

## О ПРОБЛЕМАХ СИНТЕЗА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ\*

Д.О. РОМАННИКОВ<sup>1</sup>, Д.М. ИБРАЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации. E-mail: dmitry.romannikov@gmail.com

<sup>2</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, магистрант кафедры систем сбора и обработки данных. E-mail: ibraeva-dishik@yandex.ru

В статье приводятся рассуждения о тех проблемах, которые возникают у исследователей при разработке систем с использованием нейронных сетей. Наибольшее внимание уделено проблемам преобразования известных алгоритмов из классического описания в нейронные сети. К таким проблемам можно отнести следующие: 1) необходимость разработки инструмента для выполнения таких математических операций, как сложение/вычитание, умножение/деление и другие, а также на необходимости разработки инструмента для выполнения манипуляции над данными, к которым можно отнести такие, как перемещение, копирование и другие; 2) необходимость разработки конструкций для управления при вычислении (т. е. отсутствие операторов *if*, *for*, *while* и других); 3) отсутствие привычных структур данных, таких как массив, стек, очередь и другие. Такие проблемы могут быть продемонстрированы на примере поиска наименьшего пути в графе. Необходимо релаксировать ребра графа, для этого используются операции сравнения и сложения. Однако для выполнения данных операций в нейронных сетях их нужно предварительно реализовать. Стоит отметить, что решение задач такого вида не характерно для нейронных сетей, но может являться частью задачи реализации создания инструмента для преобразования классических алгоритмов в нейронную сеть с целью как их совместного использования, так и объяснения работы нейронной сети. Также предложен подход к решению задачи реализации нейронной системы с помощью разделения общей задачи на множество более мелких решений, которые существенно проще. Приведен пример такого разбиения исходной задачи.

**Ключевые слова:** нейронные сети, сети Петри, искусственный интеллект, преобразование, функция активации, keras, регуляризация, обучение

---

\* Статья получена 30 января 2018 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Решение множества задач при помощи нейронных сетей достаточно сильно повысило популярность этого инструмента в последнее время [1–8]. К таким задачам можно отнести в первую очередь распознавание образов [1–6] и речи [1–4], а также использование техники *reinforcement learning*, позволяющей автоматически обучать нейронную сеть. Также одной из причин их распространения является то, что с их помощью можно решать задачи, алгоритмическое решение которых на данный момент времени не известно или решения с использованием нейронных сетей дают более лучшие результаты. Другой существенной причиной является то, что нейронные сети по своей сути используют распределенную обработку входной информации, что выгодно их отличает от классических подходов к разработке и от обработки информации. И третья причина – это потенциальная возможность перехода между классическим алгоритмическим представлением решения задачи к нейронному и обратно. Решение последней задачи может привести к тому, что появится возможность получать объяснение поведения нейронной сети, а также переводить известные алгоритмы к нейронному виду.

Далее в статье рассматриваются некоторые проблемы синтеза нейронных систем, с которыми сталкиваются исследователи и пути их решения.

## ПРОБЛЕМЫ СИНТЕЗА

Задачу синтеза нейронной сети будем рассматривать на примере создания системы управления для игры «Змейка» (игра, в которой «змейка» передвигается по ограниченной площадке с целью сбора требуемых артефактов (далее целей) и уклонения от нежелательных объектов, а также границ площадки (далее препятствий)). На сегодняшний день распространенным методом решения данной задачи является использование техники *reinforcement learning* [1, 8] (техника, основанная на обучении нейронной сети на основе автоматического подбора данных для обучения). С другой стороны, данную задачу легко решить при помощи классических алгоритмов, тогда становится потенциально возможным решение, в котором классический алгоритм будет реализован при помощи нейронной сети. В статье будет рассмотрен именно этот подход к синтезу нейронной сети.

Решение задачи перемещения змейки к цели может быть легко выполнено при помощи представления площадки как графа и поиска кратчайшего пути при помощи алгоритма Дейкстры, или поиска в ширину (из-за того, что в данном случае все веса в графе одинаковы).

Реализация функции *XOR* [1–4] является классической задачей машинного обучения. Кроме того, другие логические функции, такие как *AND* и *OR*, также могут быть реализованы [5–19]. Реализация более сложных алгоритмов при помощи нейронных сетей может быть проблематичной по следующим причинам:

1) необходимость разработки инструмента для выполнения таких математических операций, как сложение/вычитание, умножение/деление и другие, а также необходимость разработки инструмента для выполнения манипуляции над данными, к которым можно отнести такие, как перемещение, копирование и другие;

2) необходимость разработки конструкций для управления при вычислении (другими словами – отсутствие операторов *if*, *for*, *while* и других);

3) отсутствие привычных структур данных, таких как массив, стек, очередь и другие.

Рассмотрим эти недостатки более подробно. Первая и вторая погрешности – принципиальные, так как они являются основой при построении алгоритмов. Они могут быть продемонстрированы на примере того, что для поиска наименьшего пути в графе необходимо релаксировать ребра графа, для чего используются операции сравнения и сложения. Однако для выполнения данных операций в нейронных сетях их нужно предварительно реализовать. Третий недостаток является скорее следствием вышеприведенных. Сама структура нейронных сетей не предполагает, что в ней сигнал может быть отправлен в какую-то часть сети, однако этого можно избежать путем приведения части сигнала к нулевому. Циклы в нейронных сетях отсутствуют и «заменены» связями между нейронами.

В некотором смысле нейронные сети можно сравнивать с сетями Петри (и с программами в обычном своем смысле) по своему строению. В программах для передачи информации между различными участками программы используются различные преобразования над данными (в частности, в сетях Петри используются операторы на переходах между местами); с другой стороны, нейронные сети можно рассматривать как последовательность слоев, в которых каждый слой – оператор преобразования входных данных в выходные, где в последнем слое данные представляются в понятном человеку виде, а в промежуточных слоях данные представлены в каком-то виде, полученном при обучении сети. При этом количество слоев можно трактовать как количество операций по преобразованию входных данных.

С другой стороны, такая трактовка показывает, что одну задачу, которую нейронная сеть не в состоянии обучать (к такой задаче, например, можно отнести задачу поиска цели змейкой и передвижение по периметру площадки), можно разбить на множество мелких подзадач, для каждой из них можно

составить нейронную сеть, обучить ее и далее состыковать с целью получения решения всей исходно поставленной задачи.

В частности, вышеприведенную задачу можно разбить на следующие подзадачи: 1) определение наличия цели на площадке; 2) движение к цели и 3) передвижение по периметру площадки. Каждая из полученных задач может менять общее состояние системы, которое составляется из выходных значений сетей. В целом можно провести аналогию с построением программной системы из микросервисов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье приведен список проблем, которые на данный момент не позволяют выполнять переход от классического представления алгоритмов к их реализации в нейронных сетях. К таким проблемам можно отнести необходимость разработки средств для выполнения вычислений (сложение/вычитание, умножение/деление), классических структур данных; необходимость разработки конструкций для управления при вычислении (*if, for, while* и др.).

Также предложен подход к решению задачи реализации нейронной системы с помощью разделения общей задачи на множество более мелких. Приведен пример такого разбиения исходной задачи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воевода А.А., Романников Д.О. Тезисы о нейронных сетях // Сборник научных трудов НГТУ. – 2017. – № 1 (87). – С. 98–108.
2. Bishop C. Pattern recognition and machine learning. – New York: Springer, 2007. – 738 p. – (Information science and statistics).
3. Richert W., Coelho L. Building machine learning systems with Python. – Birmingham: Packt Publ., 2013. – 290 p.
4. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction. – 2<sup>nd</sup> ed. – New York: Springer, 2013. – 745 p. – (Springer series in statistics).
5. Lantz B. Machine learning with R. – Birmingham: Packt Publ., 2013. – 396 p.
6. Mohri M., Rostamizadeh A., Talwalkar A. Foundations of machine learning. – Cambridge, MA: MIT Press, 2012. – 432 p. – (Adaptive computation and machine learning series).
7. Conway D., White J.M. Machine learning for hackers. – Sebastopol, CA: O'Reilly, 2012. – 324 p.

8. Welcome to the Deep Learning tutorial [Electronic resource]. – URL: <http://deeplearning.stanford.edu/tutorial/> (accessed: 26.06.2018).

9. *Haykin S.* Neural networks: a comprehensive foundation. – New York: MacMillan Publ., 1994. – 1104 p.

10. *Воевода А.А., Романников Д.О.* Нейронные сети в системах с последовательно выполняемыми действиями // Интеллектуальный анализ сигналов, данных и знаний: методы и средства: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Новосибирск, 14–17 октября 2017 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – С. 306–310.

11. *Трошина Г.В., Воевода А.А.* Параметрическая идентификация многоканального объекта на основе итерационного метода наименьших квадратов // 21 Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018): сборник докладов, Санкт-Петербург, 23–25 мая 2018 г.: в 2 т. – СПб.: СПбГЭТУ ЛЭТИ, 2018. – Т. 1. – С. 595–598.

12. *Troshina G.V., Voevoda A.A.* The iterative procedure modeling for the dynamic parameters estimation at the active identification task // Siberian symposium on data science and engineering (2017 SSDSE): proceedings, Akademgorodok, Novosibirsk, 12–13 April 2017. – Novosibirsk: IEEE, 2017. – P. 80–83.

13. *Воевода А.А., Романников Д.О.* Синтез нейронной сети на основе сети Петри для задач движения и стабилизации строя группы беспилотных летательных аппаратов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2018. – № 2. – С. 26–33.

14. *Goodfellow I., Bengio Y., Courville A.* Deep learning. – Cambridge, MA: MIT Press, 2016.

15. *Воевода А.А., Романников Д.О.* Асинхронный алгоритм сортировки массива чисел с использованием ингибиторных сетей Петри // Труды СПИИРАН. – 2016. – Вып. 48. – С. 198–213.

16. *Воевода А.А., Шоба Е.В.* О разрешимости задачи автономизации многоканальной системы // Сборник научных трудов НГТУ. – 2010. – № 2 (60). – С. 9–16.

17. *Воевода А.А., Марков А.В., Романников Д.О.* Разработка программного обеспечения: проектирование с использованием UML диаграмм и сетей Петри на примере АСУ ТП водонапорной станции // Труды СПИИРАН. – 2014. – Вып. 3 (34). – С. 218–231.

18. *Марков А.В., Воевода А.А.* Развитие системы «Перемещение манипулятора в пространстве с препятствиями» при помощи рекурсивных функций // Автоматика и программная инженерия. – 2013. – № 2 (4). – С. 35–41.

19. *Воевода А.А., Шоба Е.В.* Управление перевернутым маятником // Сборник научных трудов НГТУ. – 2012. – № 2 (68). – С. 3–14.

**Романников Дмитрий Олегович**, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматки Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – нейронные сети, сети Петри. Имеет более 50 публикаций. E-mail: dmitry.romannikov@gmail.com

**Ибраева Динара Миннахатовна**, магистрант кафедры систем сбора и обработки данных Новосибирского государственного технического университета. E-mail: ibraeva-dishik@yandex.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2018-2-117-124

### **On the problems of synthesis of neural networks \***

**D.O. Romannikov<sup>1</sup>, D.M. Ibraeva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, candidate of Technical Sciences, associate professor of the automation department. E-mail: dmitry.romannikov@gmail.com*

<sup>2</sup>*Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, undergraduate of the data collection and processing systems department. E-mail: ibraeva-dishik@yandex.ru*

The article gives reasoning about the problems that arise in the analysis and use of technologies using neural networks. The greatest attention is paid to the problem of converting known algorithms from the classical description into neural networks. Such problems can be: 1) the need to develop a tool for performing such mathematical operations as addition/subtraction, multiplication/division and others, and also the development of a tool for manipulating data, such as moving, copying, and others, is required; 2) the need to develop structures for management in the calculation (ie, the absence of if, for, while, and others); 3) lack of familiar data structures, such as array, stack, queue and others. Such problems can be demonstrated using the example of finding the smallest path in a graph, it is necessary to relax the edges of a graph, using comparisons and constraints. However, to perform these operations in neural networks, they must first be implemented. It should be noted that the solution of problems of this kind is not typical for neural networks, but it can be part of the realization part of the implementation of the intro-tool for the transformation of classical algorithms into a neural network for the purpose of their joint use, and the explanation of the neural network operation. Also, the proposed approach to solving the problems of implementing a neural system by means of divided functions into several smaller ones, which can be accessed with the help of neural networks. An example of such a partition of the original problem is given.

**Keywords:** neural networks, Petri nets, artificial intelligence, transformation, activation function, keras, regularization, training

---

\* Received 30 January 2018.

## REFERENCES

1. Voevoda A.A., Romannikov D.O. Tezisy o neironnykh setyakh [Theses about neural networks]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2017, no. 1 (87), pp. 98–108.
2. Bishop C. *Pattern recognition and machine learning. Information science and statistics*. New York, Springer, 2007. 738 p.
3. Richert W., Coelho L. *Building machine learning systems with Python*. Birmingham, Packt Publ., 2013. 290 p.
4. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. *The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction*. 2<sup>nd</sup> ed. *Springer series in statistics*. New York, Springer, 2013. 745 p.
5. Lantz B. *Machine learning with R*. Birmingham, Packt Publ., 2013. 396 p.
6. Mohri M., Rostamizadeh A., Talwalkar A. *Foundations of machine learning. Adaptive computation and machine learning series*. Cambridge, MA, MIT Press, 2012. 432 p.
7. Conway D., White J.M. *Machine learning for hackers*. Sebastopol, CA, O'Reilly, 2012. 324 p.
8. *Welcome to the Deep Learning tutorial*. Available at: <http://deeplearning.stanford.edu/tutorial/> (accessed 26.06.2018).
9. Haykin S. *Neural networks: a comprehensive foundation*. New York, MacMillan Publ., 1994. 1104 p.
10. Voevoda A.A., Romannikov D.O. [Neural networks in systems with sequential actions]. *Intellectual'nyi analiz signalov, dannykh i znanii: metody i sredstva* [Intellectual analysis of signals, data and knowledge: methods and means], Novosibirsk, 14–17 October 2017, pp. 306–310. (In Russian).
11. Troshina G.V., Voevoda A.A. [Parametric identification of a multi-channel object based on the iterative least-squares method]. *21 Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam (SCM-2018)* [21 International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM-2018)], St. Petersburg, 23–25 May 2018, pp. 595–598. (In Russian).
12. Troshina G.V., Voevoda A.A. The iterative procedure modeling for the dynamic parameters estimation at the active identification task. *Siberian symposium on data science and engineering (2017 SSDSE): proceedings*, Akademgorodok, Novosibirsk, 12–13 April 2017, pp. 80–83.
13. Voevoda A.A., Romannikov D.O. Sintez neironnoi seti na osnove seti Petri dlya zadach dvizheniya i stabilizatsii stroya gruppy bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Synthesis of a neural network based on the petri network for the tasks of movement and stabilization of the formation of a group of unmanned aerial vehicles]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan State*

*Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2018, no. 2, pp. 26–33.

14. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep learning*. Cambridge, MA, MIT Press, 2016.

15. Voevoda A.A., Romannikov D.O. Asinkhronnyi algoritm sortirovki massiva chisel s ispol'zovaniem ingibitornykh setei Petri [Asynchronous sorting algorithm for array of numbers with the use of inhibitory Petri nets]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*, 2014, iss. 3 (34), pp. 218–232.

16. Voevoda A.A., Shoba E.V. O razreshimosti zadachi avtonomizatsii mnogokanal'noi sistemy [About diagonally decoupling for multi-input multi-output systems]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2010, no. 2 (60), pp. 9–16.

17. Voevoda A.A., Markov A.V., Romannikov D.O. Razrabotka programmno obespecheniya: proektirovanie s ispol'zovaniem UML diagramm i setei Petri na primere ASU TP vodonapornoi stantsii [Software development: software design using UML diagrams and Petri nets for example automated process control system of pumping station]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS proceedings*, 2014, iss. 3 (34), pp. 218–231.

18. Markov A.V., Voevoda A.A. Razvitiye sistemy "peremeshchenie manipulyatora v prostranstve s prepyatstviyami" pri pomoshchi rekursivnykh funktsii [Development of the system "moving the manipulator in the obstacle space" with the help of recursive functions]. *Avtomatika i programmnaya inzheneriya – Automatics & Software Enginery*, 2013, no. 2 (4), pp. 35–41.

19. Voevoda A.A., Shoba E.V. Upravlenie perevernutym mayatnikom [Management of the inverted pendulum]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2012, no. 2 (68), pp. 3–14.

Для цитирования:

Романников Д.О., Ибраева Д.М. Рассуждения о проблемах синтеза нейронных сетей // Сборник научных трудов НГТУ. – 2018. – № 2 (92). – С. 117–124. – doi: 10.17212/2307-6879-2018-2-117-124.

For citation:

Romannikov D.O., Ibraeva D.M. Rassuzhdeniya o problemakh sinteza neironnykh setei [Discussions on the problems of synthesis of neural networks]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2018, no. 2 (92), pp. 117–124. doi: 10.17212/2307-6879-2018-2-117-124.