

Интеллектуальная поддержка принятия врачебных решений

И. Ф. Астахова¹, Е. И. Киселева^{2*}

¹ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация 394018, Российская Федерация, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1

² ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет», г. Воронеж, Российская Федерация 394043, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Ленина, д. 86

* ekaterkisel@mail.ru

Аннотация

В данной статье представлена разработка и исследование модели формализации процесса постановки диагноза с использованием методов искусственного интеллекта. В настоящее время созданы и применяются при постановке диагноза различные искусственные нейронные сети и экспертные системы. Анализ данных работ показал, что данные методы показывают хорошие результаты, однако имеют ряд недостатков, самыми существенным из которых является сложность организации и большое время, затрачиваемое на обучение нейронной сети. Таким образом, ставится проблема разработки новых алгоритмов, имеющих вероятность постановки точного диагноза, сравнимую с искусственными нейронными сетями и экспертными системами и при этом обладающих меньшим временем обучения. Одним из путей решения этой задачи является разработка модели диагностики сахарного диабета на основе искусственной иммунной системы. Целью работы является разработка и исследование модели формализации процесса постановки диагноза с использованием методов искусственного интеллекта. Рассматривается модель процесса постановки диагноза: преддиабетное состояние (нарушение толерантности к глюкозе, нарушение гликемии натощак), диабет I типа, диабет II типа. Задача диагностики заболевания может рассматриваться как задача классификации. В данной работе процесс постановки диагноза рассматривался как разделение данных анализов и анамнеза пациентов на четыре класса, соответствующих одному из диагнозов: преддиабетное состояние (нарушение толерантности к глюкозе, нарушение гликемии натощак), диабет I типа, диабет II типа. Для решения этой задачи использовались искусственная иммунная система и искусственная нейронная сеть Кохонена. Искусственная иммунная система представляет идеализированный вариант естественного аналога и воспроизводит ключевые составляющие природного процесса: отбор лучших антител популяции в зависимости от степени их аффинитета (близости) к антигену, клонирование антител, мутация антител.

Ключевые слова: сахарный диабет, искусственная нейронная сеть, искусственная иммунная система.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Астахова, И. Ф. Интеллектуальная поддержка принятия врачебных решений / И. Ф. Астахова, Е. И. Киселева. — DOI 10.25559/SITITO.16.202003.664-672 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2020. — Т. 16, № 3. — С. 664-672.

© Астахова И. Ф., Киселева Е. И., 2020



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Intelligent Support for Decision-Making

I. F. Astachova^a, E. I. Kiseleva^{b*}

^a Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation
1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russian Federation

^b Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, Russian Federation
86 Lenin St., Voronezh 394043, Russian Federation

* ekaterkisel@mail.ru

Abstract

This article presents the development and study of a model for formalizing the diagnosis process using artificial intelligence methods. At present, various artificial neural networks and expert systems have been created and are used in the diagnosis. The analysis of these works showed that these methods show good results, but they have a number of disadvantages, the most significant of which is the complexity of the organization and the large time spent on training the neural network. Thus, the problem is posed of developing new algorithms that have the probability of making an accurate diagnosis, comparable to artificial neural networks and expert systems, and at the same time having less training time. One of the ways to solve this problem is to develop a model for diagnosing diabetes mellitus based on an artificial immune system. The aim of the work is to develop and study a model for formalizing the diagnosis process using artificial intelligence methods. A model of the diagnosis process is considered: pre-diabetes state (impaired glucose tolerance, impaired fasting glucose), type I diabetes, type II diabetes. The problem of diagnosing a disease can be viewed as a classification problem. In this work, the process of making a diagnosis was considered as dividing these analyzes and anamnesis of patients into four classes corresponding to one of the diagnoses: pre-diabetes state (impaired glucose tolerance, impaired fasting glycemia), type I diabetes, and type II diabetes. To solve this problem, an artificial immune system and an artificial neural network of Kohonen were used. An artificial immune system represents an idealized version of a natural analogue and reproduces the key components of a natural process: selection of the best antibodies in a population depending on the degree of their affinity (proximity) to an antigen, cloning of antibodies, and mutation of antibodies.

Keywords: diabetes mellitus, artificial neural network, artificial immune system.

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Astachova I.F., Kiseleva E.I. Intelligent Support for Decision-Making. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2020; 16(3):664-672. DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202003.664-672>



Введение

При постановке диагноза медицинскому работнику приходится обрабатывать большое количество информации. В связи с этим возрастает информационная нагрузка врача, что приводит к физической и психологической усталости, ошибкам при выборе и проведении лечения или затягиванию процесса постановки точного диагноза. Поэтому очевидно, что в настоящее время имеется тенденция к возрастанию числа разрабатываемых диагностических медицинских информационных систем (МИС). Кроме того, Постановление Правительства РФ №555 от 05.05.2018 «О единой государственной информационной системе в сфере здравоохранения» способствует росту внедрений информационных систем в области здравоохранения.

МИС помогают медицинским работникам, облегчают их деятельность, при этом улучшается качество предоставляемых медицинских услуг [1-7].

В данной работе рассматриваются алгоритмы, позволяющие выполнить дифференцированную диагностику сахарного диабета первого и второго типа, нарушения толерантности к глюкозе и нарушения гликемии натощак.

Разработка оптимальных схем лечения больных сахарным диабетом (СД) с годами становится все более востребованной задачей. Несмотря на усилия организаций здравоохранения во многих странах мира число людей с заболеванием диабета растет постоянно. Это заболевание занимает четвертое место в мире среди причин преждевременной смертности людей. На сегодняшний день им страдают около 422 млн человека, что составляет 6,028 % от всего населения планеты. В России сахарным диабетом страдают около 8 млн человек. В последние десятилетия медики регистрируют стабильный рост заболеваемости диабетом во всех возрастных группах. Если раньше болезнь была больше распространена среди лиц старше 40 лет, то сегодня ею болеют даже дети и подростки. Исследования показывают, что для каждой возрастной группы характерны свои особенности течения заболевания. Причины этого заболевания до конца не изучены. Однако ученые полагают, что основной источник такой тенденции является малоподвижный образ жизни и негативная экологическая обстановка. Известен ряд работ отечественных и зарубежных исследований, в которых осуществлялись попытки диагностики сахарного диабета первого или второго типа, в своей основе они использовали технологии искусственного интеллекта. Среди них работы Е. А. Пустозерова, Т. А. Обелец, Кирана Тангода, О. П. Шестерниковой, Дилип Кумар Чуби, О. М. Аладе, Дж. Виджаяшри, Дж. Джаяшри [8-15].

Анализ данных работ показал, что данные методы показывают хорошие результаты, однако имеют ряд недостатков, самыми существенным из которых является сложность организации и большое время, затрачиваемое на обучение нейронной сети. Таким образом, ставится проблема разработки новых алгоритмов, имеющих вероятность постановки точного диагноза, сравнимую с искусственными нейронными сетями и экспертными системами и при этом обладающих меньшим временем обучения. Одним из путей решения этой задачи является разработка модели диагностики сахарного диабета на основе искусственной иммунной системы.

Цель работы

Целью работы является разработка и исследование модели формализации процесса постановки диагноза с использованием методов искусственного интеллекта.

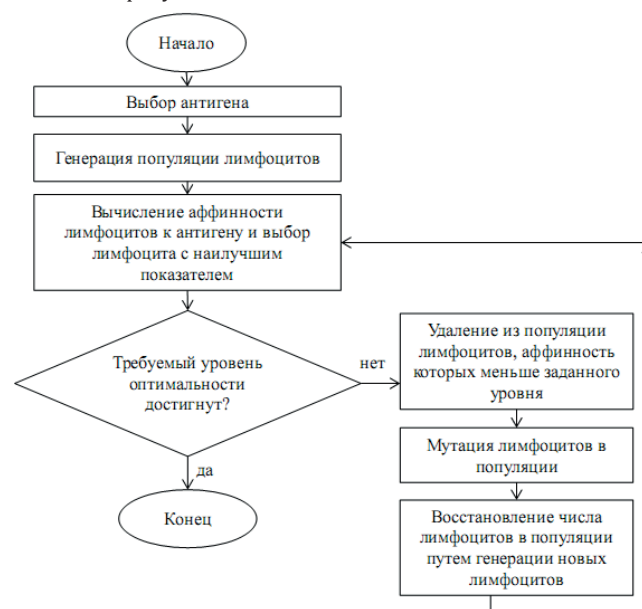
Материалы и методы

Рассмотрим модель процесса постановки диагноза: преддиабетное состояние (нарушение толерантности к глюкозе, нарушение гликемии натощак), диабет I типа, диабет II типа.

Задача диагностики заболевания может рассматриваться как задача классификации. В данной работе процесс постановки диагноза рассматривался как разделение данных анализов и анамнеза пациентов на четыре класса, соответствующих одному из диагнозов: преддиабетное состояние (нарушение толерантности к глюкозе, нарушение гликемии натощак), диабет I типа, диабет II типа.

Для решения этой задачи использовались искусственная иммунная система и искусственная нейронная сеть Кохонена.

Искусственная иммунная система представляет идеализированный вариант естественного аналога и воспроизводит ключевые составляющие природного процесса: отбор лучших антител популяции в зависимости от степени их аффинитета (близости) к антигену, клонирование антител, мутация антител [16-25]. Алгоритм искусственной иммунной системы представлен на рисунке 1.



Р и с. 1. Алгоритм искусственной иммунной системы

Fig. 1. Artificial immune system algorithm

В предлагаемой искусственной иммунной системе в качестве антигена рассматривается вектор g , компонентами которого являются вещественные и булевы значения отражающие данные, полученные в ходе сбора анамнеза и клинических исследований пациента, диагноз которого необходимо определить.



$g = (g_1, g_2 \dots g_{15})$, где g_1 — пол пациента, g_2 — булева переменная, отражающая факт рождения у пациента ребенка весом свыше 4 кг, g_3 — возраст, g_4 — вес, g_5 — рост, g_6 — индекс массы тела, $g_7 - g_9$ — булевы переменные, отражающие наличие у пациента родственников, имеющих сахарный диабет, полидипсию и полиурию, g_{10} — уровень глюкозы плазмы натощак, g_{11} — уровень глюкозы плазмы через 2 часа после использования перорального глюкозотолерантного теста, g_{12} — уровень глюкозы при случайном определении, g_{13} — HbA1c, g_{14} — инсулин, g_{15} — С-пептид.

Антитело представляет собой вектор, $l = (l_1, l_2 \dots l_{16})$, где $l_1 - l_{15}$ последовательность вещественных и булевых значений, аналогичных антигену, l_{16} — диагноз пациента, который соответствует таким показателям. Компоненты векторов антител и антигенов назовем генами. Антитела, принадлежат к одному из четырех классов, в соответствии с поставленным диагнозом: диабет первого или второго типа, нарушение толерантности к глюкозе, нарушение гликемии натощак. Задачей иммунной системы является определить, к какому классу относится антиген.

Алгоритм обучения искусственной иммунной системы можно представить следующим образом.

1. Пользователь вносит в текстовое поле название диагноза, постановке которого необходимо обучить систему и инициирует начало обучения.
2. Создается группа антител $l_i, i = 1 \dots n$, каждое из которых получает название введенного пользователем диагноза. Значения компонент вектора каждого антитела задаются случайным образом.
3. Из учебного набора данных случайным образом выбирается антиген $g = (g_1, g_2 \dots g_{15})$, значения показателей которого соответствуют введенному пользователем диагнозу.
4. Вычисляется функция аффинности антител к антигену по следующему правилу:
 $A = k/15$, где k - число генов антитела, удовлетворяющих условию
 $|l_i - g_i| \leq \alpha, i = 1, \dots, 15, \alpha = 0,05$.
5. К t антителам, аффинность которых к антигену превышает установленный порог p , применяется процедура клонирования, в ходе которой создается m копий каждого антитела.
6. К клонам антител применяется оператор мутации, состоящий в случайном выборе генов и внесении случайным образом изменений в их значения.
7. Вычисляется аффинность клонов антител.
8. Уничтожается l ($l > mt$) антител с наименьшей аффинностью.
9. Численность популяции восстанавливается путем генерирования случайным образом $n-l$ новых антител.
10. Шаги 4-9 повторяются до тех пор, пока не происходит стабилизация популяции на протяжении некоторого количества циклов.
11. Повторяют шаги 3-9 до тех пор, пока не будут использованы все антигены из учебной выборки.
12. Все антитела из популяции добавляют в отдельную группу, предназначенную для дальнейшего использования при постановке диагноза.

Описанный процесс повторяют при необходимости обучения иммунной системе постановке других диагнозов.

Постановка диагноза осуществляется на основе следующей последовательности шагов:

1. В качестве антигена системе предъявляется вектор, содержащий данные пациента, которому требуется поставить диагноз.
2. Из популяции антител случайным образом отбирается некоторое количество антител, относящихся к различным классам возможных диагнозов.
3. Подсчитывается число антител в выбранной популяции относящихся к классу d_i^1 , где $i=1, \dots, 4$.
4. Шаги 4-10 предыдущего алгоритма повторяются для выбранной популяции, до тех пор, пока не будет достигнута ее стабилизация на протяжении некоторого количества циклов.
5. Подсчитывается число антител в выбранной популяции относящихся к классу с номером i d_i^2 , где $i=1, \dots, 4$.
6. Для каждого класса вычисляется отношение
 $v_i = \frac{d_i^2}{d_i^1}, i = 1, \dots, 4$.

Если только одно из этих отношений больше 1, номер класса соответствует поставленному диагнозу, в противном случае, повторяются шаги алгоритма 2-6, однако в популяцию включаются только антитела тех классов, для которых $v_i > 1$.

Задача постановки диагноза может быть рассмотрена как задача классификации. Задача классификации была решена с использованием нейронной сети Кохонена.

В сети Кохонена число входов каждого нейрона равно размерности параметров классифицируемого объекта. В нашем случае классифицироваться будут результаты анализов и данные пациентов. Как определено ранее, данные пациентов содержат 15 показателей, т.е. каждый нейрон имеет пятнадцать входов. Количество нейронов равно числу диагнозов, которые могут быть поставлены пациентам. В данной работе пациенты будут разделены на 4 группы:

1. больные сахарным диабетом I типа;
2. больные сахарным диабетом II типа;
3. больные с нарушением гликемии натощак;
4. больные с нарушением толерантности к глюкозе.

Алгоритм обучения сети Кохонена состоит из следующих шагов.

1. Инициализация сети.
2. Присвоение весовым коэффициентам сети $W_{ij}, i = 1, n, j = 1, m$ малых случайных значений. Задаются значения: α_0 — начальный темп обучения и D_0 — максимальное расстояние между весовыми векторами (столбцами матрицы W).
3. Предъявление сети нового входного сигнала X из обучающей выборки.
4. Вычисление расстояния от входа X до всех нейронов сети:
 $d_j = \sum_{i=1}^n (X_i - W_{ij}^N)^2, j = 1, m$.
5. Выбор нейрона $k, 1 \leq k \leq m$ с наименьшим расстоянием d_k от входа до нейронов сети.
6. Настройка весов j -го нейрона и всех нейронов, нахо-



дящихся от него на расстоянии, не превосходящем D_N : $W_{ij}^{N+1} = W_{ij}^N + \alpha_N(X_i - W_{ij}^N)$.

7. Уменьшение значений α_N, D_N .

Шаги 2-7 повторяются до тех пор, пока веса не перестанут меняться (или пока суммарное изменение всех весов станет меньше величины, заданной пользователем).

После обучения сети постановка диагноза выполняется посредством подачи испытуемого вектора на вход сети и вычисления расстояния от него, до каждого нейрона с последующим выбором нейрона с наименьшим расстоянием в качестве индикатора класса. Номер выбранного класса соответствует диагнозу пациента.

Результаты

Было произведено сравнение точности постановки диагноза с использованием искусственной нейронной сети и искусственной иммунной системы.

Для организации работы программного комплекса использовались данные 186 пациентов с известными заключительными диагнозами. В обучающую выборку вошли 100 записей, в контрольную выборку 86 записей.

Диагнозы пациентов, которые получены в ходе работы программного комплекса, сравнивались с известными заключительными диагнозами, далее вычислялся процент совпадений с полученными в ходе работы программы.

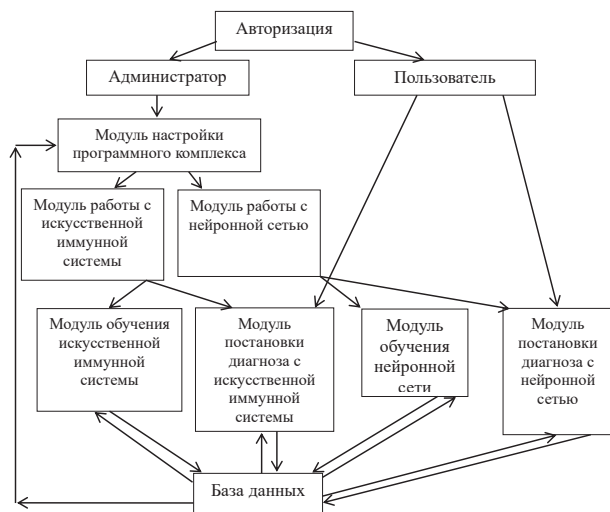
Таблица 1. Сравнение результатов постановки диагноза

Table 1. Diagnosis results comparison

Метод	Процент правильно поставленных диагнозов
Линейный классификатор (нейронная сеть с 1 слоем)	88 %
Нейронная сеть Кохонена	92 %
Искусственная иммунная система с начальной популяцией n=80	95 %
Искусственная иммунная система с начальной популяцией антител n=100	96 %
Искусственная иммунная система с начальной популяцией антител n=200	96 %

Как видно из результатов проведенных экспериментов, наилучшие результаты показала искусственная иммунная система с начальной популяцией, превышающей 100 антител.

Был разработан программный комплекс, реализующий разработанные алгоритмы и модели. Средством реализации поставленных задач были выбраны среда разработки C++ Builder и СУБД Paradox. Функциональная схема программного продукта приведена на рисунке 2.

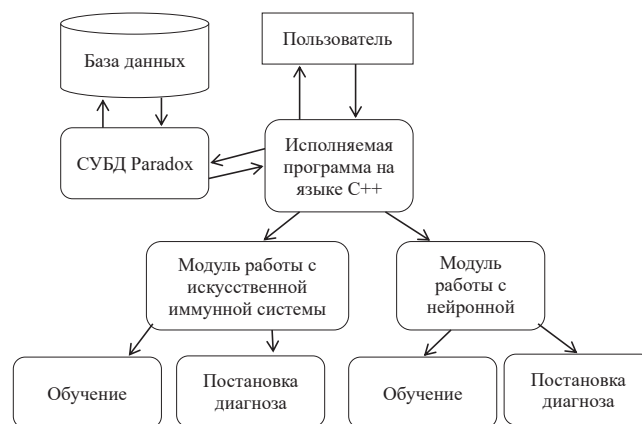


Р и с. 2. Функциональная схема программного комплекса

Fig. 2. Functional diagram of the software package

Программный комплекс разделен на 2 части, часть пользователя (пациента) и часть администратора (врача). Первая часть системы для работы администратора (врача), она предназначена для накопления и хранения информации, настройки

обучения и постановки диагноза с помощью искусственной нейронной сети и искусственной иммунной системы. Вторая часть обеспечивает работу пользователя (пациента) и предназначена для постановки диагноза. Структурная схема взаимодействия основных модулей показана на рисунке 3.



Р и с. 3. Структурная схема взаимодействия модулей программного комплекса

Fig. 3. Block diagram of the interaction of the modules of the software package

Заключение

В данной работе получены следующие основные результаты.

1. Разработана формальная модель процесса постановки диагноза.
2. Разработан алгоритм постановки диагноза: преддиабетное состояние (нарушение толерантности к глюкозе, нарушение гликемии натощак), диабет I типа, диабет II



- типа, отличающийся использованием искусственной иммунной системы.
3. Разработан алгоритм и модель нейронной сети Кохонена, позволяющая решать проблему постановки диагноза: преддиабетное состояние (нарушение толерантности к глюкозе, нарушение гликемии натощак), диабет I типа, диабет II типа.
 4. Произведено сравнение эффективности постановки диагноза с использованием нейронных сетей и искусственной иммунной системы.
 5. Создан программный комплекс, реализующий описанные алгоритмы.

Список использованных источников

- [1] Haglin, J. M. Artificial neural networks in medicine / J. M. Haglin, G. Jimenez, A. E. M. Eltorai. — DOI 10.1007/s12553-018-0244-4 // Health and Technology. — 2019. — Vol. 9, issue 1. — Pp. 1-6. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12553-018-0244-4> (дата обращения: 11.06.2020).
- [2] Soumya, C. V. Artificial neural network based identification and classification of images of Bharatanaty gestures / C. V. Soumya, M. Ahmed. — DOI 10.1109/ICIMIA.2017.7975593 // 2017 International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA). — Bangalore, 2017. — Pp. 162-166. — URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7975593> (дата обращения: 11.06.2020).
- [3] Nowikiewicz, T. Application of artificial neural networks for predicting presence of non-sentinel lymph node metastases in breast cancer patients with positive sentinel lymph node biopsies / T. Nowikiewicz, P. Wnuk, B. Małkowski, A. Kurylcio, J. Kowalewski, W. Zegarski. — DOI 10.5114/aoms.2016.57677 // Archives of Medical Science. — 2017. — Vol. 13, no. 6. — Pp. 1399-1407. — URL: <https://www.archivesofmedicalscience.com/Application-of-artificial-neural-networks-for-predicting-presence-of-non-sentinel-60521,0,2.html> (дата обращения: 11.06.2020).
- [4] Sheikhtaheri, A. Developing and Using Expert Systems and Neural Networks in Medicine: A Review on Benefits and Challenges / A. Sheikhtaheri, F. Sadoughi, Z. Hashemi Dehaghi. — DOI 10.1007/s10916-014-0110-5 // Journal of Medical Systems. — 2014. — Vol. 38, issue 9. — Article 110. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10916-014-0110-5> (дата обращения: 11.06.2020).
- [5] Ultsch, A. Integration of Neural Networks and knowledge-based systems in medicine / A. Ultsch, D. Korus, T. O. Kleine. — DOI 10.1007/3-540-60025-6_170 // Artificial Intelligence in Medicine. AIME 1995. Lecture Notes in Computer Science (Lecture Notes in Artificial Intelligence); P. Barahona, M. Stefanelli, J. Wyatt (ed.). Springer, Berlin, Heidelberg. — 1995. — Vol. 934. — Pp. 425-426. — URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F3-540-60025-6_170 (дата обращения: 11.06.2020).
- [6] Summers, R. M. Deep Learning and Computer-Aided Diagnosis for Medical Image Processing: A Personal Perspective / R. M. Summers. — DOI 10.1007/978-3-319-42999-1_1 // Deep Learning and Convolutional Neural Networks for Medical Image Computing. Advances in Computer Vision and Pattern Recognition; L. Lu, Y. Zheng, G. Carneiro, L. Yang (ed.). Springer, Cham, 2017. — Pp. 3-10. — URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-42999-1_1 (дата обращения: 11.06.2020).
- [7] Wang, J. Quantitative Analysis of Ca, Mg, and K in the Roots of *Angelica pubescens f. biserrata* by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy Combined with Artificial Neural Networks / J. Wang, M. Shi, P. Zheng, Sh. Xue, R. Peng. — DOI 10.1007/s10812-018-0631-7 // Journal of Applied Spectroscopy. — 2018. — Vol. 85, issue 1. — Pp. 190-196. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10812-018-0631-7> (дата обращения: 11.06.2020).
- [8] Sejdinović, D. Classification of Prediabetes and Type 2 Diabetes Using Artificial Neural Network / D. Sejdinović [et al.]. — DOI 10.1007/978-981-10-4166-2_103 // CMBEIH 2017. IFMBE Proceedings; A. Badnjević (ed.). Springer, Singapore. — 2017. — Vol. 62. — Pp. 685-689. — URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-10-4166-2_103 (дата обращения: 11.06.2020).
- [9] Alade, O. M. A Neural Network Based Expert System for the Diagnosis of Diabetes Mellitus / O. M. Alade, O. Y. Sowunmi, S. Misra, R. Maskeliūnas, R. Damaševičius. — DOI 10.1007/978-3-319-74980-8_2 // Information Technology Science. MOSITS 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing; T. Antipova, Á. Rocha (ed.). Springer, Cham. — 2018. — Vol. 724. — Pp. 14-22. — URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-74980-8_2 (дата обращения: 11.06.2020).
- [10] Srivastava, S. Prediction of Diabetes Using Artificial Neural Network Approach / S. Srivastava, L. Sharma, V. Sharma, A. Kumar, H. Darbari. — DOI 10.1007/978-981-13-1642-5_59 // Engineering Vibration, Communication and Information Processing. Lecture Notes in Electrical Engineering; K. Ray, S. Sharan, S. Rawat, S. Jain, S. Srivastava, S. Bandyopadhyay (ed.). Springer, Singapore. — 2019. — Vol. 478. — Pp. 679-687. — URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-13-1642-5_59 (дата обращения: 11.06.2020).
- [11] Li X. Artificial intelligence neural network based on intelligent diagnosis. / X. Li. — DOI 10.1007/s12652-020-02108-6 // Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. — 2021. — Vol. 12, issue 1. — Pp. 923-931. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12652-020-02108-6> (дата обращения: 11.06.2020).
- [12] Asad, M. A Review of Continuous Blood Glucose Monitoring and Prediction of Blood Glucose Level for Diabetes Type 1 Patient in Different Prediction Horizons (PH) Using Artificial Neural Network (ANN) / M. Asad, U. Qamar. — DOI 10.1007/978-3-030-29513-4_51 // Intelligent Systems and Applications. IntelliSys 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing; Y. Bi, R. Bhatia, S. Kapoor (ed.). Springer, Cham. — 2020. — Vol. 1038. — Pp. 684-695. — URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-29513-4_51 (дата обращения: 11.06.2020).
- [13] Raihan, M. Diabetes Mellitus Risk Prediction Using Artificial Neural Network / M. Raihan, N. Alvi, M. Tanvir Islam, F. Farza-



- na, M. Mahadi Hassan. — DOI 10.1007/978-981-15-3607-6_7 // Proceedings of International Joint Conference on Computational Intelligence. Algorithms for Intelligent Systems; M. S. Uddin, J. C. Bansal (ed.). Springer, Singapore, 2020. — Pp. 85-97. — URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-15-3607-6_7 (дата обращения: 11.06.2020).
- [14] Arul Kumar, D. Application of back propagation artificial neural network in detection and analysis of diabetes mellitus / D. Arul Kumar, T. Jayanthi. — DOI 10.1007/s12652-020-02371-7 // Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. — 2020. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12652-020-02371-7> (дата обращения: 11.06.2020).
- [15] Jayashree, J. Linear Discriminant Analysis Based Genetic Algorithm with Generalized Regression Neural Network — A Hybrid Expert System for Diagnosis of Diabetes / J. Jayashree, S. A. Kumar. — DOI 10.1134/S0361768818060063 // Programming and Computer Software. — 2018. — Vol. 44, issue 6. — Pp. 417-427. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/S0361768818060063> (дата обращения: 11.06.2020).
- [16] Şahan, S. The Medical Applications of Attribute Weighted Artificial Immune System (AWAIS): Diagnosis of Heart and Diabetes Diseases / S. Şahan, K. Polat, H. Kodaz, S. Güneş. — DOI 10.1007/11536444_35 // Artificial Immune Systems. ICARIS 2005. Lecture Notes in Computer Science; C. Jacob, M. L. Pilat, P. J. Bentley, J. I. Timmis (ed.). Springer, Berlin, Heidelberg. — 2005. — Vol. 3627. — Pp. 456-468. — URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F11536444_35 (дата обращения: 11.06.2020).
- [17] Lin, H. An Application of Artificial Immune Recognition System for Prediction of Diabetes Following Gestational Diabetes / H. Lin, C. Su, P. Wang. — DOI 10.1007/s10916-009-9364-8 // Journal of Medical Systems. — 2011. — Vol. 35, issue 3. — Pp. 283-289. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10916-009-9364-8> (дата обращения: 11.06.2020).
- [18] Chikh, M. A. Diagnosis of Diabetes Diseases Using an Artificial Immune Recognition System2 (AIRS₂) with Fuzzy K-nearest Neighbor / M. A. Chikh, M. Saidi, N. Settouti. — DOI 10.1007/s10916-011-9748-4 // Journal of Medical Systems. — 2012. — Vol. 36, issue 5. — Pp. 2721-2729. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10916-011-9748-4> (дата обращения: 11.06.2020).
- [19] Wu, J.-Y. Hybrid Artificial Immune Algorithm and CMAC Neural Network Classifier for Supporting Business and Medical Decision Making / J.-Y. Wu. — DOI 10.1007/978-3-642-25856-5_4 // Advanced Data Mining and Applications. ADMA 2011. Lecture Notes in Computer Science; J. Tang, I. King, L. Chen, J. Wang (ed.). Springer, Berlin, Heidelberg. — 2011. — Vol. 7121. — Pp. 41-54. — URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-25856-5_4 (дата обращения: 11.06.2020).
- [20] Fu, X. An Improved Artificial Immune Recognition System Based on the Average Scatter Matrix Trace Criterion / X. Fu, S. Zhang. — DOI 10.1007/978-3-642-30976-2_34 // Advances in Swarm Intelligence. ICSI 2012. Lecture Notes in Computer Science; Y. Tan, Y. Shi, Z. Ji (ed.). Springer, Berlin, Heidelberg. — 2012. — Vol. 7331. — Pp. 284-290. — URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-30976-2_34 (дата обращения: 11.06.2020).
- [21] Astachova, I. F. The application of artificial immune system for parallel process of calculation and their comparison with existing methods / I. F. Astachova, S. A. Ushakov, A. I. Shashkin, N. V. Belyaeva. — DOI 10.1088/1742-6596/1202/1/012003 // Journal of Physics: Conference Series. — 2019. — Vol. 1202. — Pp. 012003. — URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1202/1/012003/pdf> (дата обращения: 11.06.2020).
- [22] Каширина, И. Л. Нейросетевые технологии / И. Л. Каширина. — Воронеж: изд-во ВГУ, 2008.
- [23] Астахова, И. Ф. Алгоритм использования искусственной иммунной системы для оптимизации целевого компонента информационной образовательной системы / И. Ф. Астахова, Е. И. Киселева // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. — 2017. — № 2. — С. 61-65. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29880179> (дата обращения: 11.06.2020). — Рез. англ.
- [24] Holland, J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence / J. H. Holland. — Cambridge: The MIT Press, 1992.
- [25] Sudholt, D. Theory and practice of population diversity in evolutionary computation / D. Sudholt, G. Squillero. — DOI 10.1145/3377929.3389892 // Proceedings of the 2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion (GECCO '20). — New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020. — Pp. 975-992. — URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3377929.3389892> (дата обращения: 11.06.2020).

Поступила 11.06.2020; одобрена после рецензирования 29.09.2020; принята к публикации 20.11.2020.

Об авторах:

Астахова Ирина Федоровна, профессор кафедры математического обеспечения ЭВМ, факультет прикладной математики, информатики и механики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» (394018, Российская Федерация, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1), доктор технических наук, профессор, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2627-8508>, astachova@list.ru

Киселева Екатерина Игоревна, старший преподаватель кафедры педагогики и методики дошкольного и начального образования, психолого-педагогический факультет, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет» (394043, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Ленина, д. 86), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6406-9782>, ekaterkisel@mail.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



References

- [1] Haglin J.M., Jimenez G., Eltorai A.E.M. Artificial neural networks in medicine. *Health and Technology*. 2019; 9(1):1-6. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s12553-018-0244-4>
- [2] Soumya C.V., Ahmed M. Artificial neural network based identification and classification of images of Bharatanaty gestures. In: *2017 International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)*. Bangalore; 2017. p. 162-166. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIMIA.2017.7975593>
- [3] Nowikiewicz T., Wnuk P., Małkowski B., Kurylcio A., Kowalewski J., Zegarski W. Application of artificial neural networks for predicting presence of non-sentinel lymph node metastases in breast cancer patients with positive sentinel lymph node biopsies. *Archives of Medical Science*. 2017; 13(6):1399-1407. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.5114/aoms.2016.57677>
- [4] Sheikhtaheri A., Sadoughi F., Hashemi Dehaghi Z. Developing and Using Expert Systems and Neural Networks in Medicine: A Review on Benefits and Challenges. *Journal of Medical Systems*. 2014; 38(9):110. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s10916-014-0110-5>
- [5] Ultsch A., Korus D., Kleine T.O. Integration of Neural Networks and knowledge-based systems in medicine. In: Barahona P., Stefanelli M., Wyatt J. (ed.) *Artificial Intelligence in Medicine. AIME 1995. Lecture Notes in Computer Science (Lecture Notes in Artificial Intelligence)*. 1995; 934:425-426. Springer, Berlin, Heidelberg. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/3-540-60025-6_170
- [6] Summers R.M. Deep Learning and Computer-Aided Diagnosis for Medical Image Processing: A Personal Perspective. In: Lu L., Zheng Y., Carneiro G., Yang L. (ed.) *Deep Learning and Convolutional Neural Networks for Medical Image Computing. Advances in Computer Vision and Pattern Recognition*. Springer, Cham; 2017. p. 3-10. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-42999-1_1
- [7] Wang J., Shi M., Zheng P., Xue Sh., Peng R. Quantitative Analysis of Ca, Mg, and K in the Roots of *Angelica pubescens f. biserrata* by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy Combined with Artificial Neural Networks. *Journal of Applied Spectroscopy*. 2018; 85(1):190-196. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s10812-018-0631-7>
- [8] Sejdinović D. et al. Classification of Prediabetes and Type 2 Diabetes Using Artificial Neural Network. In: Badnjević A. (ed.) *CMBEBIH 2017. IFMBE Proceedings*. 2017; 62:685-689. Springer, Singapore. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-4166-2_103
- [9] Alade O.M., Sowunmi O.Y., Misra S., Maskeliūnas R., Damaševičius R. A Neural Network Based Expert System for the Diagnosis of Diabetes Mellitus. In: Antipova T., Rocha Á. (ed.) *Information Technology Science. MOSITS 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018; 724:14-22. Springer, Cham. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-74980-8_2
- [10] Srivastava S., Sharma L., Sharma V., Kumar A., Darbari H. Prediction of Diabetes Using Artificial Neural Network Approach. In: Ray K., Sharan S., Rawat S., Jain S., Srivastava S., Bandyopadhyay A. (ed.) *Engineering Vibration, Communication and Information Processing. Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2019; 478:679-687. Springer, Singapore. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-1642-5_59
- [11] Li X. Artificial intelligence neural network based on intelligent diagnosis. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2021; 12(1):923-931. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02108-6>
- [12] Asad M., Qamar U. A Review of Continuous Blood Glucose Monitoring and Prediction of Blood Glucose Level for Diabetes Type 1 Patient in Different Prediction Horizons (PH) Using Artificial Neural Network (ANN). In: Bi Y., Bhatia R., Kapoor S. (ed.) *Intelligent Systems and Applications. IntelliSys 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020; 1038:684-695. Springer, Cham. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-29513-4_51
- [13] Raihan M., Alvi N., Tanvir Islam M., Farzana F., Mahadi Hassan M. Diabetes Mellitus Risk Prediction Using Artificial Neural Network. In: Uddin M.S., Bansal J.C. (ed.) *Proceedings of International Joint Conference on Computational Intelligence. Algorithms for Intelligent Systems*. Springer, Singapore; 2020. p. 85-97. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-3607-6_7
- [14] Arul Kumar D., Jayanthi T. Application of back propagation artificial neural network in detection and analysis of diabetes mellitus. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2020. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02371-7>
- [15] Jayashree J., Kumar S.A. Linear Discriminant Analysis Based Genetic Algorithm with Generalized Regression Neural Network — A Hybrid Expert System for Diagnosis of Diabetes. *Programming and Computer Software*. 2018; 44(6):417-427. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1134/S0361768818060063>
- [16] Şahan S., Polat K., Kodaz H., Güneş S. The Medical Applications of Attribute Weighted Artificial Immune System (AWAIS): Diagnosis of Heart and Diabetes Diseases. In: Jacob C., Pilat M.L., Bentley P.J., Timmis J.I. (ed.) *Artificial Immune Systems. ICARIS 2005. Lecture Notes in Computer Science*. 2005; 3627:456-468. Springer, Berlin, Heidelberg. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/11536444_35
- [17] Lin H., Su C., Wang P. An Application of Artificial Immune Recognition System for Prediction of Diabetes Following Gestational Diabetes. *Journal of Medical Systems*. 2011; 35(3):283-289. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s10916-009-9364-8>
- [18] Chikh M.A., Saidi M., Settouti N. Diagnosis of Diabetes Diseases Using an Artificial Immune Recognition System2 (AIRS₂) with Fuzzy K-nearest Neighbor. *Journal of Medical Systems*. 2012; 36(5):2721-2729. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s10916-011-9748-4>
- [19] Wu J.-Y. Hybrid Artificial Immune Algorithm and CMAC Neural Network Classifier for Supporting Business and Medical Decision Making. In: Tang J., King I., Chen L., Wang J. (ed.) *Advanced Data Mining and Applications. ADMA 2011. Lecture Notes in Computer Science*. 2011; 7121:41-



54. Springer, Berlin, Heidelberg. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-25856-5_4
- [20] Fu X., Zhang S. An Improved Artificial Immune Recognition System Based on the Average Scatter Matrix Trace Criterion. In: Tan Y., Shi Y., Ji Z. (ed.) *Advances in Swarm Intelligence. ICSI 2012. Lecture Notes in Computer Science*. 2012; 7331:284-290. Springer, Berlin, Heidelberg. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-30976-2_34
- [21] Astachova I.F., Ushakov S.A., Shashkin A.I., Belyaeva N.V. The application of artificial immune system for parallel process of calculation and their comparison with existing methods. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019; 1202: 012003. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1202/1/012003>
- [22] Kashirina I.L. *Nejrosetevye tekhnologii* [Neural Network Technologies]. VSU Publ., Voronezh; 2008. (In Russ.)
- [23] Astachova I.F., Kiseleva E.I. The algorithm is the use of artificial immune systems to optimize the target component of the information educational system. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems analysis and information technologies*. 2017; (2):61-65. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29880179> (accessed 11.06.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [24] Holland J.H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. The MIT Press, Cambridge; 1992. (In Eng.)
- [25] Sudholt D., Squillero G. Theory and practice of population diversity in evolutionary computation. In: *Proceedings of the 2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion (GECCO '20)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA; 2020. p. 975-992. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1145/3377929.3389892>

*Submitted 11.06.2020; approved after reviewing 29.09.2020;
accepted for publication 20.11.2020.*

About the authors:

Irina F. Astachova, Professor of the Department of Computer Hardware, Faculty of Applied Mathematics, Informatics and Mechanics, Voronezh State University (1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russian Federation), Dr.Sci. (Engineering), Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2627-8508>, astachova@list.ru

Ekaterina I. Kiseleva, Senior Lecturer of the Department of Pedagogy and Methods of Preschool and Primary Education, Psychological and Pedagogical Faculty, Voronezh State Pedagogical University (86 Lenin St., Voronezh 394043, Russian Federation), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6406-9782>, ekaterkisel@mail.ru

All authors have read and approved the final manuscript.

