

Визуализация звуков легких на основе многоуровневого вейвлет-анализа

Ю.Г. Горшков¹

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия

¹ ORCID: 0000-0003-0483-4603, y.gorshkov@npo-echelon.ru

Аннотация

В статье представлены результаты исследований в области высокоточной визуализации звуков легких на основе разработанной автором технологии многоуровневого вейвлет-анализа акустических биомедицинских сигналов. Выполнен обзор публикаций по исследованию легочных звуков за последние годы. На основе анализа записей отечественных и зарубежных баз данных приводятся параметры, на основании которых респираторные звуки следует отнести к сложным нестационарным сигналам. В то же время, практически во всех применяемых фоноспирографических комплексах и программных средствах анализа легочных звуков спектральные характеристики вычисляются с использованием преобразования Фурье или БПФ, что приводит к ошибкам при диагностике заболеваний.

Рассмотрены возможности разработанных программных средства высокоточного анализа звуков легких WaveView-MWA. Проведена обработка 40 записей двух учебных пособий «Аускультация легких» с использованием высокоточных алгоритмов вейвлет-анализа. Представлены примеры полученных акустосонограмм и частотно-временных характеристик легочных звуков при различных заболеваниях. Показано, что акустосонограммы многоуровневого вейвлет-анализа обладают повышенным частотно-временным разрешением по сравнению с Фурье-спектрограммами, обеспечивают наглядную высокоточную визуализацию звуков легких.

Ключевые слова: анализ звуков легких, фоноспирограмма, многоуровневый вейвлет-анализ, акустосонограмма.

1. Введение

Респираторные заболевания являются третьей по значимости причиной смерти во всем мире. По мере роста респираторных заболеваний, все больший интерес вызывают методы, основанные на аудиоанализе звуков легких. Компьютерные методы анализа обладают значительным потенциалом при исследовании дыхательных звуков для обнаружения проблем в дыхательных путях. Аудиоанализ упрощает своевременную диагностику респираторных заболеваний на ранних стадиях респираторной дисфункции [1].

Аускультация до настоящего времени остаётся одним из известных и широко используемых в клинической практике методов исследования при заболеваниях лёгких. Одним из недостатков слуховой оценки акустических сигналов легких является то, что она субъективна. Кроме того, полученные последние данные отечественных и зарубежных исследователей показывают, что звуки легких являются сложными нестационарными сигналами. Исследования последних лет показывают, что спектральные компоненты звуков и дыхательных шумов легких занимают область частот от 3-5 Гц до 5000 Гц. Акустический же слуховой тракт человека физически не воспринимает низкочастотную область сигналов.

Из анализа значений частотных границ звуков легких следует, что основное дыхание (бронхиальное и везикулярное) занимает достаточно широкий частотный диапазон. Это вызывает главное затруднение при анализе звуков дыхания. В большинстве случаев достаточно сложно различить побочные дыхательные шумы на фоне основного дыхания из-за перекрытия частотных диапазонов и небольшой разницы в амплитудах. Определено, что практически во всех применяемых фоноспирографических комплексах и программных средствах анализа звуков легких вычисляются спектрограммы с использованием преобразования Фурье или быстрого преобразования Фурье (БПФ). В то же время доказано, что Фурье-анализ при исследовании сложных нестационарных сигналов, к которым относятся звуки и дыхательные шумы легких, приводит к значительным погрешностям при их частотно-временном представлении.

2.1 Получение фоноспирограмм

При получении фоноспирограмм или спектрограмм на основе преобразования Фурье вычисляются спектры мощности, отображаемые в виде графических зависимостей уровней спектральных составляющих от частоты. Такой способ обработки позволяет определять уровень и частотный диапазон наиболее выраженных аускультативных признаков, содержащихся в звуках дыхания, однако имеет ряд ограничений. К их числу относится усреднение сигналов по времени и уровню, что нивелирует низкоуровневые аускультативные признаки. По сути, это обычная спектрограмма, которую в респираторной акустике принято называть фоноспирограмма (фоно-звук; спиро-дыхание; грамма-рисунок). Фоноспирограмма является трехмерной спектрограммой звуков дыхания, отображает «мгновенные спектры» во времени в полихромной цветовой гамме.

Исследования звуков дыхания, проведенные на комплексе «КоРА-ОЗМ1» показали, что трансформация звуковых образов в визуальные позволяет объективизировать аускультативные признаки, характеризующие конкретный вид бронхолегочного заболевания. На рис. 1, 2 представлены примеры фоноспирограмм, полученных на основе преобразования Фурье [12].

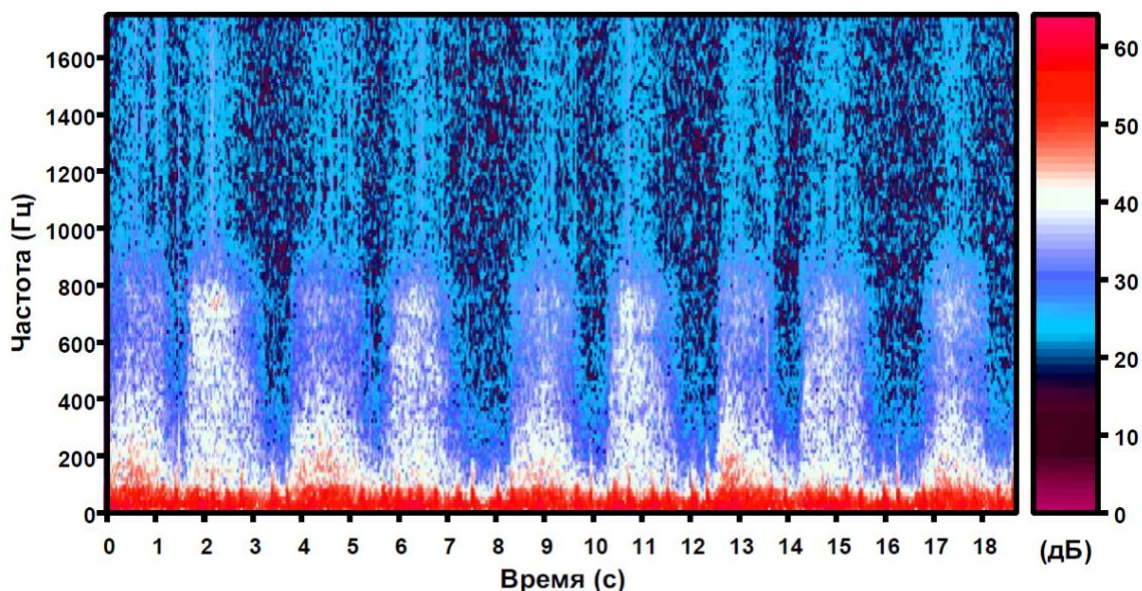


Рис. 1. Фоноспирограмма больного с жестким дыханием и влажными хрипами

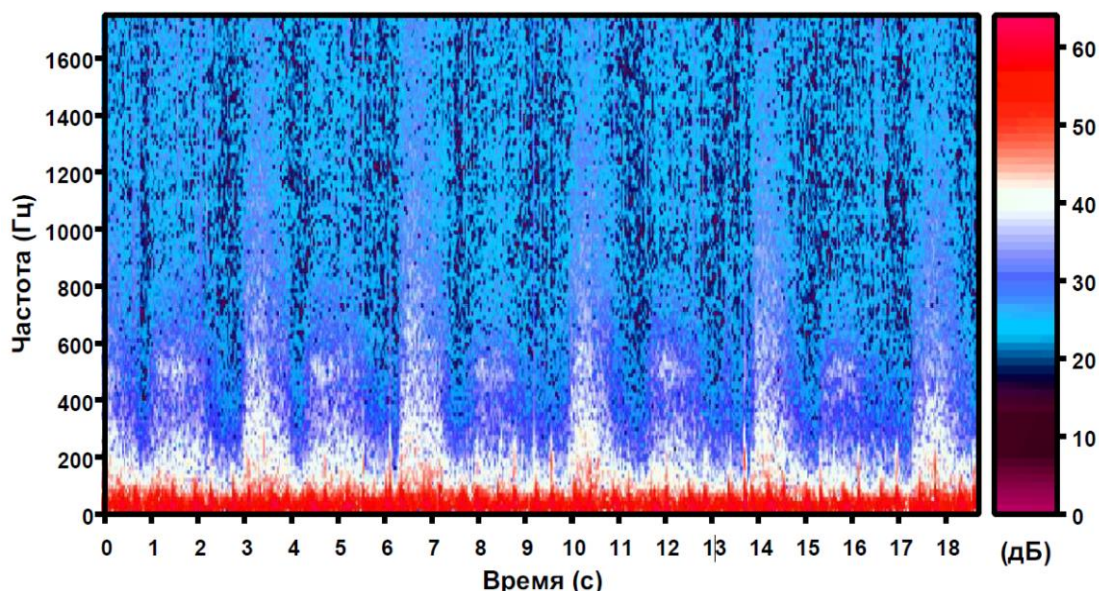


Рис. 2. Фоноспирограмма звуков дыхания с хрипами в виде «облачков» и отдельными широкополосными влажными хрипами

Из анализа фоноспирограмм (спектрограмм) рис. 1, 2 следует, что низкочастотный диапазон легочных звуков 3-200 Гц представлен с недостаточным уровнем частотно-временного разрешения.

2.2 Получение изображений «видимый звук» легких на основе вейвлет-преобразования

Исследования в области компьютерного анализа звуков легких с использованием вейвлет-технологий автором проводятся с 2013 года [15-18]. Разработаны программные средства WaveView-MWA высокоточной обработки и визуализации акустических биомедицинских сигналов с использованием многоуровневого вейвлет-анализа (МВА) [19-23]. Достигнуто наглядное представление полученной совокупности частотно-временных параметров анализируемых сигналов – акустосонограмм (изображений «видимый звук» или вейвлет-сонограмм). Тестирование WaveView-MWA показало возможность выделения и визуализации легочных звуков малого уровня до -60 дБ.

Выполнена обработка аудио-файлов 40 записей двух учебных пособий «Аускультация легких», представленных на российских интернет-сайтах [24, 25]. Получены акустосонограммы звуков разделов «Основные дыхательные шумы. Дополнительные дыхательные шумы». Проведен сравнительный анализ спектрограмм, вычисленных компьютерным фоноспирографическим комплексом на основе Фурье-преобразования и акустосонограмм - частотно-временных представлений сигнала с использованием многоуровневого вейвлет-анализа.

2.2.1 Примеры акустосонограмм легочных звуков

На рис. 3 – 7 представлены 5 из 40 акустосонограмм, полученных в результате обработки аудио-файлов записей двух учебных пособий «Аускультация легких» [24, 25].

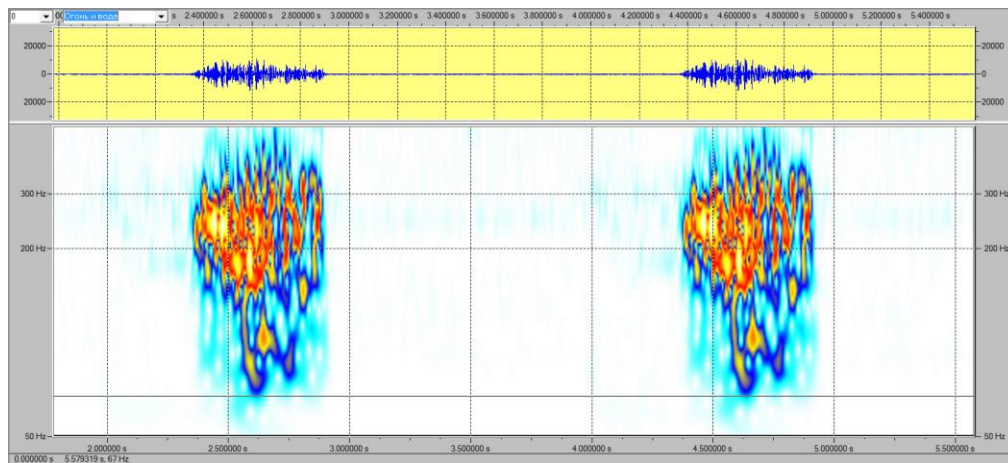


Рис. 3. Акустосонограмма звука везикулярного дыхания. Частотный диапазон 67-600 Гц

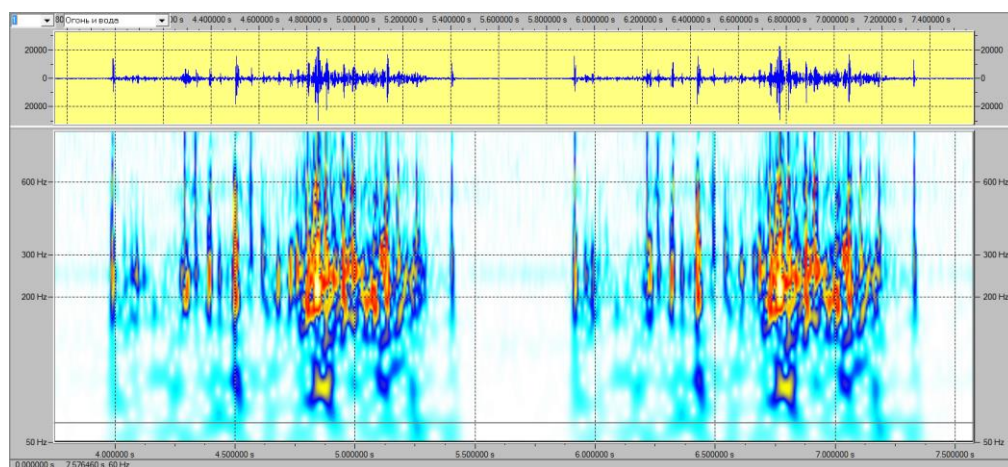


Рис. 4. Акустосонограмма звука среднепузырчатых влажных хрипов. Частотный диапазон 60-900 Гц

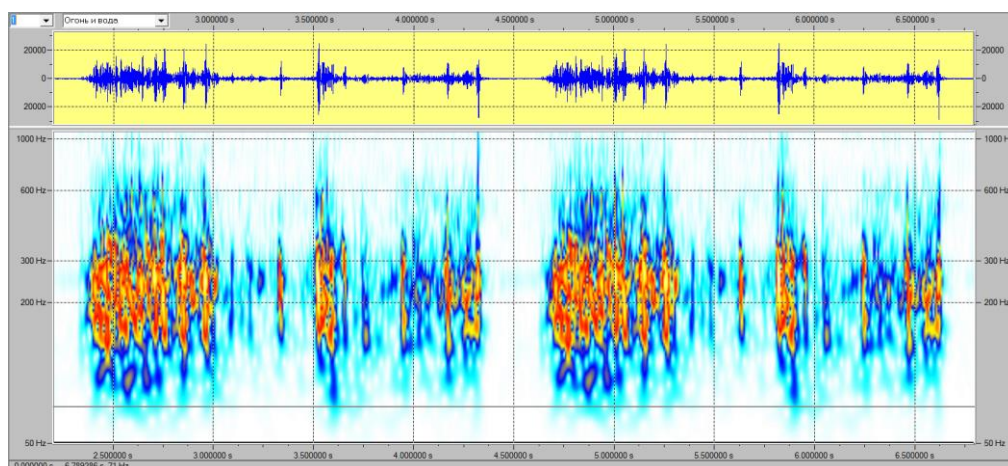


Рис. 5. Акустосонограмма звука грубый шум трения плевры больного на фоне везикулярного дыхания. Частотный диапазон 71-800 Гц

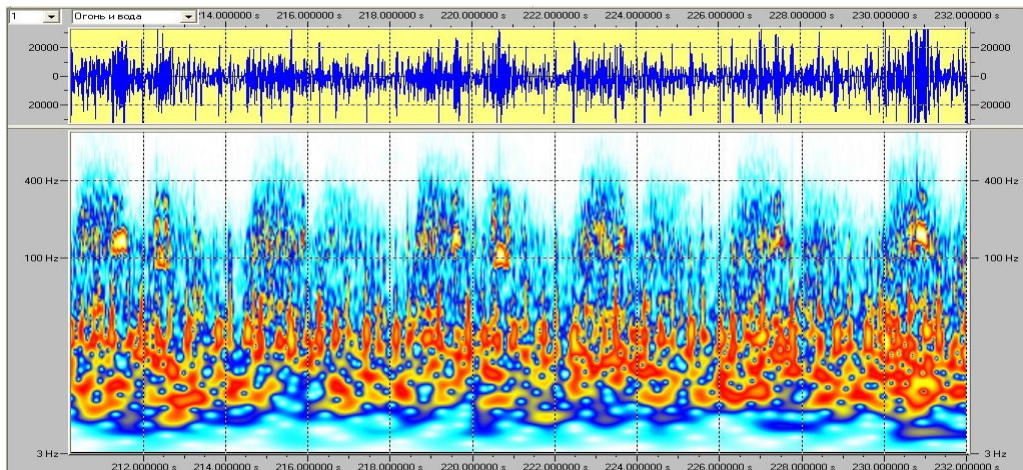


Рис. 6. Акустосонограмма сухих басовых хрипов. Наиболее часто выслушиваются у пациентов с бронхитом. Частотный диапазон 4-800 Гц

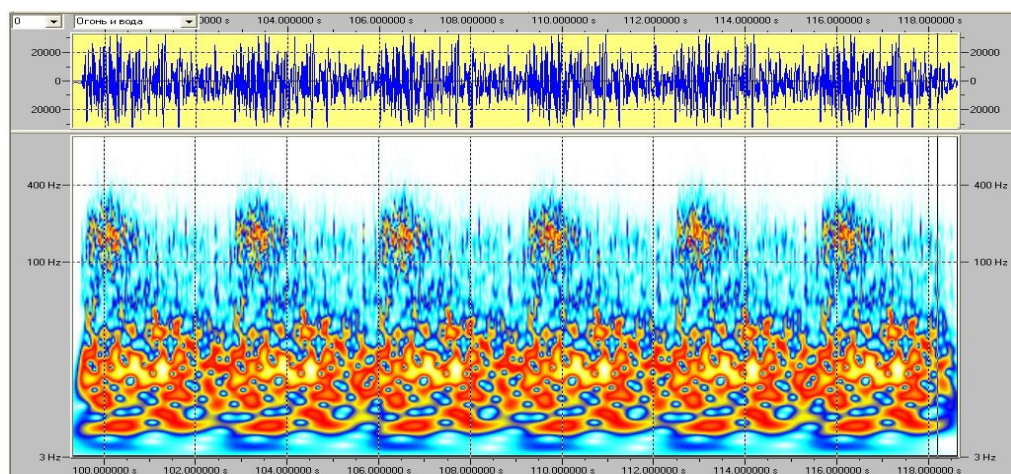


Рис. 7. Акустосонограмма пуэрильного дыхания, зарегистрированного у ребенка 4-х лет. Частотный диапазон 3-500 Гц

2.2.2 Сравнение частотно-временного разрешения акустосонограмм и фоноспирограмм

На рис. 8 представлена Фурье-спектрограмма (фоноспирограмма) звука пуэрильного дыхания грудного ребенка [24]. Наблюдается неудовлетворительное частотно-временное разрешение звуков легких в низкочастотной области.

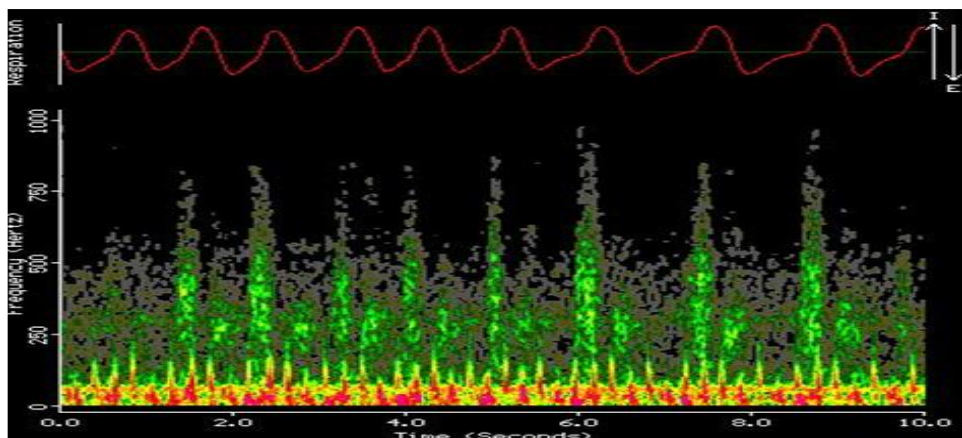


Рис. 8. Фурье-спектрограмма (фоноспирограмма) звука пуэрильного дыхания грудного ребенка

На рис. 9 представлена акустосонограмма того же самого пуэрильного звука дыхания грудного ребенка, полученная с использованием программных средств WaveView-MWA. Наблюдается высокое частотно-временное разрешение звуков легких в заданном диапазоне частот. В низкочастотной области 45-120 Гц, синхронно с дыханием, видна повторяющаяся структура тонов сердца.

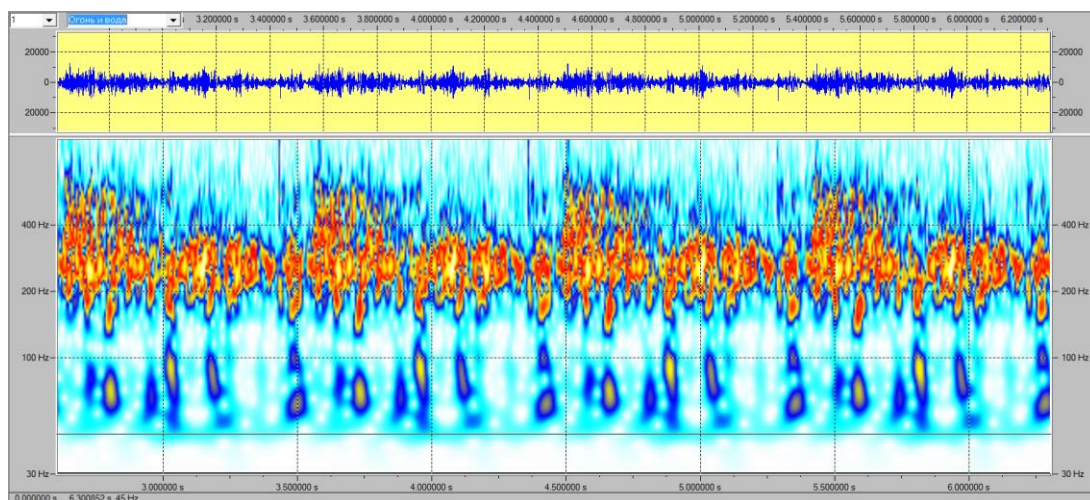


Рис. 9. Акустосонограмма звука пуэрильного дыхания грудного ребенка

Из анализа фоноспирограмм (рис. 1, 2, 8) и акустосонограмм (рис. 7, 9) легочных звуков следует, что акустосонограммы или вейвлет-сонограммы обладают повышенным частотно-временным разрешением по сравнению с Фурье-спектрограммами. При обработке 40 записей учебных пособий [24, 25] показано, что акустосонограммы позволяют получить «тонкую» частотно-временную структуру звуков и дыхательных шумов легких, недоступную спектрограммам. Акустосонограммы, кроме того, представляют наглядную объективную информацию низкочастотных звуковых компонент легких, неслышимых при аускультации и не отображаемых на Фурье-спектрограммах. Необходимым условием построения акустосонограмм высокого частотно-временного разрешения является выполнение требований точной регистрации исследуемых звуков [26]. Полученные акустосонограммы оформлены в виде дополнений к учебным пособиям «Аускультация легких» Дальневосточного Государственного Медицинского Университета (ДГМУ) Министерства здравоохранения РФ и сайта «Медицинские книги и атласы».

3. Заключение

Разработанные программные средства многоуровневого вейвлет-анализа WaveView-MWA позволяют получать частотно-временные описания – акустосонограммы звуков и дыхательных шумов легких с разрешением, значительно превосходящим Фурье-спектрограммы компьютерных фоноспирографических комплексов. Акустосонограммы представляют наглядную объективную и полную информацию, что, при удаленной консультации врача, позволяет в домашних условиях оценить состояние легких пациентов и вовремя обнаружить признаки пневмонии при коронавирусной инфекции, а также других болезней.

Предложенная технология визуализации легочных звуков подтвердила ее высокую эффективность при обработке записей отечественных учебных пособий «Аускультация легких» и международной базы данных по респираторным звукам ICVNI 2017.

Апробация разработанной технологии визуализации звуков легких на практике, при диагностике выявления у пациентов синдрома обструктивного апноэ сна (СОАС), проведена в отделении сомнологии ФГБУ НМИЦ оториноларингологии ФМБА России [27]. Позволяет с минимальными затратами выполнять обследование по выявлению первичных признаков СОАС как в условиях стационара, так и в домашних условиях.

Может представлять интерес для разработчиков систем телемедицины дистанционного мониторинга состояния здоровья пациентов, находящихся на амбулаторном лечении с признаками новой коронавирусной инфекции COVID-19, состояние которых позволяет наблюдать их на дому.

Список литературы

1. Mukherjee, H., Sreerama, P., Dhar, A. et al. Automatic Lung Health Screening Using Respiratory Sounds. *J Med Syst* 45, 19 (2021) (<https://doi.org/10.1007/s10916-020-01681-9>).
2. Morten Gronnesby. Automated Lung Sound Analysis. Faculty of Science and Technology Department of Computer Science. INF-3981, Master Thesis in Computer Science, Spring 2016, 63 p.
3. Rocha BM, Pessoa D, Marques A, Carvalho P, Paiva RP. Automatic Classification of Adventitious Respiratory Sounds: A (Un) Solved Problem? *Sensors*. 2021, 21(1):57 (<https://doi.org/10.3390/s21010057>).
4. B.M. Rocha et al. A respiratory sound database for the development of automated classification. *Precision Medicine Powered by pHealth and Connected Health*, 2018, pp. 33–37.
5. ICBHI 2017 Challenge. <https://bhichallenge.med.auth.gr/sites/default>.
6. Горшков Ю.Г. Новые компьютерные средства мониторинга функционального состояния человека. Материалы VI Всероссийской конференции «Функциональная диагностика-2014», 28-30 мая 2014 г. С. 32-33.
7. M. Fraiwan, L. Fraiwan, B. Khassawneh, A. Ibnian. A dataset of lung sounds recorded from the chest wall using an electronic stethoscope. *Data in Brief*, 2021, vol. 35, pp. 106913.
8. Дьяченко А.И., Михайловская А.Н. Респираторная акустика (Обзор). Труды Института Общей Физики им. А.М. Прохорова, РАН. Лазерная и акустическая биомедицинская диагностика. Том 68. Москва. Наука, 2012. С. 136-181.
9. Arati Gurung, Carolyn G Scrafford, James M Tielsch, Orin S Levine, William Checkley. Computerized Lung Sound Analysis as diagnostic aid for the detection of abnormal lung sounds: a systematic review and meta-analysis. *Respir Med*. 2011 September, 105(9): 1396–1403.
10. Гринченко В.Т., Макаренко А.П., Макаренкова А.А. Компьютерная аускультация - новый метод объективизации характеристик звуков дыхания. *Клиническая информатика и Телемедицина*. 2010. Т. 6. Вып. 7. Компьютерная пневмография. С. 31-36.
11. R.M. Potdar, Nishi Shahnaj Haider. Removal of Heart Sound from Lung Sound using LabVIEW 8.6. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, vol. 2, Issue 3, May-Jun 2012, pp. 1313-1319.
12. Макаренкова А.А. Исследование и объективизация дополнительных звуков дыхания у больных хронической обструктивной болезнью легких. Институт гидромеханики НАН Украины, Киев. *Акустический вестник*. 2010. Том 13. № 3. С. 31-41.
13. Комар С.И. Аускультация легких и электронный акустический анализ респираторных шумов: Учебно-методическое пособие. Челябинск: Изд-во «Челябинская государственная медицинская академия», 2008, 34 с.
14. Фесечко В.О., Порева А.С., Данилов П.В. Методы цифровой обработки звуков легких. Кумулянтный анализ. Институт гидромеханики НАН Украины. Материалы трудов симпозиума по акустике «Консонанс-2011» 27-29 сентября 2011, Киев. С. 271-275.
15. Горшков Ю.Г., Парашин В.Б. Компьютерный анализ звуков легких с использованием вейвлет-преобразования // *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2013. № 10. С. 40–47.
16. Y.G. Gorshkov. Computerized Respiratory Sounds Analysis on the Basis of Multilevel Wavelet Transform // *Proceedings of the 40th International Lung Sounds Association Conference*. St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», 2015, pp. 27–28.

17. Горшков Ю.Г. Акустографическое исследование звуков сердца и легких // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. № 2. С. 16-21.
18. Горшков Ю.Г. Новая технология анализа звуков дыхания, храпа и форсированного выдоха. Материалы VIII научно-образовательного форума с международным участием «Медицинская диагностика - 2016» и X Юбилейного Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология - 2016» 24-26 мая 2016 г. Москва. Российский Электронный Журнал Лучевой Диагностики. Russian Electronic Journal of Radiology (REJR). Том 6. № 2. 2016. Приложение. С. 235.
19. Горшков Ю.Г., Каиндин А.М., Марков А.С., Цирлов В.Л. WaveView-MWA. Многоуровневый вейвлет-анализ речевых и акустических биомедицинских сигналов. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2017662094, 27.10.2017. Заявка № 2017619124 от 08.09.2017.
20. Горшков Ю.Г. Визуализация многоуровневого вейвлет-анализа фонограмм // Электронный журнал «Научная визуализация». Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ» № 2, том 7, квартал 2, 2015. С. 96-111.
21. Горшков Ю.Г. Визуализация звуков сердца // Электронный журнал «Научная визуализация». Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ» № 1, том 9, квартал 1, 2017. С. 97-111.
22. Горшков Ю.Г. Новые решения визуализации биомедицинских сигналов в системах телемедицины // Электронный журнал «Научная визуализация». Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ» № 2, том 11, квартал 2, 2019. С. 56-72, DOI: 10.26583/sv.11.2.05.
23. Горшков Ю.Г. Визуализация помех сети питания в телемедицинских системах мобильной электрокардиографии // Электронный журнал «Научная визуализация». Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ» № 1, том 13, квартал 1, 2021. С. 44-53, DOI: 10.26583/sv.13.1.04.
24. Учебное пособие «Аускультация легких. Основные дыхательные шумы. Дополнительные дыхательные шумы». Дальневосточный Государственный Медицинский Университет (ДГМУ) Министерства здравоохранения Р.Ф. <http://www.fesmu.ru/www2/PolTxt/U0006/ausc.pulm2/ausk.leg..htm>.
25. Учебное пособие «Аускультация легких». Медицинские книги и атласы. <http://medknigi.blogspot.com>.
26. Горшков Ю.Г. Обработка речевых и акустических биомедицинских сигналов на основе вейвлетов / Научное издание. М.: Радиотехника, 2017, 240 с.
27. Горшков Ю.Г., Захарьева Н.Н., Каиндин А.М., Коняев И.Д. Применение бесконтактных средств диагностики нарушений дыхания во сне с оценкой уровня эмоциональной напряженности. Материалы V Научно-практической конференции с международным участием «Клиническая сомнология» 28-30 ноября 2019 г. Москва. С. 18-19.

Visualization of Lung Sounds Based on Multilevel Wavelet Analysis

Y.G. Gorshkov¹

Bauman Moscow State Technical University, Russian Federation

¹ ORCID: 0000-0003-0483-4603, y.gorshkov@npo-echelon.ru

Abstract

This article presents results of research in the field of high-precision visualization of lung sounds based on the technology developed by the author for multilevel wavelet analysis of acoustic biomedical signals. A review of publications on the study of lung sounds in recent years has been made. Based on the analysis of records of domestic and foreign databases, parameters are given, on the basis of which respiratory sounds should be attributed to complex non-stationary signals. At the same time, in almost all used phonospirographic complexes and software tools for analyzing pulmonary sounds, spectral characteristics are calculated using the Fourier transform or FFT, which leads to errors in the diagnosis of diseases.

The possibilities of the developed software tool for high-precision analysis of the sounds of lungs WaveView-MWA are considered. 40 records of two textbooks «Auscultation of the lungs» were processed using high-precision wavelet analysis algorithms. Examples of obtained acoustosonograms and frequency-time characteristics of pulmonary sounds in various diseases are presented. It is shown that acoustosonograms of multilevel wavelet analysis have an increased time-frequency resolution compared to Fourier spectrograms and provide visual high-precision visualization of lung sounds.

Keywords: analysis of lung sounds, phonospirogram, multilevel wavelet analysis, acoustosonogram.

References

1. Mukherjee, H., Sreerama, P., Dhar, A. et al. Automatic Lung Health Screening Using Respiratory Sounds. *J Med Syst* 45, 19 (2021) (<https://doi.org/10.1007/s10916-020-01681-9>).
2. Morten Gronnesby. Automated Lung Sound Analysis. Faculty of Science and Technology Department of Computer Science. INF-3981, Master Thesis in Computer Science, Spring 2016, 63 p.
3. Rocha BM, Pessoa D, Marques A, Carvalho P, Paiva RP. Automatic Classification of Adventitious Respiratory Sounds: A (Un) Solved Problem? *Sensors*. 2021, 21(1):57 (<https://doi.org/10.3390/s21010057>).
4. B.M. Rocha et al. A respiratory sound database for the development of automated classification. *Precision Medicine Powered by pHealth and Connected Health*, 2018, pp. 33–37.
5. ICBHI 2017 Challenge. <https://bhichallenge.med.auth.gr/sites/default>.
6. Gorshkov Y.G. Novyye komp'yuternyye sredstva monitoringa funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka. *Materialy VI Vserossiyskoy konferentsii «Funktsional'naya diagnostika-2014»*, 28-30 maya 2014 g., pp. 32-33. [in Russian].
7. M. Fraiwan, L. Fraiwan, B. Khassawneh, A. Ibnian. A dataset of lung sounds recorded from the chest wall using an electronic stethoscope. *Data in Brief*, 2021, vol. 35, pp. 106913.
8. D'yachenko A.I., Mikhaylovskaya A.N. *Respiratornaya akustika (Obzor)*. Trudy Instituta Obshchey Fiziki im. A.M. Prokhorova, RAN. Lazernaya i akusticheskaya biomeditsinskaya diagnostika. Vol. 68. Moskva. Nauka, 2012, pp. 136-181. [in Russian].

9. Arati Gurung, Carolyn G Scrafford, James M Tielsch, Orin S Levine, William Checkley. Computerized Lung Sound Analysis as diagnostic aid for the detection of abnormal lung sounds: a systematic review and meta-analysis. *Respir Med.* 2011 September, 105(9): 1396–1403.
10. Grinchenko V.T., Makarenkov A.P., Makarenkova A.A. Komp'yuternaya auskul'tatsiya - novyy metod ob'yektivizatsii kharakteristik zvukov dykhaniya. *Klinicheskaya informatika i Telemeditsina.* 2010, vol. 6, № 7. Komp'yuternaya pnevmografiya. pp. 31-36. [in Russian].
11. R.M. Potdar, Nishi Shahnaj Haider. Removal of Heart Sound from Lung Sound using LabVIEW 8.6. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, vol. 2, Issue 3, May-Jun 2012, pp. 1313-1319.
12. Makarenkova A.A. Issledovaniye i ob'yektivizatsiya dopolnitel'nykh zvukov dykhaniya u bol'nykh khronicheskoy obstruktivnoy boleznyu legkikh. *Institut gidromekhaniki NAN Ukrainy, Kiyev. Akusticheskiy vestnik*, 2010, vol. 13, № 3, pp. 31-41. [in Russian].
13. Komar S.I. Auskul'tatsiya legkikh i elektronnyy akusticheskiy analiz respiratornykh shumov: Uchebno-metodicheskoye posobiye. Chelyabinsk: Izd-vo «Chelyabinskaya gosudarstvennaya meditsinskaya akademiya», 2008, 34 p. [in Russian].
14. Fesechko V.O., Poreva A.S., Danilov P.V. Metody tsifrovoy obrabotki zvukov legkikh. Kumulyantnyy analiz. *Institut gidromekhaniki NAN Ukrainy. Materialy trudov simpoziuma po akustike «Konsonans-2011» 27-29 sentyabrya 2011, Kiyev*, pp. 271-275. [in Russian].
15. Gorshkov Y.G., Parashin V.B. Komp'yuternyy analiz zvukov legkikh s ispol'zovaniyem veyvlet-preobrazovaniya // *Biomeditsinskaya radioelektronika*, 2013, № 10, pp. 40–47. [in Russian].
16. Y.G. Gorshkov. Computerized Respiratory Sounds Analysis on the Basis of Multilevel Wavelet Transform // *Proceedings of the 40th International Lung Sounds Association Conference. St. Petersburg Electrotechnical University «LETI»*, 2015, pp. 27–28.
17. Gorshkov Y.G. Akustograficheskoye issledovaniye zvukov serdtsa i legkikh // *Biomeditsinskaya radioelektronika*, 2016, № 2, pp. 16-21. [in Russian].
18. Gorshkov Y.G. Novaya tekhnologiya analiza zvukov dykhaniya, khrapa i forsirovannogo vydokha. *Materialy VIII nauchno-obrazovatel'nogo foruma s mezhdunarodnym uchastiyem «Meditsinskaya diagnostika - 2016» i X Yubileynogo Vserossiyskogo natsional'nogo kongressa luchevykh diagnostov i terapevtov «Radiologiya - 2016» 24-26 maya 2016 g. Moskva. Rossiyskiy Elektronnyy Zhurnal Luchevoy Diagnostiki. Russian Electronic Journal of Radiology (REJR)*, 2016, vol. 6, № 2. Prilozheniye, p. 235. [in Russian].
19. Gorshkov Y.G., Kaingin A.M., Markov A.S., Tsirlov V.L. WaveView-MWA. Mnogourovnevy veyvlet-analiz rechevykh i akusticheskikh biomeditsinskikh signalov. Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM RU 2017662094, 27.10.2017. Zayavka № 2017619124 ot 08.09.2017. [in Russian].
20. Gorshkov Y.G. Vizualizatsiya mnogourovnevoogo veyvlet-analiza fonogramm // *Elektronnyy zhurnal «Nauchnaya vizualizatsiya»*. Natsional'nyy Issledovatel'skiy Yadernyy Universitet «MIFI» № 2, vol. 7, quarter 2, 2015. pp. 96-111. [in Russian].
21. Gorshkov Y.G. Vizualizatsiya zvukov serdtsa // *Elektronnyy zhurnal «Nauchnaya vizualizatsiya»*. Natsional'nyy Issledovatel'skiy Yadernyy Universitet «MIFI» № 1, vol. 9, quarter 1, 2017. pp. 97-111. [in Russian].
22. Gorshkov Y.G. Novyye resheniya vizualizatsii biomeditsinskikh signalov v sistemakh telemeditsiny // *Elektronnyy zhurnal «Nauchnaya vizualizatsiya»*. Natsional'nyy Issledovatel'skiy Yadernyy Universitet «MIFI» № 2, vol. 11, quarter 2, 2019. pp. 56-72, DOI: 10.26583/sv.11.2.05. [in Russian].
23. Gorshkov Y.G. Vizualizatsiya pomekh seti pitaniya v telemeditsinskikh sistemakh mobil'noy elektrokardiografii // *Elektronnyy zhurnal «Nauchnaya vizualizatsiya»*. Natsional'nyy Issledovatel'skiy Yadernyy Universitet «MIFI» № 1, vol. 13, quarter 1, 2021. pp. 44-53, DOI: 10.26583/sv.13.1.04. [in Russian].
24. Uchebnoye posobiye «Auskul'tatsiya legkikh. Osnovnyye dykhatel'nyye shumy. Dopolnitel'nyye dykhatel'nyye shumy». *Dal'nevostochnyy Gosudarstvennyy Meditsinskiy*

Universitet (DGMU) Ministerstva zdravookhraneniya R.F.
<http://www.fesmu.ru/www2/PolTxt/U0006/ausc.pulm2/ausk.leg..htm>. [in Russian].

25. Uchebnoye posobiye «Auskul'tatsiya legkikh». Meditsinskiye knigi i atlasyy. <http://medknigi.blogspot.com>. [in Russian].

26. Gorshkov Y.G. Obrabotka rechevykh i akusticheskikh biomeditsinskikh signalov na osnove veyvletov / Nauchnoye izdaniye. M.: Radiotekhnika, 2017, 240 p. [in Russian].

27. Gorshkov Y.G., Zakhar'yeva N.N., Kaindin A.M., Konyayev I.D. Primeneniye beskontaktnykh sredstv diagnostiki narusheniy dykhaniya vo sne s otsenkoy urovnya emotsional'noy napryazhennosti. Materialy V Nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem «Klinicheskaya somnologiya» 28-30 noyabrya 2019 g. Moskva. pp. 18-19.