



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-23-1-68-73>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 620.9:658.28

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ДЛЯ ИТ-ДИАГНОСТИКИ НЕВРОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

В. А. ВИШНЯКОВ, И. В. СЯ, Ч. Ю. ЮЙ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2025
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2025

Аннотация. Рассмотрены методы машинного обучения и нейронные сети для диагностики неврологических заболеваний (болезней Альцгеймера и Паркинсона) пациентов на основе голосового анализа. Приведены модели извлеченной из голосовых данных информации о признаках заболеваний (включая частоту, дрожание, мел-кепстральные коэффициенты и т. д.). Используются различные классификаторы для обучения нейронных сетей и распознавания заболеваний. Среди них – алгоритм GridSearchCV для оптимизации гиперпараметров классификатора случайного леса при распознавании болезни Альцгеймера (точность распознавания – 87,6 %) и алгоритм KNN – для обучения и тестирования на общедоступных наборах данных признаков изменения речи пациентов с болезнью Паркинсона. Алгоритм KNN показал лучшие результаты классификации по сравнению с другими, достигнув экспериментальной точности 94 % на тех же наборах данных. Отмечено, что использование многомерного извлечения признаков и методов машинного обучения может повысить точность ранней диагностики неврологических заболеваний.

Ключевые слова: диагностика пациентов, изменение голоса, неврологические заболевания, машинное обучение, нейронные сети.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Вишняков, В. А. Машинное обучение и нейронные сети для ИТ-диагностики неврологических заболеваний / В. А. Вишняков, И. В. Ся, Ч. Ю. Юй // Доклады БГУИР. 2025. Т. 23, № 1. С. 68–73. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-23-1-68-73>.

MACHINE LEARNING AND NEURAL NETWORKS FOR IT-DIAGNOSTICS OF NEUROLOGICAL DISEASES

ULADZIMIR A. VISHNIAKOU, YIWEI XIA, CHUYUE YU

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The article considers machine learning methods and neural networks for diagnosing neurological diseases (Alzheimer's and Parkinson's diseases) in patients based on voice analysis. Models of information about disease features (including frequency, jitter, mel-cepstral coefficients, etc.) extracted from voice data are presented. Various classifiers are used to train neural networks and recognize diseases. Among them are the GridSearchCV algorithm for optimizing the hyperparameters of the random forest classifier for recognizing Alzheimer's disease (recognition accuracy is 87.6 %) and the KNN algorithm for training and testing on publicly available datasets of speech change features in patients with Parkinson's disease. The KNN algorithm showed the best classification results compared to others, achieving an experimental accuracy of 94 % on the same datasets. It is noted that the use of multidimensional feature extraction and machine learning methods can improve the accuracy of early diagnosis of neurological diseases.

Keywords: patient diagnostics, voice change, neurological diseases, machine learning, neural networks.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Vishniakou U. A., Xia Y. W., Yu Ch. Y. (2025) Machine Learning and Neural Networks for IT-Diagnostics of Neurological Diseases. *Doklady BGUIR*. 23 (1), 68–73. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-23-1-68-73> (in Russian).

Введение

Системы ИТ-диагностики, обученные на больших наборах данных о заболеваниях пациентов, интегрируют передовые методы обработки сигналов с машинным обучением и нейронными сетями. Такие системы помогают неврологам и другим медицинским работникам принимать клинические решения на ранних стадиях обнаружения заболеваний [1]. Современные исследования в области диагностики неврологических заболеваний (например, болезней Альцгеймера и Паркинсона) сосредоточены на глубокой интеграции математического моделирования, передовых алгоритмов и информационных технологий. Так, болезни Альцгеймера и Паркинсона особенно трудно диагностировать на ранних стадиях из-за их сложности и изменчивости.

Основные симптомы болезни Паркинсона включают тремор, ригидность, замедление движений и постуральную нестабильность [2]. Ранняя диагностика этой болезни – вызов для медицинского сообщества. Обычно к моменту постановки диагноза около 60 % nigростриарных нейронов уже дегенерировали, а 80 % стриарного дофамина истощено [3]. Диагностика болезни Паркинсона основывается на медицинском анамнезе, клинических признаках и симптомах, на реакции на противопаркинсонические препараты. Однако, поскольку болезнь развивается медленно, клинические симптомы проявляются только тогда, когда дофаминовые нейроны nigростриарной системы значительно истощены, и на момент диагностики пациенты обычно находятся на продвинутой стадии болезни, что упускает лучшее время для лечения. Поэтому ученые работают над ранней диагностикой болезни Паркинсона.

Авторы [4] предложили использовать голосовые образцы для обнаружения наличия болезни Паркинсона у пациента. Из голосовых образцов извлекались признаки, и классификация проводилась с помощью Extreme Learning Machine (ELM) с точностью 81,55 %. В [5] использовался инструмент нейронных сетей в программном обеспечении MATLAB для классификации медицинских ультразвуковых изображений. В основном изучалось черное вещество в среднем мозге для определения вероятности болезни Паркинсона у пациента.

Болезнь Альцгеймера является наиболее распространенной формой деменции, составляя до 70 % случаев. Образование β -амилоидных бляшек и нейрофибриллярных клубков тау-белка считается ключевыми патологическими изменениями при болезни Альцгеймера. Однако эти изменения на протяжении длительного времени не приводят к заметным когнитивным нарушениям, и дегенерация структуры мозга вместе с функциональными отклонениями на изображениях становится очевидной только на поздних стадиях заболевания.

В [6] исследовались три модели глубоких сверточных сетей (ResNet, DenseNet, EfficientNet) и две архитектуры на основе трансформеров (MAE, DeiT) для улучшения автоматического выявления деменции по данным магнитно-резонансной томографии головного мозга с целью сопоставления входных изображений с клиническими диагнозами. Результаты экспериментов показали, что архитектуры на основе трансформеров (особенно DeiT) дали наилучшие результаты классификации, достигнув точности 77 %. Исследователи в [7] предложили для обработки звуков речи архитектуру SpeechFormer++. После извлечения акустических признаков с использованием предобученной модели HuBERT-Large была проведена оценка по выявлению болезни Альцгеймера на основе данных Pitt, что дало лучшие результаты классификации, по сравнению со стандартным трансформером, с взвешенной точностью 81,3 %. В [8] с использованием речевых данных ADRess объединены техники ASR и BERT для сквозного автоматического распознавания речи. Результаты тестов на основе чисто акустических и текстовых данных составили 74,65 и 84,51 % соответственно, что на 15 и 9 % лучше по сравнению с опубликованными ранее базовыми показателями.

Модели подсистемы диагностики неврологических заболеваний

В системе ИТ-диагностики весь процесс обработки данных для распознавания неврологических заболеваний по изменению голоса пациентов можно представить математическими моделями обработки сигналов, включая этапы сбора и обработки голосовых данных, извлечение признаков и анализ данных. Математическое моделирование интегрирует биологические знания

с экспериментальными данными в машинную обработку, предоставляя метод для исследования и концептуализации принципов [9]. Полная математическая модель, охватывающая весь процесс от сбора данных до диагностики неврологических заболеваний, может быть представлена в виде композита последовательных отображений

$$D = G(F(E(D_c(X)))) \quad (1)$$

где D – окончательный диагностический результат; G – функция анализа данных, основанная на извлеченных признаках; F – функция извлечения признаков; E – этап обработки сигналов; D_c – процесс сбора данных; X – исходные данные.

Алгоритмы и эксперименты при распознавании болезни Альцгеймера

В исследованиях [10, 11] для извлечения признаков из речевых данных пациентов и определения вероятности наличия у них болезни Альцгеймера использовались метод случайных лесов и нейронная сеть с управляемым рекуррентным звеном (GRU), а с помощью алгоритма Grid-SearchCV осуществлялась оптимизация гиперпараметров классификатора случайного леса. Случайный лес – это метод ансамблевого обучения, который строит несколько деревьев решений и агрегирует их прогнозы для выполнения задач классификации или регрессии. Он известен особой точностью при обработке данных с высокой размерностью и меньшей склонностью к переобучению. В [10] алгоритм случайного леса применялся к речевым данным после извлечения текстовых признаков для диагностики болезни Альцгеймера у испытуемых. Признаки, учитываемые каждым деревом в процессе принятия решений, выбирались случайным образом, что повышало разнообразие модели и улучшало точность классификации.

В табл. 1 представлены результаты экспериментальной оценки, которые сравнивают результаты экспериментов с базовыми показателями того же набора данных [12], а также с точностью выполнения той же задачи классификации на основе извлечения только текстовых признаков [13]. Базовые результаты были получены с помощью классификатора LDA при выполнении задачи распознавания болезни Альцгеймера с языковыми признаками на основе сквозной кросс-валидации LOSO (LOSO-CV) из того же набора данных.

Таблица 1. Сравнение результатов экспериментов с базовыми показателями на основе задачи текстовой классификации

Table 1. Comparison of experimental results with baseline indicators based on the text classification task

Набор данных	Исследователь	Классификатор	Метод оценки	Точность, %
Ad_speech	Luz S. [12]	LDA	LOSO-CV	77,0
	Статьи разных авторов	Случайный лес	LOSO-CV	85,2
			K-Fold Cross Validation	87,6
	Бутстреп-выборка	87,3		
Haulcy R. [13]	SVM	LOSO-CV	83,3	

GRU является вариантом рекуррентной нейронной сети (RNN), который для контроля потока информации использует два механизма управления – сброс и обновление. Благодаря этому механизму GRU способен захватывать зависимости в данных временных рядов, что делает его особенно эффективным при моделировании долгосрочных последовательностей. По сравнению с LSTM (рекуррентной нейросетью с долгой краткосрочной памятью), GRU может в некоторых случаях достигать аналогичной или даже лучшей производительности с меньшим количеством параметров и более высокой скоростью обучения. Модель GRU использовалась в [11] для выполнения задач классификации речевых данных при болезни Альцгеймера.

Алгоритмы и эксперименты при распознавании болезни Паркинсона

Публичные наборы данных были собраны у 188 пациентов с болезнью Паркинсона (у 107 мужчин и 81 женщины) в возрасте от 33 до 87 лет в неврологическом отделении медицинского факультета Стамбульского университета Джеррахпаша [14]. Контрольная группа состояла из 64 здоровых людей (23 мужчин и 41 женщины) в возрасте от 41 до 82 лет. Во время

сбора данных микрофон был настроен на частоту 44,1 кГц, и от каждого участника трижды записывалось устойчивое произношение гласной «а».

После очистки и предобработки данных для каждой голосовой записи авторы [15] извлекли 21 базовый признак (пять вариантов джиттера, шесть вариантов шиммера, пять параметров основной частоты, два параметра гармоничности, один признак энтропии плотности периода рецидива, один признак анализа флуктуаций, устраненных от тренда, и один признак энтропии периода основного тона), 11 временно-частотных признаков (три параметра интенсивности, четыре частоты формант и четыре характеристики полосы пропускания), 84 признака мел-кепстральных коэффициентов (MFCC), 182 признака на основе вейвлет-преобразования, 22 признака голосовых связок (три признака соотношения голосовых связок, шесть признаков возбуждения голосовых связок шумом, семь признаков соотношения возбуждения голосовых связок и шесть признаков на основе эмпирического модального разложения) и 432 признака вейвлет-преобразования с регулируемым Q-фактором. Набор данных с признаками был нормализован, разделен на тренировочные и тестовые наборы в соотношении 9:1. Тренировочные наборы данных были обучены и протестированы с использованием пятикратной кросс-валидации с повторением пять раз. Тестовые наборы использовались для финальной проверки результатов.

В [15] для выполнения задачи классификации голосовых данных пациентов с болезнью Паркинсона применялись алгоритмы KNN, случайного леса и байесовской нейронной сети. Результаты диагностики болезни Паркинсона, приведенные в [15], были сопоставлены с полученными результатами других исследователей (табл. 2).

Таблица 2. Сопоставление результатов диагностики болезни Паркинсона, полученных различными исследователями

Table 2. Comparison of Parkinson's disease diagnostic results obtained by different researchers

Набор данных	Исследователь	Метод исследования	Точность, %
Pd_speech	Sakar C. O. [14]	SVM (RBF)	86
		SVM (линейное)	83
		Многослойный перцептрон	84
	Статьи разных авторов	KNN	94
		Случайный лес	88
		Байесовская нейронная сеть	74

По результатам, приведенным в табл. 2, очевидно, что алгоритм KNN на том же наборе данных имеет большую точность распознавания болезни Паркинсона – 94 %.

Заключение

1. Экспериментальные результаты, полученные с использованием алгоритмов машинного обучения случайного леса и KNN на базе нейронной сети с управляемым рекуррентным звеном, указывают на то, что применение этих технологий может повысить точность диагностики неврологических заболеваний (например, болезнью Альцгеймера и Паркинсона) по сравнению с традиционными методами, основанными на медицинском анамнезе и клинических наблюдениях.

2. В задачах IT-диагностики применение алгоритмов случайного леса и KNN позволило достичь уровня точности распознавания для болезнью Альцгеймера и Паркинсона соответственно 87,6 и 94,0 %.

3. В дальнейших исследованиях необходимо провести разработку подсистем IT-диагностики болезнью Альцгеймера и Паркинсона с внедрением их в лечебных организациях для проведения клинических испытаний.

Список литературы

1. Raghavendra, U. Artificial Intelligence Techniques for Automated Diagnosis of Neurological Disorders / U. Raghavendra, U. R. Acharya, H. Adeli // *European Neurology*. 2019. Vol. 82, No 1–3. P. 41–64.
2. Armstrong, M. J. Diagnosis and Treatment of Parkinson Disease: A Review / M. J. Armstrong, S. O. Michael // *Jama*. 2020. Vol. 323, No 6. P. 548–560.
3. Early Diagnosis of Parkinson's Disease / G. Becker [et al.] // *Journal of Neurology*. 2002. Vol. 249. P. iii40–iii48.

4. Agarwal, A. Prediction of Parkinson's Disease Using Speech Signal with Extreme Learning Machine / A. Agarwal, S. Chandrayan, S. S. Sahu // 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques. P. 3776–3779.
5. Blahuta, J. An Expert System Based on Using Artificial Neural Network and Region-Based Image Processing to Recognition Substantia Nigra and Atherosclerotic Plaques in B-Images: A Prospective Study / J. Blahuta, T. Soukup, J. Martinu // Advances in Computational Intelligence, 14th International Work-Conference on Artificial Neural Networks, Cadiz, Spain, June 14–16, 2017, Part I. Cadiz, Spain: Springer International Publ. P. 236–245.
6. Convolution Neural Networks and Self-Attention Learners for Alzheimer Dementia Diagnosis from Brain MRI / P. Carcagni [et al.] // Sensors. 2023. Vol. 23, No 3.
7. SpeechFormer⁺⁺: A Hierarchical Efficient Framework for Paralinguistic Speech Processing / W. Chen [et al.] // arXiv:2302.14638v1. 2023. Vol. 31. P. 775–788.
8. Using the Outputs of Different Automatic Speech Recognition Paradigms for Acoustic- and BERT-Based Alzheimer's Dementia Detection Through Spontaneous Speech / Y. Pan [et al.] // Interspeech. 2021. P. 3810–3814.
9. A Scoping Review of Mathematical Models Covering Alzheimer's Disease Progression / S. Moravveji [et al.] // Frontiers in Neuroinformatics. 2024. Vol. 18.
10. Вишняков, Ю. А. Использование машинного обучения для распознавания болезни Альцгеймера на основе транскрипционной информации / Ю. А. Вишняков, Юй Чу Юэ // Доклады БГУИР. 2023. Т. 21, № 6. С. 106–112. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-6-106-112>.
11. Vishniakou, U. A. Technology of Neurological Disease Recognition Using Gated Recurrent Unite Neural Network and Internet of Things / U. A. Vishniakou, YiWei Xia, Chuyue Yu // OSTES Research Papers Collection. Minsk: Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023. P. 241–246.
12. Alzheimer's Dementia Recognition Through Spontaneous Speech: The ADReSS Challenge / S. Luz [et al.] // arXiv:2004.06833. 2004.
13. Haulcy, R. Classifying Alzheimer's Disease Using Audio and Text-Based Representations of Speech / R. Haulcy, J. Glass // Frontiers in Psychology. 2021. Vol. 11.
14. A Comparative Analysis of Speech Signal Processing Algorithms for Parkinson's Disease Classification and the Use of the Tunable Q-factor Wavelet Transform / C. O. Sakar [et al.] // Applied Soft Computing. 2019. Vol. 74. P. 255–263.
15. Вишняков, В. А. IT-диагностика болезни Паркинсона на основе анализа голосовых маркеров и машинного обучения / В. А. Вишняков, Ивэй Ся // Доклады БГУИР. 2023. Т. 21, № 3. С. 102–110. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-3-102-110>.

References

1. Raghavendra U., Acharya U. R., Adeli H. (2019) Artificial Intelligence Techniques for Automated Diagnosis of Neurological Disorders. *European Neurology*. 82 (1–3), 41–64.
2. Armstrong M. J., Michael S. O. (2020) Diagnosis and Treatment of Parkinson Disease: A Review. *Jama*. 323 (6), 548–560.
3. Becker G., Müller A., Braune S., Büttner T., Benecke R., Greulich W., et al. (2002) Early Diagnosis of Parkinson's Disease. *Journal of Neurology*. 249, iii40–iii48.
4. Agarwal A., Chandrayan S., Sahu S. S. (2016) Prediction of Parkinson's Disease Using Speech Signal with Extreme Learning Machine. *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques*. 3776–3779.
5. Blahuta J., Soukup T., Martinu J. (2017) An Expert System Based on Using Artificial Neural Network and Region-Based Image Processing to Recognition Substantia Nigra and Atherosclerotic Plaques in B-Images: A Prospective Study. *Advances in Computational Intelligence, 14th International Work-Conference on Artificial Neural Networks, Cadiz, Spain, June 14–16, Part I*. Springer International Publ. 236–245.
6. Carcagni P., Leo M., Del Coco M., Distante C., De Salve A. (2023) Convolution Neural Networks and Self-Attention Learners for Alzheimer Dementia Diagnosis from brain MRI. *Sensors*. 23 (3).
7. Chen W., Xing X., Xu X., Pang J., Du L. (2023) SpeechFormer⁺⁺: A Hierarchical Efficient Framework for Paralinguistic Speech Processing. *arXiv:2302.14638v1*. 31, 775–788.
8. Pan Y., Mirheidari B., Harris J. M., Thompson J. C., Jones M., Snowden J. S., et al. (2021) Using the Outputs of Different Automatic Speech Recognition Paradigms for Acoustic- and BERT-Based Alzheimer's Dementia Detection Through Spontaneous Speech. *Interspeech*. 3810–3814.
9. Moravveji S., Doyon N., Mashregi J., Duchesne S. (2024) A Scoping Review of Mathematical Models Covering Alzheimer's Disease Progression. *Frontiers in Neuroinformatics*. 18.
10. Vishniakou U. A., Yu Chu Yue (2023) Using Machine Learning for Recognition of Alzheimer's Disease Based on Transcription Information. *Doklady BGUIR*. 21 (6), 106–112. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-6-106-112>.

11. Vishniakou U. A., YiWei Xia, Chuyue Yu (2023) Technology of Neurological Disease Recognition Using Gated Recurrent Unite Neural Network and Internet of Things. *OSTES Research Papers Collection*. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 241–246.
12. Luz S., Haider F., de la Fuente S., Fromm D., MacWhinney B. (2004) Alzheimer’s Dementia Recognition Through Spontaneous Speech: The ADReSS Challenge. *arXiv:2004.06833*.
13. Haulcy R., Glass J. (2021) Classifying Alzheimer’s Disease Using Audio and Text-Based Representations of Speech. *Frontiers in Psychology*. 11.
14. Sakar C. O., Serbes G., Gunduz A., Tunc H. C., Nizam H., Sakar B. E., et al. (2019) A Comparative Analysis of Speech Signal Processing Algorithms for Parkinson’s Disease Classification and the Use of the Tunable Q-factor Wavelet Transform. *Applied Soft Computing*. 74, 255–263.
15. Vishniakou U. A., YiWei Xia (2023) IT Diagnostics of Parkinson’s Disease Based on the Analysis of Voice Markers and Machine Learning. *Doklady BGUIR*. 21 (3), 102–110. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-3-102-110>.

Вклад авторов

Вишняков В. А. осуществил постановку задачи для проведения исследований, подготовил рукопись статьи.

Ся И. В. выполнил исследования по распознаванию болезни Паркинсона.

Юй Ч. Ю. выполнила исследования по распознаванию болезни Альцгеймера.

Authors’ contribution

Vishniakou U. A. carried out the formulation of the task for conducting research, prepared the manuscript of the article.

Xia Y. W. performed research on the recognition of Parkinson’s disease.

Yu Ch. Y. performed research on the recognition of Alzheimer’s disease.

Сведения об авторах

Вишняков В. А., д-р техн. наук, проф каф. инфокоммуникационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР)

Ся И. В., асп. каф. инфокоммуникационных технологий, БГУИР

Юй Ч. Ю., асп. каф. инфокоммуникационных технологий, БГУИР

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 44 486-71-82
E-mail: vish@bsuir.by
Вишняков Владимир Анатольевич

Information about the authors

Vishniakou U. A., Dr. of Sci. (Tech.), Professor at the Department of Infocommunication Technologies, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR)

Xia Y. W., Postgraduate at the Department of Infocommunication Technologies, BSUIR

Yu Ch. Y., Postgraduate at the Department of Infocommunication Technologies, BSUIR

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 44 486-71-82
E-mail: vish@bsuir.by
Vishniakou Uladzimir Anatol’evich