



**Т. А. Назирова, А. Б. Костенко**

*Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, г. Харьков, Украина*

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ NEURAL NETWORK ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПАЦИЕНТОПОТОКОМ В МЕДИЦИНСКОМ УЧРЕЖДЕНИИ

В настоящее время на основе технологии Neural Network разработано множество программных комплексов для прогнозирования различных явлений, статистической обработки данных, методов классификации данных, распознавания образов, оптимизации некоторых процессов и многие другие. Способность к самообучению и извлечение знания из данных является одним из наиболее полезных и впечатляющих свойств искусственных нейронных сетей, унаследованных ими от мозга, как от своего прототипа. Мировая практика использования искусственного интеллекта свидетельствует о возможностях извлекать новые, неизвестные ранее закономерности, которые не сразу находят объяснение, а иногда и не укладываются в рамки официальной науки. Во многих параметрах технологии нейронных сетей превосходят имеющиеся традиционные алгоритмы, поэтому по праву считаются актуальными для активного применения в настоящее время. Нейронные сети – мощный метод моделирования, позволяющий воспроизводить сложные нелинейные зависимости, что актуально для систем принятия решений при управлении пациентопотоком в медицинских учреждениях. В данном исследовании рассмотрены: сущность нейронных сетей, их особенности способности к обучению (настройки архитектуры и синаптических связей). Также выявлены и перспективы развития применения и использования искусственных нейронных сетей для применения распределения пациентов для проведения профилактического медицинского осмотра.

**Ключевые слова:** neural network; медицинская информационная система; медицинская реформа Украины; электронная карта пациента; обработка данных; профилактические медосмотры.

**Введение.** Одной из проблем, возникающих при организации медосмотров в поликлиниках, обслуживающих пациентов, является балансировка нагрузки, т.е. проблема динамического распределения ресурсов поликлиники (трудозатраты медицинского персонала) по проведению медосмотров пациентов, таким образом, чтобы весь медицинский персонал поликлиники был эффективно загружен, а время ожидания пациентами приема врача было минимизировано. Недостатки в организации медосмотров в поликлиниках могут быть решены с использованием методов, применяемых в системах управления ресурсами (СУР), типичная схема которых приведена на рис. 1. Она включает в себя следующие функции:

- распределение медосмотров по функциональным направлениям;
- создание и функционирование множества очередей;
- планирование приемов.

В свою очередь, планирование вычислений определяется с помощью следующих методов:

- перечислительные, переборные методы;
- теоретико-графовые методы;
- методы математического программирования, или динамического программирования;
- методы теории очередей.

Однако применение перечисленных методов при динамическом планировании вычислительного процесса ограничивается их высокой вычислительной сложностью.

**Материалы и методы исследования.** С целью создания максимального комфорта для пациентов и эффективного использования ресурсов поликлиники (трудозатраты медицинского персонала) возникает актуальная задача – создать такие методы распределения потока обследований пациентов, с помощью которых можно было бы оптимизировать это распределение и обеспечить надежность функционирования в условиях дефицита ресурсов поликлиники (выделение времени обследования медицинским персоналом для пациентов).

Конкретный алгоритм, реализуемый планировщиком (рис. 1), в распределенных системах выполняет функцию управления ресурсами. Когда речь идет о планировании графика осмотров, т.е. об определении порядка выполнения обследований, то нужно иметь в виду, что эта задача предполагает и назначение – распределение доступных ресурсов между пациентами.

Сам график осмотров медицинским персоналом можно представить в виде матрицы, где строками будут являться профессии медицинского персонала, а столбцами – номер приема в конкретный день работы поликлиники.

### Інформація про авторів:

**Назірова Тетяна Олександрівна**, здобувач, старший інженер комп'ютерних систем ООО Метінвест Бізнес Сервіс Україна, м. Кривий Ріг. Email: freestar@ukr.net

**Костенко Олександр Борисович**, канд. фіз.-мат. наук, доцент. Email: ks42@ukr.net

**Цитування за ДСТУ:** Назірова Т. О., Костенко О. Б. Применение технологии Neural Network для управления пациентопотоком в медицинском учреждении. Науковий вісник НЛТУ України. 2018, т. 28, № 6. С. 136–139.

**Citation APA:** Nazirova, T. A., & Kostenko, A. B. (2018). Application of neural network technology for management of patient flow in a medical organization. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(6), 136–139. <https://doi.org/10.15421/40280627>

линики. Учитывая достаточность планирования глубиной в год и необходимость отражения занятости номера приема, предлагается следующая кодировка:

- первые три цифры отражают номер дня в году;
- вторые две цифры отражают номер приема в конкретный день года. Учитывая, что согласно стандартов МОЗ, на первичный прием пациента отводится 15 мин и рабочая неделя медицинского персонала составляет 36 часов в неделю или 6 часов в день, получаем  $6 \times 4 = 24$  приема пациентов врачом в один день.
- последняя цифра указывает на признак занят или свободен конкретный номер приема, состоит из одной цифры, которая принимает значения "0", если свободен и "1", если занят.

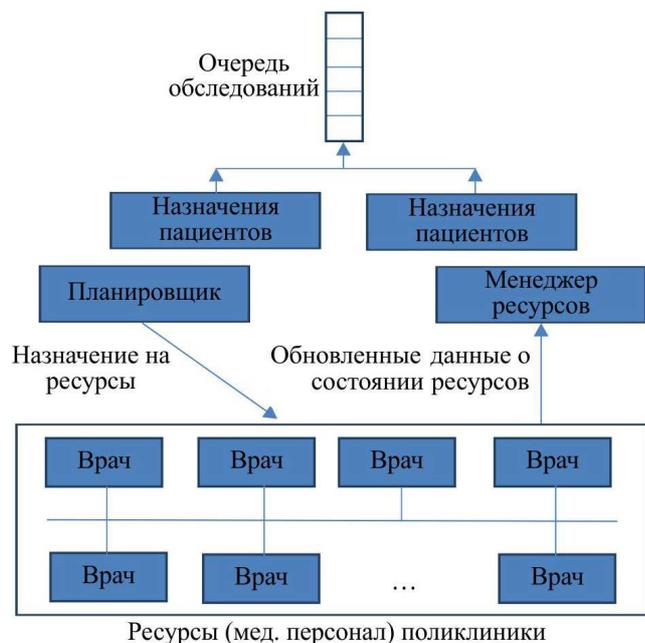


Рис. 1. Типичная структура системы управления ресурсами

В зависимости от причин, побудивших пациента пройти медицинское обследование, различаются временные интервалы, в которых пациенту удобно пройти медицинское обследование. Они делятся на:

- Пациенту удобно прийти один раз в поликлинику и пройти подряд все необходимые обследования. В этом случае день, когда свободны все врачи, производящие обследование, может быть отдален в связи с загруженностью медицинского персонала другими пациентами.
- Пациенту необходимо как можно скорее пройти все мед. обследования и получить результаты. В этом случае, в зависимости от загрузки медицинского персонала, пациенту, возможно, придется несколько раз ходить в поликлинику и ожидать номер своего приема.
- Пациенту предлагаются оптимальные номера приемов врачей, рассчитанные на основании таких показателей, как количество посещений поликлиники, время ожидания в очереди между приемами врачей, дата окончания медосмотра. Все три параметра рассчитываются выбором минимальных из возможных свободных значений графика осмотров.

Для нахождения первого условия достаточно произвести поиск по столбцам таблицы матрицы на наличие свободных приемов врачей в один день и вывести ближайшую дату такого совпадения.

Для нахождения второго условия достаточно произвести поиск по строкам матрицы ближайших свободных приемов необходимых врачей, и вывести даты и номера приемов.

Третье условие требует выполнения вычислений, направленных на поиск оптимальных приемов врачей, при которых все три параметра (количество посещений поликлиники, время ожидания в очереди и дата окончания медосмотра) имеют минимальные значения из возможных. Данная задача относится к классу задач комбинаторной оптимизации и может быть решена различными алгоритмами.

Задачи комбинаторной оптимизации можно рассматривать как поиск лучшего элемента в некотором дискретном множестве, поэтому, в принципе, могут быть использованы любые алгоритмы поиска или метаэвристические алгоритмы. Однако общие алгоритмы поиска не гарантируют ни оптимального решения, ни быстрого решения (за полиномиальное время).

Решение можно найти, только если использовать методы, позволяющие распараллеливать алгоритм поиска оптимума. В этом плане уникальную нишу занимают нейронные сети, в которые алгоритм поиска экстремума некоторой функции встроены изначально. Области существования эффективного практического использования нейронных сетей достаточно известны и очень широки – от экономических задач до обеспечения безопасности сложных техногенных систем.

Во множестве искусственных нейронных сетей, используемых в практических приложениях, особое место занимает сеть Хопфилда. Уникальность этой сети заключается в том, что ее функционирование по сути не что иное как именно процесс решение (своей внутренней) экстремальной задачи по минимизации функции энергии сети. Таким образом при использовании сети Хопфилда вместо разработки алгоритма решения экстремальной задачи требуется лишь соотнести параметры решаемой задачи с аргументами функции. Именно поэтому сеть Хопфилда, которую называют сетью, минимизирующей свою энергию, способна эффективно решать сложные экстремальные комбинаторные задачи.

Задача нахождения оптимального графика индивидуального прохождения пациентом медосмотра очень похожа на решение классической задачи коммивояжера или задачу по построению графа с минимальными расстояниями между вершинами. В обоих задачах на входе и выходе нейронной сети имеем матрицу, которая в столбцах содержит наименование объекта (в нашем случае название специалиста медицинской службы), а в строках номера вершин (приемов врачами пациентов).

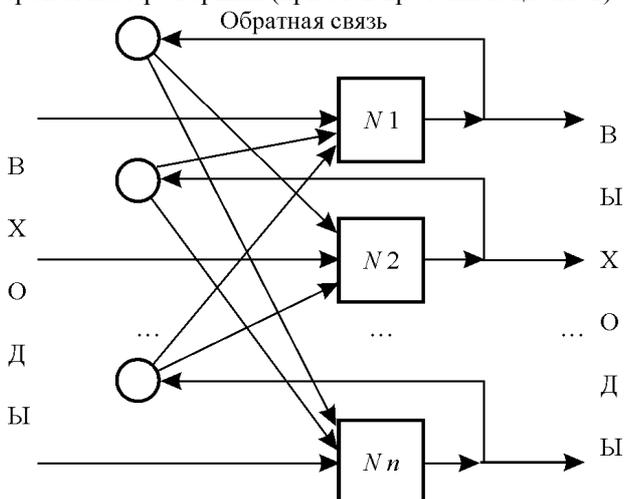


Рис. 2. Нейронная сеть Хопфилда

Нейронная сеть Хопфилда, схематично изображенная на рис. 2, состоит из одного слоя нейронов  $\{N_i\}$ , где  $i = 1, \dots, n$ , где  $n$  – число нейронов. Сеть имеет одинаковое число входов и выходов, равное количеству нейронов. Каждый из нейронов связан через синапсы с другими нейронами, однако не связан с самим собой. Синапсы реализуют эффект обратной связи.

Основной задачей при использовании нейросети Хопфилда является достижение ее устойчивого состояния. Устойчивым называется состояние, при котором оно не будет изменяться при дальнейших итерациях. Такое состояние характеризуется минимальным значением функции "энергии сети"  $E$ :

$$E = -\frac{1}{2} \sum_i \sum_j w_{ij} OUT_i OUT_j - \sum_j w_{0j} OUT_j + \sum_j T_j OUT_j, \quad (1)$$

где:  $w_{ij}$  – весовой коэффициент от выхода нейрона  $i$  к входу нейрона  $j$ ;  $OUT_j$  – выход нейрона  $j$ ;  $w_{0j}$  – весовой коэффициент смещения нейрона  $j$ ;  $T_j$  – пороговая функция нейрона  $j$  (Shenas et al., 2014).

Для нахождения оптимального пути в графе функции энергии сети должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Быть минимальной только для решений, имеющих по одной единице одновременно в каждой строке и в каждом столбце и имеющих общее количество единиц, равное числу городов.
2. Должна отдавать предпочтение решениям с меньшей длиной пути.

Первое требование удовлетворяется введением осевой функции энергии сети, состоящей из суперпозиции трех сумм

$$E_{1,2,3} = \frac{A}{2} \sum_x \sum_i \sum_{i \neq j} OUT_{Xi} OUT_{Xj} + \frac{B}{2} \sum_i \sum_x \sum_{Y \neq X} OUT_{Xi} OUT_{Yj} + \frac{C}{2} \left[ \sum_x \sum_i OUT_{Xi} - V \right]^2, \quad (2)$$

где:  $A, B, C$  – некоторые эмпирические константы;  $V$  – количество городов.

Первая сумма в выражении (2) минимальна, если каждая строка содержит не более одной единицы. Вторая сумма – если имеется не более одной единицы в каждом столбце; третья – если в результирующей матрице имеется ровно  $V$  единиц.

Второе требование выполняется с помощью добавления следующей суммы к функции энергии:

$$E_4 = \frac{D}{2} \sum_x \sum_{Y \neq X} \sum_i U_{XY} OUT_{Xi} (OUT_{Y,i+1} + OUT_{Y,i-1}), \quad (3)$$

где  $D$  – некоторая эмпирическая константа.

В результате работы алгоритма получим упорядоченное множество вершин, которое необходимо посетить, представленное в виде матрицы размером, аналогично входной матрице. Каждой посещаемой вершине ставится в соответствие строка из  $V$  нейронов, выход только одного из которых равен единице, а выходы остальных равны нулю. Порядковый номер "единичного" нейрона укажет на очередность вершины при обходе графа. При правильно составленной функции энергии в каждой строке и каждом столбце окажется по одной единице.

**Выводы.** Существующие методы и алгоритмы моделирования нелинейных систем сталкиваются с проблемами высокой размерности задач, требованиями высокой точности и обобщающей способности полученных моделей. Эти проблемы могут быть решены с помощью переборных и итерационных методов, основанных на принципах селекции, эволюции и адаптации, которые являются методами эвристической самоорганизации. Нейронные сети представляют собой новую и весьма перспективную вычислительную технологию, дающую новые подходы к исследованию динамических задач в медицинской отрасли. Способность к моделированию нелинейных процессов, эффективная работа с зашумленными данными и адаптивность дают возможность применять нейронные сети для решения широкого класса задач, которые возникают в управлении медицинским учреждением и сферой предоставления медицинских услуг.

### Перелік використаних джерел

- Girosi, F., Meili, R., & Scoville, R. (2005). *Extrapolating evidence of health information technology savings and costs*. Santa Monica, CA: RAND Corporation, Retrieved from: <https://www.rand.org/pubs/monographs/MG410.html>.
- Hellberg, S., & Johansson, P. (2017). eHealth strategies and platforms – the issue of health equity in Sweden. *Health Policy and Technology*, 6(1), 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.hlpt.2016.09.002>
- HFA-DB (2018). *European health for all database*. Retrieved from: <http://data.euro.who.int/hfad/>.
- Kim, H., & Xie, B. (2017). Health literacy in the eHealth era: A systematic review of the literature. *Patient Education and Counseling*, 100(6), 1073–1082. <https://doi.org/10.1016/j.pec.2017.01.015>
- Manakova, N. O., Kostenko, O. B., & Nazirova, T. O. (2017). Dekompozycja funkcjonalnoho modulu informatsiinoi systemy v okhroni zdorovia. *Systemy obroblyennia informatsii*, 4(150), 230–236. [In Ukrainian].
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2017). *Future Financial Economics of Health Professional Education: Proceedings of a Workshop*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/24736>
- Nazirova, T. O., & Kostenko, O. B. (2017). Overview of ehealth development models and existing medical information systems. problems of creating a single medical information space. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(10), 151–155. <https://doi.org/10.15421/40271027>
- Nazyrova, T. A., & Kostenko, A. B. (2015). O systemakh optymizatsiy upravleniya zdravookhranenyem na rehyonalnom urovne na baze ynformatsyonnykh tekhnolohiy. *Kompiuterni tekhnolohii v miskomu ta rehionalnomu hospodarstvi: mater. Mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf*, (pp. 42–43). Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova.
- Shenas, S. A. I., Raahemi, B., Tekieh, M. H., & Kuziemy, C. (2014). Identifying high-cost patients using data mining techniques and a small set of non-trivial attributes. *Computers in Biology and Medicine*, 53, 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2014.07.005>
- VOZ (2018). *Vsemirnaia organizatsiia zdravookhraneniia*. Retrieved from: <http://www.who.int/ru/>.
- Wang, S., et al. (2003). A Cost-Benefit Analysis of Electronic Medical Records in Primary Care. *The American Journal of Medicine*, 114(5), 397–403. [https://doi.org/10.1016/S0002-9343\(03\)00057-3](https://doi.org/10.1016/S0002-9343(03)00057-3)

## **ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ NEURAL NETWORK ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПАЦІЄНТОПОТОКОМ У МЕДИЧНІЙ УСТАНОВІ**

На сьогодні на основі технології Neural Network розроблено безліч програмних комплексів для прогнозування різних явищ, статистичного оброблення даних, методів класифікації даних, розпізнавання образів, оптимізації деяких процесів тощо. Здатність до самонавчання та вилучення знань з даних є одним з найкорисніших та вражаючих властивостей штучних нейронних мереж, успадкованих ними від мозку, як від свого прототипу. Світова практика використання штучного інтелекту свідчить про можливість отримувати нові, невідомі раніше закономірності, які не відразу знаходять пояснення, а іноді і не вкладаються в рамки офіційної науки. У багатьох параметрах технології нейронних мереж перевершують наявні традиційні алгоритми, тому по праву вважаються актуальними для активного застосування на цей час. Нейронні мережі – потужний метод моделювання, що дає змогу відтворювати складні нелінійні залежності, що актуально для систем прийняття рішень в управлінні пацієнтопотоком у медичних установах. У цьому дослідженні розглянуто сутність нейронних мереж, їх особливості здатності до навчання (налаштування архітектури і синаптичних зв'язків). Також виявлено і перспективи розвитку застосування і використання штучних нейронних мереж для застосування розподілу пацієнтів для здійснення профілактичного медичного огляду.

**Ключові слова:** neural network; медична інформаційна система; медична реформа України; електронна картка пацієнта; оброблення даних; профілактичні медогляди.

**T. A. Nazirova, A. B. Kostenko**  
*O. M. Beketov National University of Urban Economy, Kharkiv, Ukraine,*

## **APPLICATION OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGY FOR MANAGEMENT OF PATIENT FLOW IN A MEDICAL ORGANIZATION**

The authors have presented and analysed the examples of the mining of new laws using neural networks. Some of these laws cannot be explained within the framework of e-health research. It is shown that the method of neural network modeling allows such knowledge to be successfully used in practice. The neural network is a new and promising computational technology that provides new approaches to solving problems in various scientific and social spheres of society. The authors discuss the nature of neural networks, especially their ability to training (setting of architecture and synaptic connections). An effective neural network training algorithm concerning GPU architecture is provided. Lack of data is a common problem in solving modeling problems as there are neither enough experiments (for modeling physical objects), nor enough data on patients (for scheduling doctors and classifying patients, depending on the state of health). The comparison to popular artificial neural networks libraries is made. We proposed parametric method of teaching artificial neural networks in the task of predicting the optimization of scheduling of doctors' exit schedules for preventive medical examinations of the patient. Adaptive and genetic algorithms were applied. The authors have also demonstrated improvement in effectiveness of scheduling receptions of doctors who conduct a medical examination, as well as the high relevance of numerical results and practice medical records. The authors also reveal some development prospects of application and use artificial neural networks to apply the distribution of patients for a preventive medical examination. The use of artificial intelligence, in particular the use of artificial neural networks, to solve similar problems will help improve the quality of medical institution services.

**Keywords:** neural network; medical information system; medical reform of Ukraine; electronic card of the patient; Data Processing; preventive medical examinations.