподілу факторів; апіорна інформація про фактори може бути відсутнім; вихідні дані можуть сильно корелювати, бути неповними або зашумленими; можливий аналіз систем з високою ступенем не лінійності; швидка розробка моделі; висока адаптивність; можливий аналіз систем з великою кількістю чинників; не вимагається повний перебір всіх можливих моделей; можливий аналіз систем з неоднорідними факторами. В статті буде використовуватися нейромережевий спосіб прогнозу.

Оскільки прибуток інтернет-магазину змінюється з плином часу, то прогноз здійснюється на основі динамічних (з тимчасовою затримкою) штучних нейронних мереж. В якості таких мереж найчастіше використовуються:

- нейромережа Джордона (JNN) [2,3], яка є динамічною рекурентною двошаровою мережею і побудована на базі MLP;
- нейромережа Елмана (ENN) або проста рекурентна мережа (SRN) [4,5], яка є динамічною рекурентною двошаровою мережею і побудована на базі MLP;
- рекурентний багатшаровий персептрон (RMLP) [6,7], який є динамічною рекурентною багатшаровою мережею і побудований на базі MLP;
- модель нелінійної авторегресії (NAR) [8,9], яка є динамічною нерекурентною двошаровою мережею і побудована на базі MLP;
- модель нелінійної авторегресії-ковзного середнього (NARMA) [10], яка є динамічною рекурентною двошаровою мережею і побудована на базі MLP.

У таблиці наведені порівняльні характеристики динамічних мереж.

Оскільки NAR найкраще піддається розпаралелюванню, ця мережа обирається для вирішення завдань прогнозування.

Структура NAR з тимчасовими затримками у вхідному шарі зображена на рис. 1.

Обчислення вихідного сигналу для кожного шару мережі NAR визначається наступним чином:

Результати експериментальних досліджень нейронних мереж

Критерій	Мережа					
	RLMP	JNN	ENN (SRN)	NAR	NARMA	FC-LSTM
Наявність зворотного зв'язку	+	+	+	–	+	+
Затримка у вхідному шарі	–	–	–	+	+	+
Висока ступень паралелізму	–	–	–	+	–	–

$$y^{(0)}(n) = x_1;$$

$$y_j^{(1)}(n) = f^{(1)}(b^{(1)} + \sum_{l=0}^{M^{(0)}} w_{lj}^{(1)} y^{(0)}(n-l)),$$

$$j \in \overline{1, N^{(1)}};$$

$$y^{(2)}(n) = f^{(2)}(b^{(2)} + \sum_{i=1}^{N^{(1)}} w_i^{(2)} y_i^{(1)}(n)),$$

де $N^{(1)}$ – число нейронів в першому шарі, $w_{lj}^{(1)}(n)$ – вага зв'язку від вхідного нейрона до моменту часу $n-1$ до j -го нейрона в першому шарі в момент часу n , $w_i^{(2)}(n)$ – вага зв'язку від i -го нейрону до вихідного нейрона в момент часу n , $y_j^{(1)}(n)$ – вихід j -го нейрона в першому шарі, $y^{(2)}(n)$ – вихід нейрона в другому шарі, $f^{(k)}$ – функція активації нейронів k -го шару.



Рис. 1. Неймережа нелінійної авторегресії

Для визначення структури моделі NAR (визначення кількості прихованих нейронів) була здійснена низка експериментів, результати яких наведено на рис. 2.

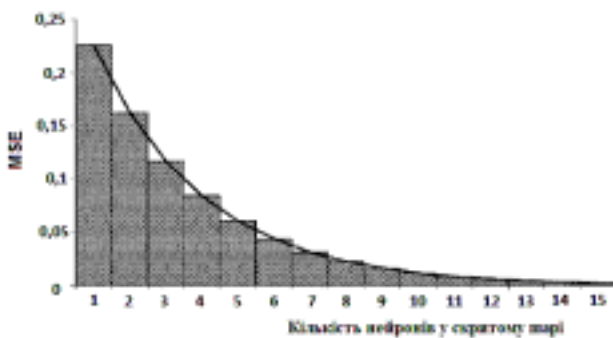


Рис. 2. Гістограма залежності значення середньоквадратичної помилки від кількості нейронів у скритому шарі

В якості вхідних даних для навчання NAR були використана вибірка значень отриманого прибутку від продажів. Критерієм вибору структури моделі мережі було мінімальна середньоквадратична помилка прогнозу. Як видно з рис. 2,

зі збільшенням кількості прихованих нейронів значення помилки зменшується. Для прогнозу прибутку інтернет-магазину досить використувати 10 прихованих нейронів, оскільки при подальшому збільшенні кількості прихованих нейронів зміна значення помилки незначна.

В роботі для навчання моделі NAR обраний критерій адекватності моделі, який означає вибір таких значень параметрів $W = \{w_{ij}^{(1)}, w_i^{(2)}\}$, які доставляють мінімум середньоквадратичної помилки (різниця виходу за моделлю і бажаного виходу):

$$F = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P (y_p - d_p)^2 \rightarrow \min_w.$$

Навчання моделі NAR підпорядковане критерієм (1), для чого в статті пропонується пакетний режим, який полягає в наступному:

1. Номер ітерації навчання $n=1$, ініціалізація зміщень (порогів) $b^{(1)}(n)$, $b^{(2)}(n)$ та ваг $w_{lj}^{(1)}(n)$, $w_i^{(2)}(n)$, $i, j \in \overline{1, N^{(1)}}$, $l \in \overline{0, M^{(0)}}$, де $N^{(1)}$ – кількість нейронів у першому шарі, $M^{(0)}$ – затримка в вхідному шарі.

2. Задається навчальна множина $\{(x_\mu, d_\mu) | x_\mu \in \mathbb{R}, d_\mu \in \mathbb{R}\}$, $\mu \in \overline{1, P}$, де x_μ – m -е навчальне вхідне значення, d_μ – m -е навчальне вихідне значення, P – потужність навчальної множини. Номер поточної пари із навчальної множини $m=1$.

3. Початкове обчислення вихідного сигналу для вхідного шару

$$y_{1-v}^{(0)}(n-v) = 0, \quad v \in \overline{1, M^{(0)}}.$$

4. Обчислення вихідного сигналу для кожного шару (прямий хід)

$$y_\mu^{(0)}(n) = x_\mu, \quad \mu \in \overline{1, P};$$

$$y_{\mu j}^{(1)}(n) = f^{(1)}(s_{\mu j}^{(1)}(n)),$$

$$s_{\mu j}^{(1)}(n) = b_{\mu j}^{(1)} + \sum_{l=0}^{M^{(0)}} w_{lj}^{(1)}(n) y_{\mu-1}^{(0)}(n-l),$$

$$j \in \overline{1, N^{(1)}}, \quad \mu \in \overline{1, P};$$

$$y_\mu^{(2)}(n) = f^{(2)}(s_\mu^{(2)}(n)),$$

$$s_\mu^{(2)}(n) = \sum_{i=1}^{N^{(1)}} w_i^{(2)}(n) y_{\mu i}^{(1)}(n), \quad \mu \in \overline{1, P},$$

де $N^{(1)}$ – число нейронів в першому шарі, $w_{ij}^{(1)}(n)$ – вага зв'язку від вхідного нейрона до моменту часу $n-1$ до j -го нейрона в першому шарі в момент часу n , $w_i^{(2)}(n)$ – вага зв'язку від i -го нейрона до вихідного нейрона в момент часу n , $y_j^{(1)}(n)$ – вихід j -го нейрона в першому шарі, $y^{(2)}(n)$ – вихід нейрона в другому шарі, $f^{(k)}$ – функція активації нейронів k -го шару.

Вважається, що $w_0^{(2)}(n) = b^{(2)}(n)$, $y_{00}^{(1)}(n) = 1$.

5. Обчислення енергії помилки штучної нейронної мережі

$$E(n) = \frac{1}{2P} \sum_{\mu=1}^P e_{\mu}^2(n); \quad e_{\mu}(n) = y_{\mu}^{(2)}(n) - d_{\mu}.$$

6. Налаштування синаптичних ваг на основі узагальненого дельта правила (зворотний хід)

$$w_i^{(2)}(n+1) = w_i^{(2)}(n) - \eta \frac{\partial E(n)}{\partial w_i^{(2)}(n)};$$

$$w_{ij}^{(1)}(n+1) = w_{ij}^{(1)}(n) - \eta \frac{\partial E(n)}{\partial w_{ij}^{(1)}(n)};$$

$$\frac{\partial E(n)}{\partial w_i^{(2)}(n)} = \frac{1}{P} \sum_{\mu=1}^P y_{\mu i}^{(1)}(n) g_{\mu}^{(2)}(n), \quad i \in \overline{0, N^{(1)}};$$

$$\frac{\partial E(n)}{\partial w_{ij}^{(1)}(n)} = \frac{1}{P} \sum_{\mu=1}^P y_{\mu i}^{(0)}(n-1) g_{\mu j}^{(1)}(n),$$

$$j \in \overline{1, N^{(1)}}, \quad 1 \in \overline{0, M^{(0)}};$$

$$\frac{\partial E(n)}{\partial b_j^{(1)}(n)} = \frac{1}{P} \sum_{\mu=1}^P g_{\mu j}^{(1)}(n),$$

$$g_{\mu}^{(2)}(n) = f'^{(2)}(s_{\mu}^{(2)}(n))(y_{\mu}^{(2)}(n) - d_{\mu});$$

$$g_{\mu j}^{(1)}(n) = f'^{(1)}(s_{\mu j}^{(1)}(n))w_{\mu j}^{(2)}(n)g_{\mu}^{(2)}(n).$$

7. Перевірка умови завершення:

якщо $E(n) < \varepsilon$, то завершується, інакше $n = n+1$, перехід до п.2.

Використання пакетного режиму навчання для NAR на відеокарті GeForce 920M дозволило зробити прискорення прямого ходу приблизно в $P(N^{(1)}+1)$ рази, а зворотного ходу при-

близно в $\frac{P}{\log_2 P} (N^{(1)} \times (M^{(0)} + 2))$ разів, при цьому

для зворотного ходу при складанні по усій навчальній множині використовувалась редукція.

Висновки

1. Для вирішення проблеми підвищення прибутку інтернет-магазину досліджені існуючі методи прогнозу. Дані дослідження показали, що на сьогоднішній день найбільш ефективним є використання штучних нейронних мереж.

2. Для підвищення якості прогнозу була обрана нейромережа NAR і визначена структура її моделі. Виконані експерименти показали, що при десяти прихованих нейронах, значення середньоквадратичної помилки істотно не змінюється, і обрана мережа дає результати прогнозу з мінімальним відхиленням.

4. Використання пакетного режиму навчання для NAR на відеокарті GeForce 920M дозволило зробити прискорення прямого ходу приблизно в $P(N^{(1)}+1)$ раз, а зворотного ходу при-

близно в $\frac{P}{\log_2 P} (N^{(1)} \times (M^{(0)} + 2))$ рази, при цьому

для зворотного ходу при додаванні по всьому навчальному безлічі використовувалася редукція.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чучуєва І.А. Модель прогнозування часових рядів за вибіркою максимального подібності: Дис...канд. техн. наук: 05.13.18. – М.: 2012. – 153 с.
2. Бодянский Є.В., Руденко О.Г. Штучні нейронні мережі: архітектури, навчання, застосування / Х.: Телетех, 2004. – 159 с.
3. Sivanandam S.N., Sumathi S., Deepa S.N. Introduction to Neural Networks using Matlab 6.0 / New Delhi: The McGraw – Hill Comp., Inc., 2006. – 660 p.
4. Marwala T. Causality, Correlation and Artificial Intelligence for Rational Decision Making / Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015. – 200 p.
5. Осовский С. Нейронні мережі для обробки інформації / М.: Фінанси і статистика, 2002. – 344 с.
6. Комарцова Л.Г., Максимов А.В. Нейрокомп'ютери / М.: Изд-во МГТУ ім. Баумана, 2002. – 320 с.
7. Федоров Є.Є. Штучні нейронні мережі: монографія / Красноармійськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – 338 с.
8. Zhang Z., Tang Z., Vairappan C. A novel learning method for Elman neural network using local search / Neural Information Processing – Letters and Reviews. – 2007. – Vol.11. – № 8. – P.181-188.
9. Fischer A., Igel C. Training Restricted Boltzmann Machines: An Introduction / Pattern Recognition. – 2014. – Vol.47. – P.25-39.

Надійшла до редакції 18.01.2018

МЕТОД ПАКЕТНОГО ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОСЕТИ НЕЛИНЕЙНОЙ АВТОРЕГРЕССИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОХОДА ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА

Патрушев В.А., Патрушева О.И.

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

В статье рассматриваются и анализируются существующие методы прогнозирования прибыли интернет-магазина. В современной электронной коммерции существует проблема недостаточной эффективности автоматизации бизнес-процессов интернет-магазина. Основываясь на основных преимуществах и недостатках, разработан и внедрен метод нейронной сети прогнозирования прибыли интернет-магазина. Процесс изменения количества товаров, продаваемых онлайн-магазином, как правило, нелинейный, модель прогноза должна адаптироваться к прогнозу количества продаж различных товаров, и в этом случае имеет смысл использовать искусственные нейронные сети. Метод основан на нейронной сети нелинейной авторегрессии (NAR). Обучение NAR основано на коррекции ошибок (обучение с преподавателем), причем наиболее часто используемый алгоритм — это обратное распространение. NAR — универсальный аппроксиматор, обеспечивает глобальную аппроксимацию нелинейного отображения входного сигнала на выходе, обеспечивает хорошее качество обобщения, автоматически определяет количество скрытых слоев. NAR лучше всего подходит для распараллеливания; эта сеть выбрана для решения задач прогнозирования. В качестве входных данных обучения NAR использовалась выборка значений прибыли от продаж. Критерием выбора структуры сетевой модели была минимальная среднеквадратичная ошибка прогноза. После эксперимента было обнаружено, что с увеличением числа скрытых нейронов величина ошибки уменьшается. Чтобы прогнозировать прибыль интернет-магазина, достаточно использовать 10 скрытых нейронов, так как при дальнейшем увеличении количества скрытых нейронов изменение значения ошибки незначительно. Для ускоренного обучения предлагается пакетный режим. Использование режима пакетного обучения для NAR на графической карте GeForce 920M позволило ускорить скорость прямого хода примерно в $P(N^{(1)}+1)$ раз, а обратного —

примерно в $\frac{P}{\log_2 P} (N^{(1)} \times (M^{(0)} + 2))$ раз, при этом обратная

редукция используется для реверсирования сборки по всему обучаемому множеству. Для оценки эффективности предлагаемого метода были проведены многочисленные исследования, чтобы доказать эффективность выбранной сети и ее архитектуры.

Ключевые слова: прогноз, прибыль интернет-магазина, искусственная нейронная сеть, NAR, пакетный режим обучения.

METHOD OF BATCH TRAINING FOR THE NEURAL NETWORK OF NONLINEAR AUTOREGRESSION FOR THE FORECASTING OF INTERNET-SHOPPING OPERATION

Patrushev V.A., Patrusheva O.I.

Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine

The article examines and analyzes the existing methods of forecasting the profit of an online store. In modern e-commerce there is a problem of insufficient efficiency of automation of business processes for an online store. Based on the main advantages and disadvantages, the neural network method of forecasting the profit of an online store is developed and implemented. The process of changing

the number of goods sold by the online store is generally nonlinear, the forecast model must adapt to the forecast of the number of sales of various goods, in which case it makes sense to use artificial neural networks. The method is based on the neural network of nonlinear autoregression (NAR). For NAR learning is based on error correction (training with the teacher). The most commonly used algorithm is backward propagation (BP). NAR is a universal approximator, it provides a global approximation of the nonlinear mapping of the input signal to the output, provides a good generalization quality, automatically determines the number of hidden layers. NAR is best suited for parallelization; this network is selected to solve prediction tasks. As an input to the NAR training, a sample of the profit values generated from sales was used. The criterion for choosing the structure of a network model was the minimum mean square forecast error. After the experiment, it was discovered that with the increase in the number of hidden neurons the value of the error decreases. To predict the profit of an online store it is enough to use 10 hidden neurons, since with a further increase in the number of hidden neurons, the change in the error value is insignificant. Batch mode is offered for accelerated training. Using the batch training mode for the NAR on the GeForce 920M graphics card allowed to accelerate the forward pass speed about $P(N^{(1)}+1)$ times, and to accelerate the backward

pass speed in roughly $\frac{P}{\log_2 P} (N^{(1)} \times (M^{(0)} + 2))$ times, with the

reciprocal reduction being used for reversing the assembly throughout the training set. To assess the effectiveness of the proposed method, numerous studies have been carried out to prove the effectiveness of the chosen network and its architecture.

Keywords: forecast, profit of the online store, artificial neural network, NAR, batch mode of training.

REFERENCES

1. Chuchueva I.A. *Model prognozuvannya chasovih ryadiv za vibirkoyu maksimalnogo podobnosti* [Model of forecasting of time series according to a sampling of maximum similarity]: Dis. Candidate. tech Sciences: 05.13.18, Moscow, 2012. 153 p. (in Russian).
2. Bodiansky Ye.V., Rudenko O.G. *Shtuchni neyronni merezhi: arhitekturi, navchannya, zastosuvannya* [Artificial Neural Networks: Architecture, Training, Application]. Teletech, Kharkiv, 2004. 159 p. (in Ukrainian).
3. Sivanandam S.N., Sumathi S., Deepa S.N. *Introduction to Neural Networks using Matlab 6.0*. The McGraw-Hill Comp, New Delhi, 2006. 660 p.
4. Marwala T. *Causality, Correlation and Artificial Intelligence for Rational Decision Making*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 2015. 200 p.
5. Osovsky S. *Neironni merezhi dlia obrobky informatsii* [Neural Networks for Information Processing]. Finance and Statistics, Moscow, 2002. 344 p. (in Ukrainian).
6. Komartsova L.G., Maksimov A.V. *Neirokompiutery* [Neurocomputers]. Publishing-house of Bauman MSTU, Moscow, 2002. 320 p. (in Ukrainian).
7. Fedorov E.E. *Shtuchni neyronni merezhi: monohrafiia* [Artificial Neural Networks: Monograph]. Donetsk National Technical University, Krasnoarmeysk, 2016. 338 p. (in Ukrainian).
8. Zhang Z., Tang Z., Vairappan C. A novel learning method for Elman's neural network using local search. *Neural Information Processing*, 2007, vol. 11, no. 8, pp.181-188.
9. Fischer A., Igel C. *Training Restricted Boltzmann Machines: An Introduction*. Pattern Recognition, 2014, vol. 47, pp.25-39.