

УДК 519.8:339

Ю. В. Николаева, аспирант  
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНОГО ПЕРЦЕПТРОНА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ РЫНОЧНЫХ СИТУАЦИЙ

*В статье рассматривается применение многослойного перцептрона в качестве ядра интеллектуальной системы поддержки принятия решений трейдера финансовых рынков. Приведены общие положения о проектировании нейронной сети для задач классификации рыночных ситуаций. Представлена математическая постановка задачи обучения спроектированной нейронной сети.*

**Ключевые слова:** нейронная сеть, многослойный перцептрон, классификация, рыночные ситуации.

Возрастающая скорость развития и автоматизации отрасли биржевой торговли, потребность в современном и эффективном инструментарии для анализа ситуаций на финансовых рынках ведет к бурному развитию методов интеллектуального анализа данных, развитию информационных систем управления и исследований в области систем поддержки принятия решений (СППР) для торговли на финансовых рынках. Разработка и использование методов анализа и прогнозирования поведения финансового инструмента являются актуальной сферой приложения математических, эконометрических знаний, а также навыков проектирования и разработки информационных систем.

Парадигма нейронных сетей находит применение в решении практических задач в самых различных предметных областях: распознавание графических объектов в поисковых системах, системах автоматического проектирования, кластеризация неструктурированных данных в хранилищах данных, интеллектуальное моделирование сложных систем, в том числе стратегий на финансовых рынках.

Основой нейросетевого моделирование, помимо открытий в нейрофизиологии, послужила теорема Колмогорова (Колмогоров, 1957), суть которой сводится к тому, что любая непрерывная функция  $n$  аргументов на единичном кубе  $[0,1]^n$  представима в виде суперпозиции непрерывных функций одного аргумента и операции сложения. Каждый из нейронов (единичных вычислительных элементов нейронной сети) представляет собой функцию одного аргумента. А суперпозиция суммы таких функций представляет собой функцию активации нейрона следующего слоя.

Математическая модель нейронной сети (в частности, двухслойного перцептрона [1, 2]), состоящая из входного слоя и выходного слоя, представляет собой сложную функцию:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{k=1}^{2n+1} h_k \left( \sum_{i=1}^n \varphi_{ik} \cdot x_i \right), \quad (1)$$

где  $h_k$  – функция активации нейронов выходного слоя;  $x_i$  – входные нейроны с весами  $\varphi_{ik}$ .

Цель функционирования сети, решающей задачу классификации рыночных ситуаций, – найти оптимальные веса, с которыми функция наилучшим обра-

зом приближается к функции реальных выходов нейронной сети из обучающей выборки:

$$e_k(n) = d_k(n) - y_k(n); \quad (2)$$

$$E(n) = \frac{1}{2} e_k^2(n) \rightarrow \min, \quad (3)$$

то есть в минимизации суммарной ошибки  $E(n)$  выходов сети (где  $e_k$  – ошибка одного выхода сети).

Для нейросетей с одним выходным нейроном задача сводится к экстраполяции функции выхода сети. Рассмотрим структуру спроектированного многослойного перцептрона с одним выходом.

Функция значения выходного нейрона перцептрона с одним скрытым слоем принимает вид

$$y = h \sum_{j=1}^2 g_j \left( \sum_{i=1}^3 \varphi_{ij} \cdot x_i \right), \quad (4)$$

где  $h$  – функция активации выходного нейрона;  $g_j$  – функции активации нейронов скрытого слоя.

Процесс обучения нейронной сети с одним выходом сводится к нахождению таких весов, которые бы максимально приближали функцию значений выходного нейрона к реальному значению выхода из обучающей выборки:

$$E(n) = e^2 = (d - y)^2 = \left( d - h \sum_{j=1}^2 g_j \left( \sum_{i=1}^3 \varphi_{ij} \cdot x_i \right) \right)^2 \rightarrow \min. \quad (5)$$

Идея создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений трейдера финансовых рынков основана на эмуляции анализа трейдером привычных ему показателей: значений по распространенным техническим индикаторам RSI, MACD, значений по специализированной прогнозной модели GARCH. По полученным данным трейдер-аналитик на основе своих знаний, опыта и предположений делает вывод о текущей рыночной ситуации и с учетом ожидаемой прибыли вступает в сделку. ИСППР аналогично работе мозга человека анализирует все полученные данные и выдает рекомендацию по направлению сделки.

Пусть имеется  $Z$  – формальная постановка задачи принятия инвестиционного решения.  $Z$  включает множество исходных данных  $I$ , в том числе преды-

дущие изменения цен финансового инструмента, значений технических индикаторов и прогнозной модели и множество объектов, подлежащих определению  $O$ . Основой разработки нейронного алгоритма решения задачи является системный подход, при котором процесс решения задачи представляется как функционирование во времени динамической системы, на вход которой подается множество  $I$ , а на выходе снимается множество  $O$  (объекты, подлежащие определению и получившие свои значения – решение о покупке-продаже финансового инструмента в текущей ситуации).

На входы подаются векторы из обучающего множества (цена, значение RSI, значение MACD, значение по модели GARCH). На выходы – полученное с помощью обучающего правила значение из множества:  $\{0; 0,5; 1\}$ , как эмуляция экспертной оценки.

При проектировании архитектуры нейронной сети главным входным определяющим признаком нейронной сети для задачи классификации рыночных ситуаций являются цены финансового инструмента. Следовательно, все остальные признаки необходимо выбирать по степени связанности и взаимному влиянию признаков на цены. В качестве критериев оптимизации выбора количества входных признаков каждого вида выбраны коэффициент корреляции и коэффициент детерминации, отражающие, соответственно, тесноту связи и степень взаимообусловленности. Результаты экспериментов дают значимые

коэффициенты для значений технических индикаторов RSI, MACD и по модели GARCH вплоть до задержки в 3 периода. Такой научный подход к проектированию нейронных сетей дает более высокие результаты эффективности в сравнении с популярными методами ручного подбора параметров нейронной сети и методами сравнения обучения совета нейронных сетей (подробнее в [3]).

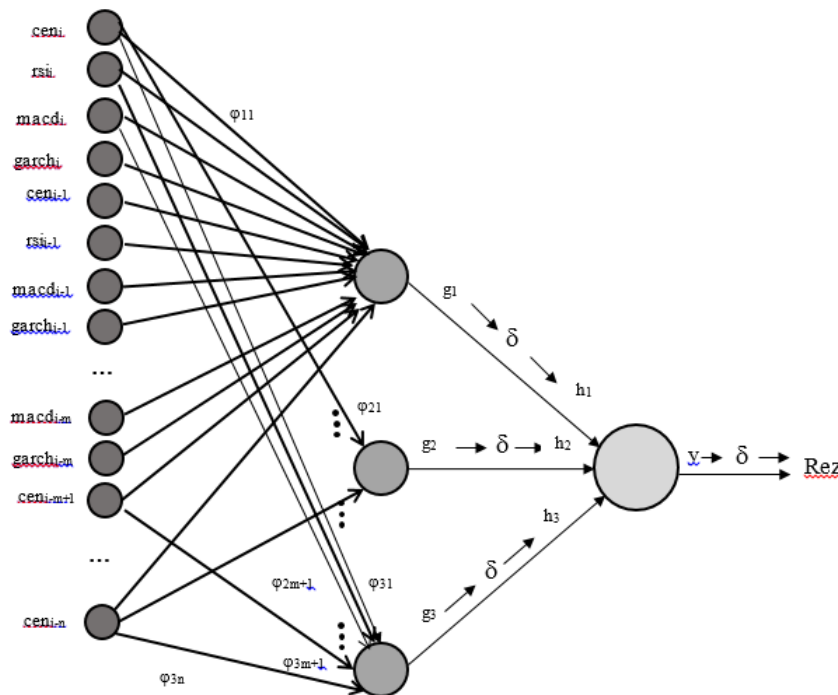
Для корректного функционирования сети все данные, подаваемые на ее входы, должны быть предварительно обработаны: центрированы, нормированы, очищены от шумов – и должны быть заполнены пробелы в данных при их наличии (см. подробнее [4, 5]).

Рассмотрим математическую постановку задачи обучения спроектированного многослойного перцептрона (рисунок) для задачи классификации рыночных ситуаций:

$$y = h \left( \sum_{j=1}^3 g_j \left( \sum_{i=1}^{18} \varphi_{ij} \cdot x_i \right) \right), \quad (6)$$

где  $h$  – функция активации выходного нейрона;  $g_j$  – функции активации нейронов скрытого слоя.

$$E(n) = e^2 = (d - y)^2 = \left( d - h \left( \sum_{j=1}^3 g_j \left( \sum_{i=1}^{18} \varphi_{ij} \cdot x_i \right) \right) \right)^2 \rightarrow \min. \quad (7)$$



Архитектура спроектированной нейронной сети

При обучении нейронной сети можно перейти к задаче оптимального управления, где вектор входных значений нейронной сети является вектором управления, вектор весов является вектором состояния, а минимизируемое выражение критерием качества. На каждом последующем промежутке времени, значения

входов нейронов меняются, и полученные на предыдущем шаге веса влияют на веса нового шага.

$$\varphi(\tau + 1) = A\varphi(\tau) + Bx(\tau), \quad (8)$$

где  $\tau$  – переменная, характеризующая динамику процесса обучения, момент, за который подаются

значения входов сети;  $A$  – матрица влияния весов предыдущего шага;  $B$  – вектор корректировки предыдущего управления;  $\varphi(\tau)$  – вектор состояния;  $x(\tau)$  – вектор управления;

$$x(\tau) \in X : \{x_i \in [0,1], i = 1..3\}, \quad (9)$$

где  $X$  – множество допустимых управлений (множество отнормированных значений входов нейронной сети).

При рассмотрении процесса управления в динамике, соответственно, критерий качества выражается как сумма минимизируемых выражений:

$$J(\varphi, x) = \sum_{\tau=0}^T \left( \frac{1}{1 + e^{-\sum_{i=1}^3 \varphi_{i1} x_i(\tau)}} + \frac{1}{1 + e^{-\sum_{i=1}^3 \varphi_{i2} x_i(\tau)}} \right) \rightarrow \min. \quad (10)$$

Получена линейная дискретная задача оптимального управления с суммарным функционалом [6], которая является хорошо исследованной и имеет специальные методы оптимизации: принцип максимума Понтрягина и методы динамического программирования, метод Беллмана (Беллман, 1960). Подробнее о обучении нейронного классификатора можно найти в [7, 8].

#### Библиографические ссылки

1. *Nikolaeva Y. V.* The neural networks. The multilayer perceptron // Communication of Students, Master Students and Post-Graduates in Academic, Professional and Scientific Fields : материалы межвуз. студ. науч. конф., 2011.
2. *Минский М., Папперт С.* Перцептроны. – М. : Мир, 1971.
3. *Николаева Ю. В.* Критерии выбора архитектуры нейронной сети для прогнозирования финансовых рынков // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2015. – № 1.
4. *Николаева Ю. В.* Нормировка данных для нейронных сетей // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке : сборник материалов III Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием, Ижевск, 22–23 апреля 2015 года.
5. *Сучкова Е. А.* Консолидация данных в системах поддержки принятия решения // Перспективы развития научных исследований в 21 веке : сборник материалов 9-й Международной науч.-практ. конф. (г. Махачкала, 31 октября, 2015 г.). – Махачкала : Апробация, 2015. – 234 с.
6. *Понтрягин Л. С.* Математическая теория оптимальных процессов. – 3-е изд. – М. : Наука, 1976. – 392 с.
7. *Rumelhart D. E., Hinton G. E., and Williams R. J.* Learning representations by back-propagating errors. Nature 323 (1986). P. 533–536.
8. *Николаева Ю. В.* Математическая постановка задачи обучения многослойного перцептрона с точки зрения классической // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2016. – № 2.

\*\*\*

*Yu. V. Nikolaeva*, Post-graduate, Kalashnikov ISTU

#### Mathematical formulation of the problem of training the multilayer perceptron for classification of market situations

*The article deals with application of a multilayer perceptron as a core of an intelligent decision support system for a trader of financial markets. General concepts of designing a neural network for tasks of market situation classification are considered. Mathematical statement of the task of the designed neural network training is presented.*

**Keywords:** neural network, multilayer perceptron, classification, market situations.

Получено: 19.05.16