

# ОСОБЕННОСТИ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ВЕКТОРНОГО КВАНТОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ

А.К. Крутиков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров

Прогнозирование в среде физической культуры и спорта – это важнейший элемент планирования тренировочного процесса и спортивных достижений. Активное развитие средств вычислительной техники и прикладного искусственного интеллекта позволяет применять современные информационные технологии и мощный математический аппарат в сфере прогнозирования. В статье приводится пример программной системы для осуществления прогнозирования спортивных результатов в индивидуальных и командных видах спорта.

Описана структура системы, основные принцип её работы. Более подробно рассмотрен один из модулей системы, реализующий нейронную сеть векторного квантования и решающий задачу кластеризации данных. Метод кластеризации является одним из эффективных способов прогнозирования спортивных событий. Приводится подробный алгоритм функционирования модуля. Проанализированы результаты экспериментов с использованием данного модуля. В качестве исследуемого объекта выбран боксерский поединок между британским боксером Энтони Джошуа и российским боксером Александром Поветкиным за титул чемпиона мира. Основным прогнозируемым событием являлось определение непосредственного исхода поединка. Приведено описание одного из вариантов подготовки обучающей выборки. Представлены оценка эффективности использования сформированной обучающей выборки и результаты экспериментов. Применение модуля, реализующего нейронную сеть векторного квантования для прогнозирования результатов боксерского поединка, можно считать успешным.

Прототип предлагаемой программной системы на основе некоторых моделей искусственных нейронных сетей разработан в среде MATLAB. Систему, включающую представленный в статье модуль, можно использовать не только для прогнозирования индивидуальных и командных соревнований, подобно букмекерским приложениям, но и для планирования индивидуальных достижений, например, в плавании, лёгкой атлетике и т.п., с учётом антропометрических данных и контрольных результатов, показываемых спортсменами в ходе контрольных тренировок и специальных тестов.

*Ключевые слова:* спортивное прогнозирование, программная система, нейронная сеть, обучающая выборка, векторное квантование, LVQ-сеть.

## ВВЕДЕНИЕ

Прогнозирование в спорте используется специалистами повсеместно. Прогнозируются исходы отдельных матчей и результаты выступления команд во всём чемпионате, результаты выступления спортсменов на отдельных этапах Кубка мира и итоговые места участников. При этом заказчиков прогноза зачастую интересуют не только индивидуальные достижения спортсменов и численные значения многочисленных «мелких» показателей проводимых матчей (количество угловых, нарушений правил в каждом тайме, жёлтых и красных карточек, и т.д.), но и более глобальные показатели. Например, перспективы роста зрительского интереса к спортивной дисциплине с учётом внесения существенных изменений в правила, примерный медальный план объединённой команды на предстоящем чемпионате, темпы роста мировых рекордов, долгосрочные перспективы развития определенных видов спорта и всего олимпийского движения. Специалисты различных спортивных областей используют подобные прогнозы для достижения своих целей. Букмекеры, тренерские штабы, спортивные функционеры, селекционеры так или иначе формируют спортивные прогнозы.

Часть прогнозов составляется в формате эмпирической оценки, когда эксперт в конкретном виде спорта определяет, оценивает и фиксирует своё мнение относительно будущего события. Некоторые прогнозы составляются по готовым алгоритмам и формулам, например, с помощью временных рядов, уравнения Вингейта, различных методов регрессионного анализа и других подходов на основе математической статистики. Ряд специалистов для осуществления прогнозов использует готовые программные продукты на основе технологий машинного обучения и прикладного искусственного интеллекта [1, 2, 3].

С точки зрения использования специализированного программного обеспечения, выделяются несколько основных видов прогнозирования [4, 5]:

- экспертная оценка, эквивалентом которой, в той или иной мере, являются экспертные системы;
- метод анализа временных рядов, включающий два основных метода – метод экстраполяции и метод регрессионного анализа;
- метод моделирования, применяемый в прикладных системах, которые выполняют построение моделей, прогнозируемого объекта, и эксперименты с полученными моделями, с целью получения прогноза;

- метод кластеризации, предполагающий соотношение прогнозируемого результата к тому или иному классу (кластеру) событий.

Программное обеспечение для реализации методов экстраполяции, регрессионного и кластерного анализа весьма разнообразно и чаще всего базируется на специализированных математических пакетах. Однако крайне малая часть подобных приложений адаптирована под спортивное прогнозирование.

В качестве одного из инструментов реализации регрессионного и кластерного анализа в последние годы выступает аппарат искусственных нейронных сетей [6, 7]. В данной работе рассматривается специализированный программный модуль для осуществления прогнозов в физической культуре и спорте на основе нейронной сети векторного квантования.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Научными сотрудниками лаборатории «Интеллектуальные системы» Вятского государственного университета в среде MATLAB разработан прототип программной системы для прогнозирования спортивных результатов, основанной на нейросетевом подходе[xx]. Обобщённая структура системы приведена на рис. 1. Система состоит из нескольких модулей, каждый из которых реализует определенную модель искусственной нейронной сети. Блок первичной обработки принимает исходные данные, преобразует их к необходимому виду и передаёт на обработку во все (или только указанные пользователем) модули. Блок сбора данных аккумулирует получаемые от модулей ответы и, в зависимости от заложенного в нём алгоритма, либо выдаёт все результаты, либо выбирает «лучший» из них, либо осуществляет специальное агрегирование с учётом заданных настроек системы. Последний вариант требует сложной и трудоёмкой настройки и на данном этапе исследований пока не реализован.

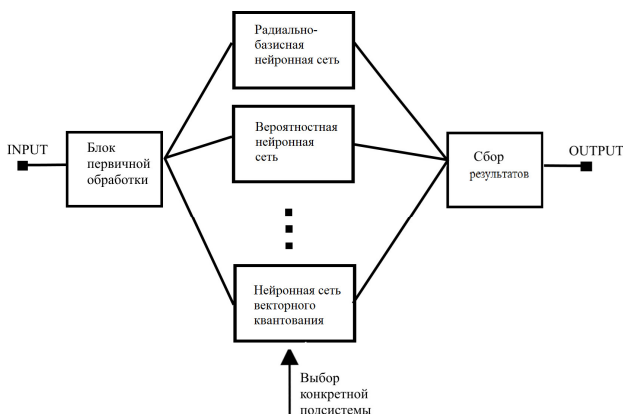


Рис. 1. Структура программной системы

Был проведён ряд экспериментов с подключением различных моделей нейронных сетей. Система использовалась как инструмент регрессионного анализа

для прогнозирования численных индивидуальных результатов спортсмена [8] и как инструмент кластерного анализа для прогнозирования исходов спортивных событий [9].

Одной из моделей, успешно реализующей алгоритм кластерного анализа, является нейронная сеть векторного квантования (LVQ)[10]. Поэтому система была дополнена программным модулем, содержащим двуслойную LVQ-сеть. Конкурирующий слой выполняет кластеризацию векторов, а линейный слой соотносит кластеры с целевыми классами, заданными пользователем. В процессе обучения LVQ-сети веса нейронов настраиваются с учетом принадлежности обучающих примеров и кластеров одному классу. Таким образом, обученная LVQ-сеть производит кластеризацию входных векторов.

После проектирования и программной реализации данного модуля были проведены эксперименты по прогнозированию спортивных результатов. Прогнозирование заключалось в определении класса для поступающего на входы сети вектора. Каждый класс соответствует конкретному спортивному событию (например, класс\_1 – победа, класс\_2 – поражение, класс\_3 – ничья, и т.п.),

Для проведения экспериментов была сформирована обучающая выборка с учётом особенностей функционирования нейронной сети векторного квантования. Каждый вектор – это набор технических параметров спортсмена (команды). Результирующий элемент вектора – номер класса, к которому относится обучающий вектор. При прогнозировании конкретного спортивного события на входы нейронной сети поступает вектор статистических показателей спортсмена (команды), актуальных на данный момент. На выходе нейронной сети – значение результирующего элемента, то есть номер класса-события. В ходе экспериментов обучались несколько конфигураций нейронной LVQ-сети с различной структурой, различным количеством нейронов и различным количеством эпох обучения. В качестве одного из прогнозируемых событий был выбран поединок между британским боксером Энтони Джошуа (1,0), и российским боксером Александром Поветкиным (0,1), за титул чемпиона мира. Поединок завершился победой британца [11].

При обучении сети использовались два различных алгоритма. В табл. 1 приведены результаты обучения нейронной сети с использованием специализированного алгоритма обучения LVQ1. С математической точки зрения это метод случайных приращений, который тренирует сеть с помощью правила обучения весов и смещений, при этом модификация производится после каждого предъявления входа. Входы предъявляются в случайном порядке.

Табл. 1. Алгоритм обучения LVQ1 с поекторным обучением весов и смещении (trainr)

Количество нейронов	Количество эпох обучения	Время обучения, с	Результат прогноза
1	1	0,1	(0,1)
4	3	0,1	(0,1)
7	7	0,1	(1,0)
11	12	1	(1,0)
23	11	1	(1,0)
32	141	8	(1,0)
41	119	11	(1,0)
56	21	1	(0,1)
112	145	17	(1,0)
214	144	25	(1,0)
333	171	35	(1,0)
460	191	60	(1,0)

Необходимо отметить, что прогнозы проводились при скорости обучения равной 0,001. С увеличением начальной скорости обучения точность прогнозов снижается. Так, при начальной скорости обучения более 0,5 значительно повышается среднеквадратичная ошибка обучения, а, следовательно, точность прогноза падает и сеть дает ошибочные прогнозы.

Также в ряде экспериментов был использован другой специализированный алгоритм обучения LVQ2.1 (табл. 2). В этом случае одновременно корректируются два вектора весов, близких к входному вектору. Причем один из векторов принадлежит верному классу, а второй – не верному.

Табл. 2. Алгоритм обучения LVQ2.1 с поекторным обучением весов и смещении (trainr)

Количество нейронов	Количество эпох обучения	Время обучения, с	Результат прогноза
32	200	9	(1,0)
56	200	11	(1,0)
112	200	20	(1,0)
214	200	28	(1,0)
333	200	44	(1,0)
460	200	58	(1,0)

Алгоритм LVQ2.1 останавливается после фиксированного числа эпох обучения, которое задается программно. Время обучения, в данном случае, напрямую зависит от количества заданных эпох. Эксперименты проводились при различных значениях начальной скорости обучения. В отличие от алгоритма LVQ1, работа нейронной сети после обучения алгоритмом LVQ2.1 не показала чувствительности к повышению значения начальной скорости обучения. Значение последней изменялось в диапазоне от 0.001 до 1.0. Все эксперименты с использованием алгоритма LVQ2.1 завершились точным прогнозом нейронной сети.

С математической точки зрения это выглядит следующим образом, в алгоритме LVQ1 в каждом цикле для каждого входного вектора  $X$  из обучающей выборки, определяется нейрон  $u$  с минимальным евклидовым расстоянием между  $X$  и вектором  $W_u^{(k)}$ . Корректируется вектор весов нейрона победителя  $W_u^{(k+1)} = w_u^{(k)} \pm \alpha [x - w_u^{(k)}]$ , где  $\alpha$  – скорость обучения. Вектора

$X$  и  $W_u^{(k)}$  могут принадлежать (+) или не принадлежать (-) одному классу. Веса других нейронов не изменяются. В алгоритме обучения LVQ2.1, одновременно корректируются два веса векторов  $W_i, W_j$ , близких к вектору  $X$  (по правилам, аналогичным алгоритму LVQ1). При этом один из векторов принадлежит к правильному классу (классификатору), а другой – к неправильному. Критерием близости этих векторов к входному является попадание  $X$  в некоторое так называемое «окно» относительной ширины  $s$ , такое, что  $X$  попадает в это окно если  $\min(d_i/d_j, d_j/d_i) > (1-s)/(1+s)$ , где  $d_i$  и  $d_j$  – евклидовы расстояния от  $X$  до  $W_i$  и  $W_j$  соответственно.

В ходе экспериментов алгоритм обучения LVQ2.1 для данного типа задач показал более высокий процент определения прогнозируемого исхода – 68%, в то время как при использовании алгоритма LVQ1 аналогичный показатель составил 61%. При прогнозировании конкретного события (см. примеры) определение исхода с использованием LVQ сети, обученной алгоритмом LVQ2.1, было точным в 100% экспериментах, в отличие от аналогичной сети, обученной с использованием алгоритма обучения LVQ1 (75%). Из результатов проведенных экспериментов можно сделать вывод, что использование алгоритма LVQ2.1 показывает более качественное прогнозирование для подобного класса задач.

Особенностью обучения сети алгоритмом LVQ1 для решения задач спортивного прогнозирования является необходимость использования начальной скорости обучения менее 0,5. Эксперименты показали, что при большей скорости точность прогнозов уменьшается, а при начальной скорости более 0,88, большинство исходов и вовсе было определено неверно. Этот недостаток можно немного компенсировать, используя алгоритма LVQ2.1, который менее чувствителен к росту скорости обучения. При этом важно отметить, что в этом случае при обучении LVQ-сети необходимо использовать значительно большее число эпох. Опытным путем было определено, что для данного типа задач рекомендуемое число эпох должно быть более 100, в том числе и при малых (менее семи нейронов) структурах нейронной сети. В противном случае сеть может также давать ошибочные результаты.

Структура используемой LVQ-сети в модуле среды MATLAB представлена на рисунке 2.

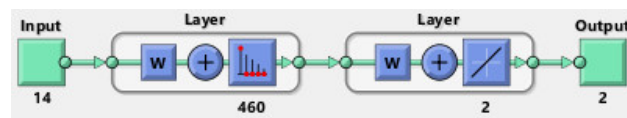


Рис. 2. Структура LVQ-сети

В целом, при использовании LVQ-сети в качестве инструмента прогнозирования наблюдается тенден-

ция увеличения точности прогнозов при укрупнении структуры нейронной сети. Однако при этом, как правило, возрастает время обучения. Нейронная сеть векторного квантования справилась с задачей прогнозирования и в большинстве экспериментов верно определила победителей.

Статистика, использованная для обучающей выборки, взята из открытых источников сети Интернет: сайтов спортивной статистики, рейтингов международных федераций профессионального бокса и т.д. Обладая большим числом статистических данных, возможно производить укрупнение и уточнение обучающей выборки, а, следовательно, появятся новые скрытые зависимости, определяемые нейронной сетью, которые также могут влиять на результат. Отдельные тренерские штабы, ведущие специалисты, личные тренеры, работающие, непосредственно с конкретными спортсменами, обладая собственной статистикой могут обрабатывать ее и включать в обучающую выборку, получая при этом более точный прогноз предполагаемого события.

Прототип системы для прогнозирования спортивных результатов на основе нейронных сетей, включая модуль, содержащий LVQ-сеть, разработан в системе MATLAB и занимает 3,2 Мб на жестком диске. Рекомендуемые системные требования к ПК: Intel Core i3, 1,7 ГГц, оперативная память от 1 Гб, от 200 Мб свободного места на жестком диске, ОС Windows XP/7/8/10 и выше.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование представленной программной системы позволит осуществлять прогнозы не только подготовленным математикам и IT-профессионалам, но и всем работникам-специалистам в сфере физической культуры и спорта. В зависимости от задач систему можно настроить на краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные прогнозы. При грамотной работе со спортивной статистикой и совершенствовании формирования обучающих выборок, модули системы могут стать серьезным инструментом в прогнозировании исходов спортивных событий, командных результатов и индивидуальных достижений спортсменов.

Модульная архитектура системы позволяет легко добавлять новые узлы и компоненты с учётом стремительно развивающейся научной отрасли прикладных интеллектуальных систем и искусственных нейронных сетей. Также будут продолжены эксперимен-

ты с различными алгоритмами обучения, алгоритмами предобработки обучающей выборки, процедурами определения наиболее значимых параметров обучающей выборки. Разработан и постоянно дорабатывается ряд методических рекомендаций по работе с системой. После анализа функционирования всех модулей будет произведен переход от прототипа системы в среде MATLAB к её реализации на одном из языков высокого уровня для более эффективного использования всеми специалистами спортивной сферы.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ясницкий Л.Н., Кировоса А.В., Ратегова А.В., Черепанов Ф.М. Прогноз результатов Чемпионата мира 2015 по легкой атлетике методами искусственного интеллекта. //Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14423> (дата обращения 22.02.2019).
2. Страбыкин Д.А. Интеллектуальные системы логического прогнозирования развития ситуаций на основе дедуктивного вывода // Киров : ФГБОУ ВПО «ВягГУ», 2014 – 182 с.
3. Нейронные сети для прогнозирования спортивных событий URL: <https://bett-market.com/iskusstvenniy-intellekt-i-bukmekerstvo-neyronnie-seti-dlya-prognozirovaniya-sportivnih-sobitij> (дата обращения 11.03.2019).
4. Прогнозирование и виды прогнозов URL: [https://studopedia.ru/17\\_38527\\_prognozirovanie-i-vidi-prognozov.html](https://studopedia.ru/17_38527_prognozirovanie-i-vidi-prognozov.html) (Дата обращения 22.09.2018).
5. Мельцов В.Ю., Страбыкин Д.А. Вывод следствий с построением схемы логического вывода // Фундаментальные исследования. 2013. № 11-8. С. 1588-1593.
6. Саймон Хайкин. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. –М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. 1104 с.
7. Самоорганизующаяся карта Кохонена URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Самоорганизующаяся\\_карта\\_Кохонена](https://ru.wikipedia.org/wiki/Самоорганизующаяся_карта_Кохонена) (Дата обращения 25.02.2019).
8. Мельцов В.Ю., Подковырин В.Д., Клокин В.Л., Крутиков А.К., Использование каскадной нейронной сети прямой передачи для прогнозирования спортивных достижений в толкании ядра. [Текст] – Казань: Научно-технический вестник Поволжья №4, 2018. с.136-139.
9. Мельцов В.Ю., Крутиков А.К., Долженкова М.Л., Чистяков Г.А., Подковырин В.Д. Применение нейросетевых алгоритмов кластерного анализа при решении задач прогнозирования спортивных событий [Текст] – Казань: Научно-технический вестник Поволжья №12, 2018. с. 247-250.
10. Нейронная сеть Кохонена URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Нейронная\\_сеть\\_Кохонена](https://ru.wikipedia.org/wiki/Нейронная_сеть_Кохонена) (Дата обращения 25.02.2019).
11. Поветкин – Джошуа URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Энтони\\_Джошуа](https://ru.wikipedia.org/wiki/Энтони_Джошуа) – Александр\_Поветкин (Дата обращения 25.02.2019)

*Крутиков Александр Константинович – аспирант кафедры электронных вычислительных машин, Вятский Государственный Университет, тел. +79513495937 e-mail: [yadrodisk@yandex.ru](mailto:yadrodisk@yandex.ru)*

# FEATURES OF TEACHING A NEURAL NETWORK OF VECTOR QUANTIZATION WHEN DEVELOPING A SPECIALIZED SOFTWARE MODULE

A.K. Krutikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vyatka State University, Kirov

Forecasting in the environment of physical culture and sports is the most important element of planning the training process and sports achievements. The active development of computer technology and applied artificial intelligence allows the use of modern information technology and powerful mathematical apparatus in the field of forecasting. The article provides an example of a software system for predicting sports results in individual and team sports.

The structure of the system and the basic principle of its operation are described. One of the modules of the system, which implements the neural network of vector quantization and solves the problem of data clustering, is considered in more detail. Clustering method is one of the most effective ways to predict sports events. The detailed algorithm of the module functioning is given. The results of experiments using this module are analyzed. The Boxing match between British boxer Anthony Joshua and Russian boxer Alexander Povetkin for the title of world champion was chosen as the studied object. The main predicted event was the determination of the direct outcome of the match. The description of one of the variants of training sample preparation is given. The evaluation of the effectiveness of the formed training sample and the results of experiments are presented. The use of a module that implements a neural network of vector quantization to predict the results of a Boxing match can be considered successful.

The prototype of the proposed software system based on some models of artificial neural networks was developed in MATLAB. The system, which includes the module presented in the article, can be used not only for forecasting individual and team competitions, like bookmaking applications, but also for planning individual achievements, for example, in swimming, athletics, etc., taking into account anthropometric data and control results shown by athletes during control trainings and special tests.

Index terms: sports forecasting, software system, neural network, training sampling, vector quantization, LVQ network.

## REFERENCES

1. Yasnitsky L. N., Kirovasi A.V., Rategov A. V., Cherepanov F. M.: predicting outcomes of the 2015 world Championships in athletics methods of artificial intelligence. // Modern problems of science and education. – 2014. – № 4. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14423> (accessed 22.02.2019).
2. Strabykin D. A. Intelligent systems logical forecasting of situations on the basis of deductive inference // Kirov : «Vyatka State University», 2014 – 182 С.
3. Neural network for predicting sports events URL: <https://bett-market.com/iskusstvenniy-intellekt-i-bukmekerstvo-neyronnie-seti-dlya-prognozirovaniya-sportivnih-sobitii> (accessed 11.03.2019).
4. Forecasting and types of forecasts URL: [https://studopedia.ru/17\\_38527\\_prognozirovanie-i-vidi-prognozov.html](https://studopedia.ru/17_38527_prognozirovanie-i-vidi-prognozov.html) (accessed 22.09.2018).
5. Meltsov V. Yu., Strabykin D. A. Conclusion of consequences with construction of the scheme of logical conclusion. Fundamental researches. 2013. No. 11-8. P. 1588-1593.
6. Simon Haykin. Neural networks: full course, 2nd edition. –Moscow: Publishing house "Williams", 2006. 1104 PP.
7. A self-organizing map Kohonen URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Самоорганизующаяся\\_карта\\_Кохонена](https://ru.wikipedia.org/wiki/Самоорганизующаяся_карта_Кохонена) (accessed 25.02.2019).
8. Meltsov V. Y., Podkovyrin D. V., Klyukin V. L., A. K. Krutikov, the Use of cascade neural network direct transfer to predict athletic achievement in the shot put. [Text] – Kazan: Scientific and technical Bulletin of the Volga region №4, 2018. S. 136-139.
9. Meltsov V., Krutikov A. K. Dolzhenkova, M. L., Chistyakov G. A., Podkovyrov V. D. Application of neural network algorithms of cluster analysis in solving problems prognosing of sports events [Text] – Kazan: Scientific-technical Vestnik of the Volga region №12, 2018. p. 247-250.
10. Neural network Kohonen URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Нейронная\\_сеть\\_Кохонена](https://ru.wikipedia.org/wiki/Нейронная_сеть_Кохонена) (accessed 25.02.2019).
11. Povetkin-Joshua URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Энтони\\_Джозуа\\_–\\_Александр\\_Поветкин](https://ru.wikipedia.org/wiki/Энтони_Джозуа_–_Александр_Поветкин) (accessed 25.02.2019).

*Krutikov Alexander - post-graduate student of the Department of electronic computers, Vyatka State University, +79513495937 e-mail: yadro-disk@yandex.ru*