

## НЕЙРОННАЯ СЕТЬ В РАСПОЗНАНИИ ХРИПОВ ДЫХАТЕЛЬНОГО ПАТТЕРНА

*В статье рассматривается способ решения задачи распознавания акустического феномена в дыхательном паттерне на примере распознавания влажного хрипа с использованием нейронной сети прямого распространения, обучаемой методом обратного распространения ошибки. Приводятся пример нейронной сети для решения указанной задачи и результаты её практического применения, как альтернативы других методов распознавания образов.*

*Ключевые слова: дыхательный паттерн, влажные хрипы, нейронная сеть, обратное распространение ошибки, распознавание образов.*

A.E. APIKOVA

Kharkov national university of radio electronics

### NEURAL NETWORK IN THE RECOGNITION WHEEZING BREATHING PATTERN

*Abstract — In the article the method of solving the problem of recognition of the acoustic phenomenon in the respiratory pattern recognition on the example crackles with the use of a neural network of direct distribution, trained by backpropagation. We give an example of a neural network to solve this problem, and the results of its practical application, as an alternative to other methods of pattern recognition.*

*Keywords: breathing pattern, crackles, a neural network, back-propagation errors, recognition of images.*

**Постановка проблемы:** Вопрос распознавания акустического сигнала в дыхательном паттерне для автоматизации аускультативного процесса дыхательной системы человека является актуальным в данное время. Несмотря на то, что сейчас существует множество технических решений вопроса, задача высокоточной идентификации акустической информации в медицине стоит остро, так как существующие решения имеют недостатки. В частности к таким недостаткам относятся невысокая точность распознавания данных и проблема искажения сигнала при необходимости его передачи в работе телемедицины.

Перспективным направлением в решении задачи идентификации акустических данных в медицине является задача распознавания патологических шумов в дыхательном паттерне. Наиболее приемлемым вариантом решения поставленной задачи будет применение искусственных нейронных сетей [1].

В настоящее время, в области распознавания акустических феноменов дыхательного паттерна применяется способ Vibration Response Imaging. Методика предназначена для неинвазивного вибрационного обследования дыхательной системы пациента и поиска патологических шумов. Анализ полученных сигналов состоит в автоматическом распознавании сухих и влажных хрипов [2].

Указанная методика имеет недостатки в области идентификации и представления данных для проведения диагностики. Имеется лишь два критерия патологических шумов: влажные и сухие хрипы. Отображаемая информация даёт общую картину о распространении воспалительных процессов в дыхательной системе.

Для решения перечисленных проблем целесообразно использовать нейронную сеть при идентификации шумов, организованную на базе комплекса для диагностики пневмоний [3]. Способ распознавания посредством НС предложен как альтернативный автокорреляционной функции.

**Анализ литературы:** Конкретно в сфере распознавания акустических сигналов имеются значительные успехи. Но работа в данном направлении ведётся преимущественно в области распознавания человеческой речи. При этом на данный момент не существует программ распознавания акустических данных эквивалентных по качеству при любых условиях человеческим способностям идентифицировать принадлежность звука [1]. Хотя существуют различные подходы к выделению информативных составляющих речевых сигналов [2].

Такие, зарекомендовавшие себя в диагностике бронхолегочных заболеваний, методики как Vibration Response Imaging (VRI – технология вибрационной диагностики и динамической визуализации легких) [3] и бронхофонография [4] делают упор на анализ амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) спектра дыхательных шумов. При этом задача распознавания шума ложится на врача по АЧХ акустического сигнала.

Простейшим вариантом распознавания шумов в дыхательном паттерне является применение автокорреляционной функции (АКФ) [5]. В данном случае речь идёт о диагностике пневмоний методом пассивной эхолокации [6]. Поскольку АКФ предусматривает сравнение двух сигналов на похожесть, то при большом объёме информации её применения может оказаться недостаточно, так как акустические сигналы дыхательного паттерна не всегда соответствуют определённому эталону. Такое несоответствие обусловлено анатомическими особенностями разных возрастных групп пациентов. И то, что может казаться патологическим шумом в дыхании, на самом деле может быть нормой для другой возрастной группы, например, пуэрильное дыхание у новорожденных. Оно характеризуется жёстким вдохом и неслышным выдохом по причине маленьких размеров дыхательных путей [7, 8].

Так же для идентификации акустических сигналов можно применить метод динамического

программирования [9]. Метод заключается в разбиении основной задачи на более мелкие подзадачи и их последовательное решение. Недостатками метода является то, что он решает каждую подзадачу только один раз, далее решение запоминается и используется далее без проведения повторных вычислений. Алгоритмы, используемые в рамках динамического программирования, объединены лишь общей идеей, но в каждом конкретном случае должны формироваться применительно к условиям конкретной задачи, требуют большого количества вычислительных ресурсов.

Кроме этого, используется метод градиентного спуска для решения поставленной задачи [10]. По сравнению с методом динамического программирования использование метода градиентного спуска требует меньше вычислительных ресурсов, однако не гарантирует оптимальной траектории. Также существует проблема конца траектории – где в общем случае траектория заканчивается не в конкретной точке, а упирается в границы. Это означает, что при сравнительном анализе сигнала с базой выполняется только частичное сравнение.

Из-за указанных недостатков перечисленные способы не могут рекомендоваться для идентификации патологических шумов в акустическом сигнале дыхательного паттерна.

Для того чтобы избежать недостатков вышеперечисленных способов распознавания сигналов, и усовершенствовать акустические методы диагностики бронхолегочных заболеваний следует применить для распознавания сигналов нейронную сеть (НС). Этот метод даёт ряд преимуществ:

- Нейронные сети имеют возможность решать задачи в которых неизвестны закономерности развития ситуации и зависимости между входными и выходными данными.
- Имеют устойчивость к шумам во входных данных, что позволяет игнорировать не относящиеся к дыхательному паттерну звуки, например, голос пациента или кардиальные шумы, при этом нейронная сеть сама определит неинформативные составляющие сигнала и отбросит их.
- Обладают адаптивностью к изменению окружающей среды. Для работы в нестационарной среде, где статистика меняется с течением времени, могут использоваться нейронные сети, переключающиеся в реальном времени.
- Нейронные сети имеют сверхвысокое быстродействие за счёт массового параллелизма обработки информации.
- Отказоустойчивы и их производительность не падает в неблагоприятных условиях [11].

**Цель статьи:** Целью работы является введение в диагностическую систему [6, 12] метода идентификации акустических патологических шумов, вызванных бронхолегочными заболеваниями, улучшения показателей точности их распознавания, ускорение обработки больших массивов данных.

**Материалы и методы.** Рассмотрим вариант решения задачи построения и применения нейронной сети, выполняющей функцию распознавания влажного хрипа. Для примера работы нейронной сети используем акустическую запись дыхательного паттерна, содержащего влажные среднепузырчатые хрипы. Запись получена посредством устройства для реализации способа диагностики пневмоний [5, 6]. Для влажных среднепузырчатых хрипов характерен частотный диапазон для незвучных хрипов 180 – 355 Гц, для звучных 355 – 710 Гц [7]. Звук напоминает лопающиеся пузырьки воздуха в жидкости при продувании его сквозь очень тонкую соломинку. К такому эффекту приводит наличие жидкости в бронхах среднего размера или в мелких полостях.

При экспериментальном анализе аудиосигнала (рис. 1), содержащего влажный хрип определена длительность полезного сигнала (рис. 2, *a*).

Как видно на рис. 2, длительность полезной составляющей сигнала, содержащей влажный хрип, равняется 1 с. Длительность же всего акустического сигнала дыхательного паттерна составляет 24 с (рис. 1).

Для оцифровки аналогового сигнала дыхательного паттерна используем частоту дискретизации 11025 Гц. Такая частота позволяет уменьшить поток аудиоданных, избегая при этом потерь полезных составляющих.

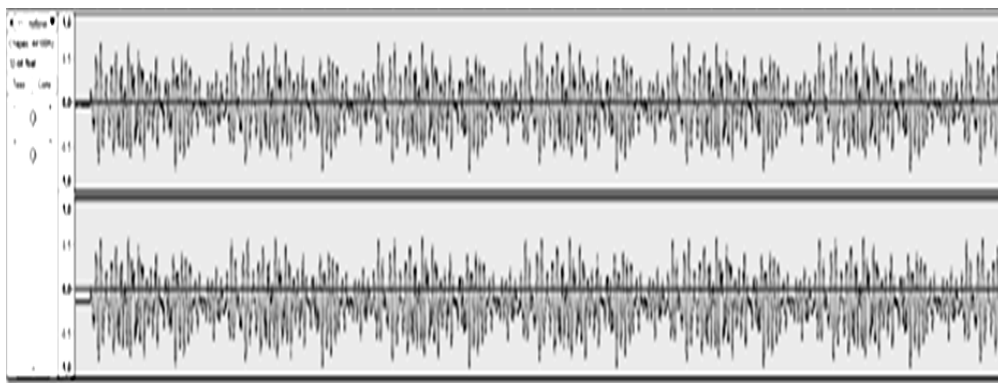


Рис. 1. Временной график сигнала дыхательного паттерна, содержащего влажные среднепузырчатые хрипы (пример одной из рассматриваемых записей)

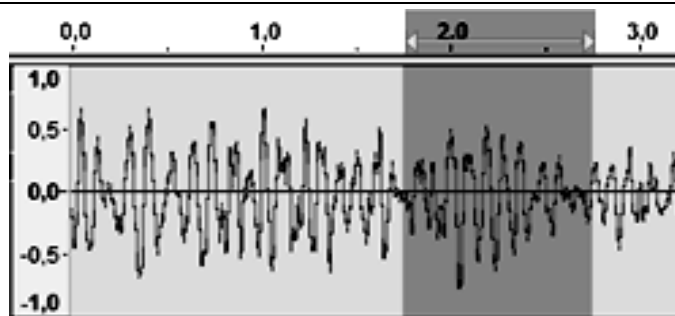


Рис. 2. Влажный среднепузырчатый хрип из рис. 1 на временной диаграмме (выделенная область)

Оцифрованный сигнал разобьём на фреймы. Каждую секунду исследуемого участка разделим на 20 фреймов. В свою очередь, каждый фрейм будет содержать 512 отсчётов. При наличии недостающих отсчётов в исходном сигнале происходит заполнение нулями.

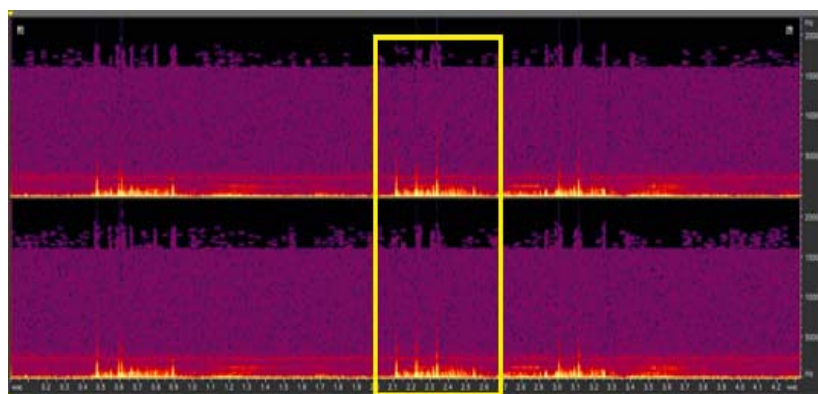


Рис. 3. Спектр сигнала с влажным среднепузырчатым хрипом из рис. 1 (выделенная область)

Для входных данных в обучении нейронной сети используем результаты преобразования Фурье для каждого отдельного фрейма. Этот способ позволяет проводить анализ сигнала не только в частотной области, но и во временной, разделением исследуемого сигнала.

**Результаты исследования.** Для решения поставленной задачи, целесообразно выбрать топологию нейронной сети в соответствии имеющимися условиями. Для некоторых задач уже существуют оптимальные варианты конфигурации сетей, для других же задач, имеющих уникальные особенности, необходимо синтезировать новую конфигурацию НС.

На рис. 4 указана топология НС для решения задачи распознавания в дыхательном паттерне единственного акустического феномена – влажного среднепузырчатого хрипа. Так как количество выходных нейронов должно соответствовать количеству распознаваемых объектов, то в выходном слое НС присутствует только один нейрон. В данном случае выходное значение нейрона в используемой НС находится в диапазоне от 0 до 1, что соответствует условиям задачи.

После определения топологии НС необходимо выбрать алгоритм обучения. В данном случае обучение происходило с учителем с обратным распространением ошибки [14]. При этом для нейронной сети предоставлялись попарно вектора входных и выходных данных. В процессе такой работы вычислялась ошибка и выполнялась настройка весов НС. Данная процедура выполнялась до достижения минимального значения ошибки.

После того, как нейронная сеть "запомнила" образ сигнала, который является шумом, можно приступить непосредственно к распознаванию среднепузырчатого хрипа в самом дыхательном паттерне.

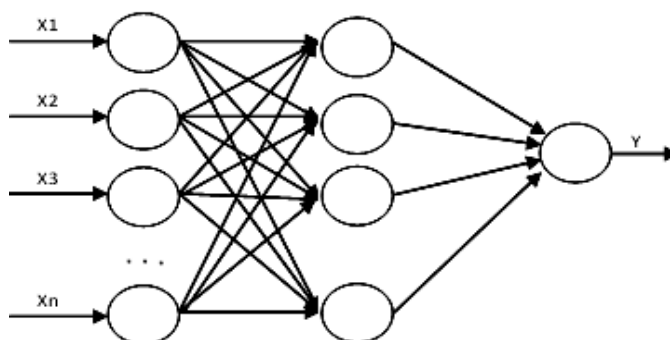


Рис. 4. Структура используемой нейронной сети

Среднепузырчатый хрип представлен временной диаграммой на рис. 2. Процесс распознавания указанного сигнала можно условно разделить на три этапа. На первом этапе сигнал преобразуется в последовательность векторов признаков или акустических векторов, извлекаемых через фиксированные промежутки времени. В данном случае сигнал, представленный на рис. 1, был преобразован в спектр Фурье. На втором этапе спектр сигнала сравнивается с эталоном, который был внесен в память нейронной сети при обучении и вычисляются меры соответствия. На третьем этапе эти меры соответствия используются для временного выравнивания последовательностей векторов признаков с последовательностями эталонов. Временное выравнивание используется для компенсации изменений в скорости дыхания пациента при получении паттернов.

После проведения всех описанных этапов выбирается сигнал, для которого мера соответствия максимальна. Полученные результаты распознавания среднепузырчатого влажного хрипа в различных вариантах дыхательного паттерна показаны в таблице.

Таблица

**Распознавание влажного среднепузырчатого хрипа в записях дыхательных паттернов**

№	Акустический сигнал, представляемый для сравнения с эталоном посредством НС	Процент правильных распознаний
1	Акустический сигнал, содержащий влажные среднепузырчатые хрипы (8 различных записей, содержащих влажные среднепузырчатые хрипы)	Обнаружено полное сходство

Как видно из таблицы, правильное распознавание сигнала происходит во всех исследуемых сигналах.

**Выводы.** При решении задачи был применён стандартный вариант однослойного перцептрона, который показал высокий процент распознавания влажного мелкопузырчатого хрипа в дыхательном паттерне. Сигналы, которые не были опознаны со стопроцентной вероятностью, имеют похожесть спектра на спектр эталона. Это связано с тем, что используемые сигналы принадлежат разным возрастным группам с разным объёмом поражения дыхательной системы.

В качестве общего вывода из проделанной работы можно рекомендовать введение нейронных сетей в диагностические аускультативные комплексы. Это позволит увеличить точность диагностики бронхолегочных заболеваний, ускорит производительность всей диагностической автоматической системы за счёт обработки больших массивов данных.

Для наибольшей функциональности в диагностических аускультативных комплексах рекомендуется использование нейронных сетей различных архитектур, в зависимости от задач и объёмов информации.

### Литература

1. Jain L.C. Fusion of Neural Networks, Fuzzy Systems and Genetic Algorithms: Industrial Applications / Lakhmi C. Jain, N.M. Martin. – CRC Press LLC, 1999. – 297 p.
2. Ле Н.В. Распознавание речи на основе искусственных нейронных сетей / Н. Ле, Д.П. Панченко // Технические науки в России и за рубежом: материалы междунар. науч. конф. (г. Москва, май 2011 г.). – М.: Ваш полиграфический партнер, 2011. – С. 8-11.
3. Виниток Ю.Л. Новая методика неинвазивного обследования лёгких на основе применения Vibration Response Imaging / Ю.Л.Виниток, К.Э.Гулицкий, Г.Б.Зеленин [электронный ресурс] // Пульмонология. 2009. № 2.: <http://www.pulmonology.ru/magazine/archive/2009/845/>
4. Гусейнов А.А. Акустический (бронхофонографический) контроль качества лечения больных бронхиальной астмой / А.А. Гусейнов [электронный ресурс] // Лечащий врач, #02/11.: <http://www.lvrach.ru/2011/02/#>
5. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов / Л.Е. Варакин // М.: "Сов. радио", 1978, 34 с. С. 25
6. Пат. 98929 Украина МПК А61В7/04, Н04R1/46 Способ диагностики пневмоний / Апикова А.Е., Федотов Д.О., Клименко В.А.; собственник Харьковский национальный университет радиоэлектроники. – № u 201413072; зав. 05.12.14; опубл. 12.05.2015 Бюл. №9.
7. Катилов А.В. Дискуссионные вопросы методики оценки аускультации лёгких у детей / А.В. Катилов, С.В. Зайков, Д.В. Дмитриев // Дитячий лікар, 2011, №5(12), с. 19-26
8. Капитан Т.В. Пропедевтика детских болезней с уходом за детьми / Т.В. Капитан. – 3-е изд., доп. – М.: МЕДпресс-информ, 2007. – 704 с. – С.231
9. Винцюк Т.К. Распознавание слов устной речи методами динамического программирования / Т.К. Винцюк // Кибернетика, 1968, №1. – с. 15-22
10. Туркин В.Н. Распознавание речевых образов с использованием метода градиентного спуска / В.Н. Туркин // Автомат. Распознавание слуховых образов: Тез. Докл. На 13 Всесоюзн. Семинаре АРСО-13, Новосибирск, 1984. – С. 120-121.
11. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс = Neural Networks: A Comprehensive Foundation. – М.: "Вильямс", 2006. – 1104 с.
12. Пат. 99946 Украина МПК А61В5/08, А61В5/0205, А61В7/04, Н04R1/46 Прибор для диагностики пневмоний / Апикова А.Е., Федотов Д.О., Яновская Я.К.; собственник Харьковский национальный

університет радіоелектроніки. – № у 201501461; заявл. 19.02.15; опубл. 25.06.15, Бюл. №12.

13. Вовк И. В. Шумы дыхания человека: объективизация аускультативных признаков / И.В. Вовк, В.Т. Гринченко, С.Л. Дахнов и др./ Акустический вестник. 1999. Том 2. № 3. – С. 11-32.

14. Галушка В.В. Формирование обучающей выборки при использовании искусственных нейронных сетей в задачах поиска ошибок без данных / В.В. Галушка, В.А. Фатхи [электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2013. №2.: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1597>

#### References

1. Jain, L.C., Martin M.N. (1999) "Fusion of Neural Networks, Fuzzy Systems and Genetic Algorithms: Industrial Applications", CRC Press LLC, 297p.
2. Le, N.V., Panchenko, D.P. (2011), "Speech recognition based on artificial neural networks", Engineering in Russia and abroad: Materials of international scientific conferences ["Распознавание речи на основе искусственных нейронных сетей", Технические науки в России и за рубежом: материалы международных научных конференций], Moscow, pp. 8-11.
3. Vinstok, J.L., Gulicky, K.E., Zelenin, G.B., "The new method of non-invasive examination of the lungs on the basis of Vibration Response Imaging" [Novaia metodika neinvazivnogo obsledovaniya legkih na osnove primeneniya Vibration Response Imaging], available at: <http://www.pulmonology.ru/magazine/archive/2009/845/>
4. Gusejnov, A.A., "Acoustic ( bronhofonografichesky ) quality control of the treatment of patients with bronchial asthma" [Akusticheskiy [bronhofonograficheskiy] kontrol kachestva lecheniya bolnyh bronhialnoy astmoy], available at: <http://www.lvrach.ru/2011/02/#>
5. Varakin, L.E. (1978), "The theory of signal systems" [Teoriya sistem signalov], Sov. Radio, Moscow, pp. 34.
6. Apikova A.E., Fedotov D.A., Klimenko V.A. (2015) A method for diagnosing pneumonia, Ukraine, patent 98929.
7. Katilov, A.V., Zajkov, S.V., Dmitriev, D.V. (2011), "Discussion questions methodology for assessing lung auscultation in children" [Diskussionnye voprosy metodiki ocenki auskultacii legkih u detei], Children's doctor, pp. 19-26.
8. Kapitan T.V.(2007) "Propaedeutics childhood diseases childcare" [Propedevtika detskikh boleznej s uhodom za detmi], 3rd ed., Ext, Moscow, MEDpress-inform, 704 p.
9. Vincuk, T.K. (1968) "Recognition of speech words of dynamic programming methods" [Raspoznanie slov ustnoj reschi metodami dinamicheskogo programmirovaniya], Cybernetics, #1 15-22 pp.
10. Turkin, V.N. (1984) "Speech recognition using the steepest descent method" [Raspoznanie rechevix obrazov s ispolzovaniem metoda gradientnogo spuska], Machine. Recognition of auditory images: Tez. Dokl. At the 13th All-Union. Seminar APCO-13, Novosibirsk, pp. 120-121.
11. Hajkin, S (2006) "Neural Networks: A Comprehensive Foundation", Moscow, "Williams", 1104 p.
12. Apikova A.E., Fedotov D.A., Yanovskaya E.A., (2015) The device for the diagnosis of pneumonia, Ukraine, patent 99946
13. Vovk I.V. (1999) "Noises human breathing: objectification auscultation signs" [Shumi likhaniya cheloveka: ob'ektivizaciya auskultativnih priznakov], Acoustic Gazette, volume 2, #3, 11-32 pp.
14. Galushka V.V. "Formation of the training sample by using artificial neural networks in troubleshooting problems without data" [Formirovanie obuchaushej viborki pri ispolzovanii iskustvennih nejronnih setej v zadachah poiska oshibok bez dannih], available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1597>

Рецензія/Peer review : 8.5.2016 р. Надрукована/Printed : 5.7.2016 р.  
Стаття рецензована редакційною колегією