

КАСКАДНАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А.К. Крутиков

ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров

Развитие информационных технологий и прикладного искусственного интеллекта позволяет повышать качество работы человека в различных сферах жизнедеятельности. Не стала исключением и сфера физической культуры и спорта. Современные компьютерные системы и различные методы машинного обучения широко применяются для решения задач обработки статистической информации, анализа и планирования как тренировочной, так и соревновательной деятельности.

В статье анализируется возможность применения различных моделей искусственных нейронных сетей для прогнозирования спортивных событий. Описаны структура модульной системы прогнозирования, где каждый модуль реализован на одной из известных моделей. Основное внимание уделяется двум моделям – на основе обобщенно-регрессионной нейронной сети (GRNN) и на основе нейронной сети векторного квантования (LVQ). Указаны особенности формирования обучающих выборок и принципов работы. В качестве примера рассмотрен процесс прогнозирования исхода боксерского поединка за титул чемпиона мира между российским боксером Сергеем Ковалевым и мексиканским боксером Саулем Альваресом. Результаты проведенных экспериментов представлены в табличной форме. Анализ этих результатов позволяет увидеть недостатки, присущие любой из моделей при прогнозировании событий, в которых кроме односложного ответа (победа, поражение, ничья) необходимо получить и некоторый ряд численных значений.

Для решения указанных проблем предлагается использовать каскадирование (конвейеризацию) модулей системы, каждый из которых реализует ту или иную модель нейросети. Приведена обобщенная структура двухуровневой каскадной системы. Использование данной модификации можно считать успешным, так как даже при небольших затратах на ресурсы данная конфигурация показала лучшие результаты прогнозирования, предсказав победу Альвареса практически со 100% «уверенностью». Однако в статье отмечается, что, если обучение используемых при каскадировании моделей проводить последовательно, это приведет к значительному увеличению времени подготовки системы к работе.

Прототип системы реализован на базе пакета MATLAB в научно-исследовательской лаборатории «Интеллектуальные системы» им. В.А. Байкова ФГБОУ ВО Вятского государственного университета. Система продолжает тестироваться в более сложных режимах работы, с введением большого числа разнотипных исходных данных и на различных временных интервалах прогнозирования. Использование программной системы тренерским штабом или личными тренерами спортсменов поможет поднять эффективность тренировочной подготовки, оценить уровень показателей контрольных тестов для достижения необходимого соревновательного результата.

Ключевые слова: спортивное прогнозирование, искусственная нейронная сеть, обучающая выборка, векторное квантование, каскадирование, GRNN-сеть, LVQ-сеть, программная система

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня информационные технологии (ИТ) и технологии искусственного интеллекта (ИИ) являются, пожалуй, самыми динамично развивающимися сферами науки и техники. Универсальность и эффективность ИТ средств позволяют использовать их для решения широкого спектра прикладных задач практически во всех видах человеческой деятельности. Одной из таких задач является прогнозирование.

В данной работе рассматривается прогнозирование в области физической культуры и спорта. Прогнозирование в данном случае направлено на получение вероятностной информации – знания о спортивном событии, которое должно произойти в будущем. Этим событием может быть количественный результат спортсмена (команды), показанный на конкретных стартах, его место в общем зачете турнира, показатели «медального

зачёта» сборной команды страны на крупных спортивных мероприятиях, тенденции развития того или иного вида спорта.

По временным характеристикам можно выделить краткосрочное, среднесрочное, долгосрочное и сверхдолгосрочное прогнозирование. Основной сложностью прогнозирования в спорте является то, что результатом прогноза может быть, как некоторое численное значение (различных форматов, точности и типов данных), определяющее результат в конкретной спортивной дисциплине, где это предусмотрено регламентом, так и различные типы исходов спортивных поединков (победа, поражение, ничья, нокаут, отказ спортсмена и т.д.). А иногда в качестве результата прогноза требуется сформировать тренд или тенденцию изменения показателей (параметров) за определённый период времени, в том числе в графическом виде. Для осуществления подобного прогнозирования используются как классические методы статистического анализа, например, анализ с

помощью временных рядов, так и современные информационные технологии - системы на основе нечеткой логики, различные модели искусственных нейронных сетей и т.д. [1,2].

В одной из предыдущих публикаций по данной тематике [3] подробно описан модуль, предназначенный для прогнозирования результатов в индивидуальных и командных видах спорта, на основе нейронной сети векторного квантования сигналов [3]. В данной работе, речь пойдет о возможности модификации такого модуля с целью повышения эффективности работы системы и точности прогнозируемых результатов.

КАСКАДИРОВАНИЕ МОДУЛЕЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ

Научными сотрудниками лаборатории «Интеллектуальные системы» им. В.А. Байкова ФГБОУ ВО Вятского государственного университета ранее был разработан программный прототип системы на основе искусственных нейронных сетей, предназначенной для прогнозирования спортивных результатов [4]. Для проверки корректности и качества работы системы, её модули были протестированы на различных типах и видах спортивных прогнозов [5].

Как известно, задача классификации — это задача, в которой имеется множество объектов (ситуаций), разделённых некоторым образом на классы. Требуется построить алгоритм, способный классифицировать произвольный объект из исходного множества. Классифицировать объект — значит, указать номер (или наименование) класса, к которому относится данный объект. Задача классификации в спортивном прогнозировании определяется как задача определения исхода спортивного события, то есть отнесения его к определённому классу (например, класс 1 — победа, класс 2 — поражение, класс 3 — ничья). Вместе с тем, необходимо решать и задачи регрессионного анализа — определение потенциального численного результата спортсмена (время забега или заплыва в секундах, максимальный вес поднятой штанги в килограммах, результат прыжка в сантиметрах и т.п.).

В экспериментах с использованием представленной ранее программной системе [4] были использованы различные модели нейронных сетей. Анализ результатов показал, что наиболее успешно с задачами прогнозирования численных спортивных результатов справляются модули на основе обобщенно-регрессионной нейронной сети (GRNN) [6] и нейронной сети с радиально-базисными функциями (RBF) [7]. Структура обобщенно-регрессионной нейронной сети приведена на рисунке 1.

Также неплохую точность показали модули с каскадной нейронной сетью (CNN) [8] и нейронной

сетью прямого распространения (FNN) [9]. А вот на задачах определения «нечисловых» исходов спортивных событий (победа, ничья, поражение и т.п.) лучшие показатели демонстрирует модуль на основе нейронной сети векторного квантования сигналов (LVQ) [3,10].

Основное, что показали многочисленные эксперименты — для различных типов и видов прогнозов могут оказаться эффективными разные модели нейронных сетей. Вторым выводом — главной особенностью задач прогнозирования в спорте является агрегирование задач классификации и регрессионного анализа. В большинстве случаев нужно не только спрогнозировать исход спортивного события, но и аппроксимировать для него некоторые численные значения — время победителя забега, вес штанги, поднятой чемпионом, количество ударов, нанесённых соперниками. Например, для боксёрского поединка вероятным результатом может оказаться победа одного из бойцов по очкам — 116:112.

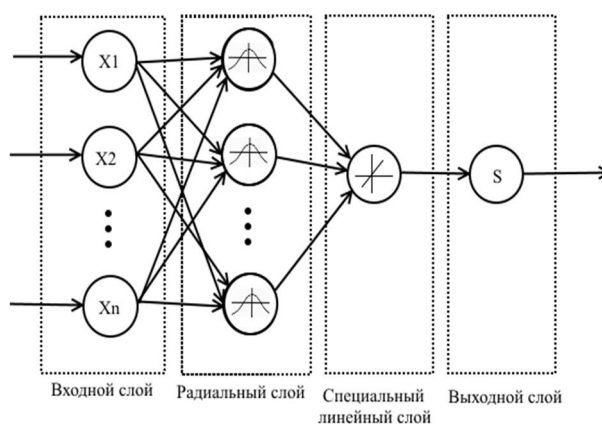


Рис. 1. Структура GRNN сети

В качестве одного из примеров рассмотрим эксперимент по прогнозированию результата боксёрского поединка между россиянином Сергеем Ковалевым и мексиканцем Саулом Альваресом за титул чемпиона мира по версии WBO [11]. Перед этим спортивным событием фаворитом у букмекеров был Сауль Альварес (коэффициент 1.22 против 4.30 у Сергея Ковалева), ничья считалась практически невозможной (коэффициент 27.00).

Для обучения нейронных сетей и осуществления прогноза была разработана обучающая выборка, состоящая из специального набора векторов. Каждый вектор содержал исходные данные, взятые из открытых источников сети Интернет [12]. В качестве основных анализируемых характеристик были выбраны как классические статистические параметры (количество боёв, проведённых спортсменом; количество побед; количество побед нокаутом; рос; вес и т.д.), так и специфические данные — стиль ведения боя, основная стойка спортсмена, размах рук

и т.д. Результатом обучения и прогнозирования является также вектор, содержащий набор элементов, соответствующих одному из возможных исходов данного спортивного события, т.е. одному из классов: (1 – победа первого боксера, 2 – победа второго боксера, 3 – ничья).

В качестве инструмента для проектирования многомодульной системы прогнозирования используется среда MATLAB. С помощью пакета Neural Networks Toolbox реализованы оба программных модуля – и на основе GRNN-сети и на основе LVQ-сети. Модели обучены с использованием специальной обучающей выборки, описанной выше.

В таблице 1 приведены выборочные результаты прогнозирования исхода боя, полученные в ходе тестирования LVQ-сети (алгоритм обучения LVQ2.1). Результирующий вектор интерпретируется следующим образом: вектор (1,0,0) означает победу Сергея Ковалева, (0,1,0) – Сауля Альвареса, (0,0,1) – ничья.

Табл. 1. Результат работы нейронной сети векторного квантования (алгоритм обучения LVQ2.1)

Количество нейронов	Количество эпох обучения	Результат прогноза
1	300	(0,0,1)
10	300	(0,1,0)
20	300	(0,1,0)
100	300	(1,0,0)
190	300	(0,1,0)
200	300	(1,0,0)
380	300	(1,0,0)
420	300	(1,0,0)
480	300	(1,0,0)
550	300	(1,0,0)
940	300	(1,0,0)
2200	300	(1,0,0)
3100	300	(1,0,0)

Бой, состоявшийся 3 ноября 2019 года закончился победой мексиканского боксера Сауля Альвареса [11]. То есть, при анализе всех известных исходных параметров перед боем, нейронная сеть векторного квантования более чем в 75% случаев дала неверный прогноз, относительно этого спортивного события.

Данные о тестировании модуля на основе обобщенно-регрессионной нейронной сети приведены в таблице 2. Результат прогноза интерпретируется следующим образом: значение «1» означает победу Сергея Ковалева, «2» – Сауля Альвареса, «3» – ничья.

Табл. 2. Результат работы обобщенно-регрессионной нейросети

Целевая ошибка	Результат прогноза
0.00001	2
0.0001	2
0.001	2
0.01	2
0.1	2
1.0	2
1.1	2
10	2
100	2
1000	1
10000	1
100000	1

В более чем 90% экспериментов обобщенно-регрессионная нейронная сеть верно определила победителя этого боя.

Таким образом, эксперименты на прототипе программной системы показали, что наиболее эффективным из исследованных модулей для решения подобных комплексных задач будет модуль на основе обобщенно-регрессионной нейросети. Именно данный вариант показал наиболее качественные прогнозы комплексного результата. Однако, анализ тестирования на большом наборе разнотипных задач позволил выявить четыре серьезных проблемы.

Во-первых, даже GRNN-сеть не дает достаточно точного результата при решении таких нетривиальных задач, как прогнозирование результатов различных единоборств и многочисленных метрик командных соревнований в игровых видах спорта. В ходе проведенных экспериментов на ряде прогнозов программный модуль на основе GRNN-сети показал всего лишь 66% верных ответов. Ближайший к этому показатель продемонстрировал программный модуль на основе LVQ-сети – 61% «угаданных» результатов.

Во-вторых, использование высокой целевой ошибки невыгодно при обучении сетей данного типа, так как при таком повышении базового параметра, увеличивается и минимальная среднеквадратичная ошибка обучения.

В-третьих, структура обобщенно-регрессионной нейронной сети имеет некоторые особенности, и при обучении формируется столько нейронов радиального слоя, сколько векторов имеет обучающая выборка [13]. Следовательно, при большом количестве векторов, нейронная сеть будет иметь крайне сложную структуру, которая, в свою очередь, будет занимать значительный объем памяти (значительный объем кристалла, при реализации на ПЛИС) [14].

И, в-четвертых, необходимо отметить, что масштабная выборка может содержать в себе крупные наборы различных типов исходных параметров,

влияющий на прогнозируемый результат, и определить наиболее важные и ключевые параметры либо невозможно, либо крайне сложно. Для этого потребуется привлечь квалифицированных специалистов в анализируемой профильной спортивной дисциплине.

Одним из возможных вариантов решения указанных проблем является применение метода «каскадирования» (по аналогии с каскадной моделью ИНС [16], а также покаскадной фильтрации данных с использованием сетей Кохонена [17]) модулей в системе прогнозирования, формируя таким образом специализированный конвейер. На рисунке 2 показана обобщённая структура системы с использованием GRNN-сетей на первом ярусе и LVQ-сети на втором ярусе. Все сети обучаются отдельно, до включения их в работающий каскад, каждая на основе своей специализированной обучающей выборки. Исходные данные (сформированные вектора анализируемых параметров спортивного события) подаются входы 1 и 2 GRNN-сетей. Результаты обработки этой информации, так же в виде векторов, служат наборами данных для модулей второго яруса. В рассматриваемом случае – для модуля LVQ-сети.

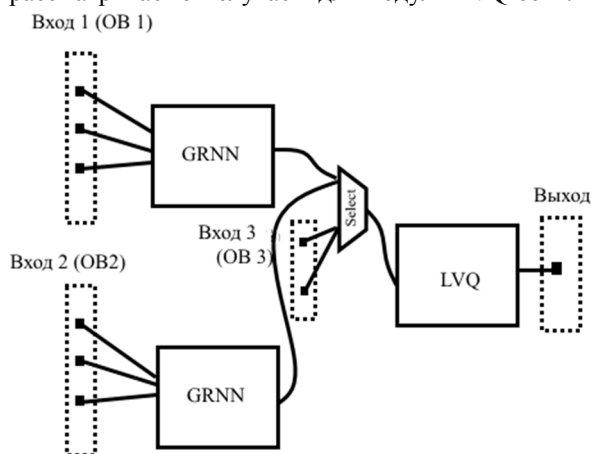


Рис. 2. Каскадирование нейронных сетей

Результатом работы последнего модуля и будет выходной вектор с ответом о вероятности исхода заявленного спортивного события. Важным моментом при таком подходе является тот факт, что в качестве обучающих выборок для всех модулей системы (кроме модулей первого яруса) могут служить результаты предобработки, полученные на предшествующих ступенях. Замечено, что в этом случае на промежуточных этапах можно определять наиболее «важные» параметры предстоящего спортивного события и включать в обучающую выборку для следующего яруса только их. Таким способом можно не только минимизировать наборы анализируемых параметров, но и сокращать время обучения нейросетевых моделей.

Рассмотренная структура была реализована в среде MATLAB и на ней проведены эксперименты по прогнозированию описанного ранее спортивного события – боя между Ковалёвым и Альваресом за титул чемпиона мира по версии WBO. Результаты тестирования фрагментарно представлены в таблице 3.

Табл. 3. Результат прогноза, с использованием «каскада» нейронных сетей

Количество нейронов	Количество эпох обучения	Результат прогноза
100	300	(0,1,0)
130	300	(0,1,0)
150	300	(0,1,0)
380	300	(0,1,0)
420	300	(0,1,0)
480	300	(0,1,0)
550	300	(1,0,0)

Из таблицы видно, что при использовании каскада нейронных сетей, точность прогнозирования возрастает, практически приближаясь к 100%. Однако, при этом происходит значительная потеря во времени, так как обучение модулей (сетевых моделей) по отдельности, на данный момент, производится последовательно.

Поскольку вся информация для формирования обучающих выборок взяты из открытых источников, выборки получились достаточно общие, можно сказать, укрупненные. При указанной структуре системы (всего два яруса) и предложенном варианте каскадирования данный подход выглядит наиболее логичным. С ростом сложности системы и применении более широкого круга используемых моделей нейронных сетей отдельные части таких обобщённых выборок могут стать самостоятельными обучающими выборками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, нейронные сети можно успешно использовать для прогнозирования исхода событий, не только в командных, но и в индивидуальных видах спорта. При использовании только обобщенно-регрессионной сети, более точные прогнозы были получены при целевой ошибке более 100. Обучая только LVQ-сеть, в большинстве случаев, прогноз получен неверный. При увеличении сложности сети (количество нейронов и т.д.) возрастает время её обучения.

Каскадирование отдельных модулей в системе чаще всего приводит к увеличению точностей прогнозов. Однако формирование конвейера из различных моделей необходимо производить с учётом вида и типа прогнозирования, особенностей формирования обучающих выборок для всех моделей [15], определения и выделения в специальные выборки наиболее важных (предикторных)

параметров, влияющих больше других на ход и итоги прогнозирования. Также следует помнить, что при использовании каскада нейронных сетей, может значительно возрасти время обучения моделей, если этот процесс производится последовательно для каждой ступени конвейера.

На данный момент продолжают эксперименты в спортивных дисциплинах, эксперименты, учитывающие разные модели нейронных сетей, разные способы прогнозирования, различные по объему обучающие выборки и алгоритмы обучения. Очевидно, что усложнение каждого модуля и структуры системы в целом, с целью повышения точности прогноза, приводит не только к увеличению времени обучения, но и к снижению быстродействия программной системы. Использование каскада нейронных сетей практически гарантировано повысит время прогнозирования, и соответственно, получить результат за доли секунды будет невозможно. Если речь идет об использовании системы тренерским штабом, то данный недостаток программной реализации не является существенным. Но если речь идет о представителях букмекерских контор, то доля секунды может решить вопрос изменения вероятностного коэффициента исхода.

Прототип системы с возможностью каскадирования модулей на данный момент реализован в среде MATLAB, занимает 3,7 Мб на жестком диске, и продолжает тестироваться в более сложных режимах работы, то есть с введением большого числа разнотипных исходных данных (числовых, символьных, интервальных и т.д.). Использование программной системы тренерским штабом или личными тренерами спортсменов поможет поднять эффективность тренировочной подготовки, оценить уровень показателей контрольных тестов для достижения необходимого соревновательного результата.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ясницкий Л.Н., Павлов И.В., Черепанов Ф.М. Прогнозирование результатов Олимпийских игр 2014 года в неофициальном командном зачете методами искусственного интеллекта // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=11206> (дата обращения: 25.01.2020).

2. 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 25.01.2020).

3. Крутиков А.К. Особенности обучения нейронной сети векторного квантования при разработке специализированного программного модуля - Южно-Сибирский научный вестник. – 2019. – № 2. – с. 150-154.

4. Крутиков А.К. Совершенствование подходов к разработке программных систем прогнозирования в спорте - Материалы 57-й Междунар. науч. студ. конф. 14–19 апреля 2019 г. / Новосибир. гос. ун-т. — Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. — 141 с.

5. Крутиков А.К. Прогнозирование результатов Всемирной зимней Универсиады 2019 с использованием искусственных нейронных сетей // Научное обозрение. Технические науки. – 2019. – № 2. – с. 29-33.

6. Крутиков А.К., Подковырин В.Д., Шалаев Д.А. Прогнозирование исхода боксерского поединка с помощью GRNN-сети – Олимп: Современные научные исследования и разработки №10(27) с.475-478.

7. Крутиков А.К., Клюкин В.Л., Подковырин В.Д., Нейронная сеть радиально-базисных функций в системе прогнозирования спортивных результатов - ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ. (НИК-2018) Сборник статей XVIII Всероссийская научно-практическая конференция - ВятГУ. 2018, с. 438-444.

8. Мельцов В.Ю., Подковырин В.Д., Клюкин В.Л., Крутиков А.К., Использование каскадной нейронной сети прямой передачи для прогнозирования спортивных достижений в толкании ядра – Казань: Научно-технический вестник Поволжья №4, 2018. с.136-139.

9. Крутиков А.К. Использование нейронной сети прямого распространения для прогнозирования спортивных результатов в индивидуальных видах спорта // Научное сообщество студентов: Междисциплинарные исследования: сб. ст. по мат. XLVI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 11(46).

10. Крутиков А.К., Мельцов В.Ю., Подковырин В.Д. Разработка и модификация модульной структуры системы прогнозирования спортивных результатов // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 11. – С. 72-76.

11. Сергей Ковалев – Сауль Альварес URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сергей_Ковалев_-_Сауль_Альварес (дата обращения 25.01.2020).

12. Статистика. BoxRec URL: <https://boxrec.com/> (дата обращения 11.10.2020).

13. Галушкин, А.И. Нейронные сети: основы теории. / А.И. Галушкин. - М.: РиС, 2014. - 496 с.

14. Krutikov A.K., Meltsov V.Y., Lapitsky A.A., Rostovtsev V.S. FPGA-implementation of a prediction module based on a generalized regression neural network - Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020. 2020. pp. 147-150.

15. Krutikov A.K., Meltsov V.Y., Podkovyirin V.D. Neural Network of Vector Quantization as a Tool for Predicting Sports Achievements in Individual and Team Sports - Proceedings of the First International Volga Region Conference on Economics, Humanities and Sports, FICEHS 2019. Atlantis Press, Advances in Economics, Business and Management Research, volume 114, 2020. pp. 789-792.

16. Аведьян Э.Д., Баркан Г.В., Левин И.К., Каскадные нейронные сети // Автомат. и телемеханика – 1999 - №3 – с. 38–54.

17. Гильфанов А.Ф. Нейросетевая каскадная фильтрация многомерных данных // Наука без границ – 2017 - №6(11) - с.74-78.

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

MODIFICATION OF THE MODULE BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR PREDICTING RESULTS IN HIGH-LEVEL SPORTS

A.K. Krutikov

Vyatka State University, Kirov

The development of information technologies and applied artificial intelligence makes it possible to improve the quality of human work in various spheres of life. The sphere of physical culture and sports is no exception. Modern computer systems and various machine learning methods are widely used for solving problems of statistical information processing, analysis, and planning of both training and competitive activities.

The article analyzes the possibility of using various models of artificial neural networks for predicting sports events. The structure of a modular forecasting system is described, where each module is implemented on one of the known models. The main focus is on two models - based on a generalized regression neural network (GRNN) and based on a vector quantization neural network (LVQ). The features of the formation of training choices and principles of work are indicated. As an example, we consider the process of predicting the outcome of a Boxing match for the world champion title between Russian boxer Sergey Kovalev and Mexican boxer Saul Alvarez. The results of the experiments are presented in tabular form. The analysis of these results allows us to see the disadvantages of any of the models in predicting events in which, in addition to a monosyllabic answer (victory, defeat, draw), it is necessary to obtain a number of numerical values.

To solve these problems, it is proposed to use cascading (pipelining) of system modules, each of which implements a particular neural network model. A generalized structure of a two-level cascade system is presented. The use of this modification can be considered successful, since even with a small expenditure on resources, this configuration showed the best forecasting results, predicting the victory of Alvarez with almost 100% "confidence". However, the article notes that if the models used in cascading are trained sequentially, this will lead to a significant increase in the time required to prepare the system for operation.

The prototype of the system was implemented on the basis of the MATLAB package at the V. A. Baykov Intelligent systems research laboratory of the Vyatka state University. The system continues to be tested in more complex operating modes, with the introduction of a large number of different types of source data and at different time intervals of forecasting. The use of the software system by the coaching staff or personal trainers of athletes will help to increase the effectiveness of training, evaluate the level of indicators of control tests to achieve the necessary competitive result.

Index terms: sports forecasting, artificial neural network, training sample, vector quantization, cascading, GRNN network, LVQ network, software system.

REFERENCES

1. Yasnitsky L. N., Pavlov I. V., Cherepanov F. M. Forecasting the results of the 2014 Olympic games in the unofficial team competition using artificial intelligence methods. Modern problems of science and education. - 2013. - No. 6.; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=11206> (date accessed: 25.01.2020).
2. 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. - No. 4. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14423> (accessed 25.01.2020).
3. Krutikov A. K. Features of training a neural network of vector quantization in the development of a specialized program module-South Siberian scientific Bulletin. – 2019. - No. 2. - pp. 150-154.
4. Krutikov A. K. Improving approaches to the development of software forecasting systems in sports-Materials of the 57th international competition. science.stud. Conf. April 14-19, 2019 / Novosibirsk. state University-Novosibirsk: NSU, 2019. - 141 p.
5. Krutikov A. K. Predicting the results of the world winter Universiade 2019 using artificial neural networks // Scientific review. Technical science. – 2019. - No. 2. - Pp. 29-33.
6. Krutikov A. K., Podkovyrin V. D., Shalaev D. A. Predicting the outcome of a Boxing match using the GRNN network-Olympus: Modern research and development #10 (27) pp. 475-478.
7. Krutikov A. K., Klyukin V. L., Podkovyrin V. D., neural network of radial-basis functions in the sports performance forecasting system-SOCIETY. THE SCIENCE. INNOVATIONS. (NPK-2018) Collection of articles XVIII all-Russian scientific and practical conference-Vyatsu. 2018, pp. 438-444.
8. Meltsov V. Yu., Podkovyrin V. D., Klyukin V. L., Krutikov A. K., using a cascade neural network of direct transmission for predicting sports achievements in the shot put – Kazan: Scientific and technical Bulletin of the Volga region No. 4, 2018. pp. 136-139.
9. Krutikov A. K. Using a neural network of direct distribution for predicting sports results in individual sports // Scientific community of students: Interdisciplinary research: sat. St. on Mat. XLVI between-Nar. stud. science.-prakt. Conf. No. 11(46).
10. Krutikov A. K., Meltsov V. Yu., Podkovyrin V. D. Development and modification of the modular structure of the sports results forecasting system // Modern science-intensive technologies. – 2019. - No. 11. - Pp. 72-76.
11. Sergey Kovalev-Saul Alvarez URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сергей_Ковалев_-_Сауль_Альварес (accessed 25.01.2020).
12. Statistics. BoxRec URL: <https://boxrec.com/> (accessed 11.10.2020).
13. Galushkin, A. I. Neural networks: fundamentals of the theory. / A. I. Galushkin. - Moscow: RIS, 2014. - 496 c.
14. Krutikov A.K., Meltsov V.Y., Lapitsky A.A., Rostovtsev V.S. FPGA-implementation of a prediction module based on a generalized regression neural network - Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020. 2020. C. 147-150.

15. Krutikov A.K., Meltsov V.Y., Podkovyrin V.D. Neural Network of Vector Quantization as a Tool for Predicting Sports Achievements in Individual and Team Sports - Proceedings of the First International Volga Region Conference on Economics, Humanities and Sports, FICEHS 2019. Atlantis Press, Advances in Economics, Business and Management Research, volume 114, 2020. pp. 789-792.
16. Avedyan E. D., Barkan G. V., Levin I. K., Cascade neural networks // Automatic. and telemekhanics-1999-No. 3-pp. 38-54
17. Gilfanov A. F. Neural network cascade filtering of multi-dimensional data // Science without borders-2017-No. 6(11)- pp. 74-78.

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