

СТРУКТУРИРОВАННОСТЬ СИГНАЛОГРАММ И УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ ФРАКТАЛЬНОГО ПОДХОДА ПРИ СОЗДАНИИ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ФОНОСКОПИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

В.В. Журавель¹, О.В. Рыбальский², В.И. Соловьев³

¹ Государственный научно-исследовательский экспертно-криминалистический центр Министерства внутренних дел Украины,

ул. Большая Окружная, 4а, Киев, 03170, Украина; e-mail: fonoscopia@ukr.net

² Национальная академия внутренних дел,

пл. Соломенская, 1, Киев, 03035, Украина; e-mail: rybalsky_ol@mail.ru

³ Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля,
кв. Молодёжный, 20А, Луганск, 91034, Украина; e-mail: mettilyd@mail.ru

Рассмотрена задача построения комплекса методов и программного обеспечения проведения фоноскопической экспертизы, основанных на едином научном и методологическом подходе. Показана возможность построения такого комплекса инструментов на основе фрактального подхода.

Ключевые слова: экспертиза, цифровая фонограмма, цифровая видеogramма

Введение

Появление и широкое внедрение во все области человеческой деятельности информационных технологий привело к существенному расширению возможностей изготовления поддельных фонограмм и видеogramм фальсификаторами для достижения своих неблагоприятных целей.

С нашей точки зрения, наиболее опасны среди них две – создание фальсификатов для предоставления в следственные и судебные органы в качестве доказательной базы и предоставление фальшивок в СМИ или глобальную сеть для воздействия на общественное мнение.

Единственным противодействием таким проявлениям может быть фоноскопическая экспертиза. Однако ее проведение (да и само появление) также немислимо без использования информационных технологий. Это поясняется комплексом основных задач, решаемых такой экспертизой: идентификация диктора по физическим параметрам сигналов его речи; идентификация аппаратуры записи и проверка оригинальности и подлинности (отсутствие следов монтажа) фонограмм и видеogramм, представленных на экспертизу.

Но в настоящее время в оснащении экспертов, производящих такие экспертизы, отсутствует полный комплекс методических и аппаратно-программных инструментов, предназначенных для их проведения, построенных на основе единого научно-обоснованного методологического и теоретического подхода. При этом, учитывая значительно возросшее количество экспертиз и увеличение объемов экспертных исследований, также весьма актуальна задача автоматизации самого процесса экспертизы.

Цель статьи и постановка заданий

Цель настоящей работы – показать наличие единого научно-обоснованного методологического и теоретического подхода и обосновать возможность создания на его основе необходимого комплекса методических и аппаратно-программных инструментов проведения фоноскопической экспертизы.

Для достижения поставленной цели в работе решаются задачи:

- 1) Определение характерных структурных особенностей сигналов;
- 2) Выбор оптимального математического инструментария для выделения структурных составных частей сигналов;
- 3) Разработка специализированного программного обеспечения, реализующего предложенные методики экспертизы.

Основная часть

Опубликованные нами работы и разработанные и внедренные в практику специализированные программы и методики их применения при идентификации цифровой аппаратуры звукозаписи в экспертизе оригинальности цифровых фонограмм [1, 2], навели нас на мысль о возможности применения использованных при их создании методологии и научного подхода для создания аналогичных инструментов проведения экспертизы цифровых фотографий и видеозаписей.

Результаты исследований в этом направлении оказались весьма продуктивными и, в конечном итоге, привели к созданию программы проведения идентификационных исследований цифровой фотоаппаратуры и диагностики оригинальности цифровых фотографий [3].

В основе разработанных программных средств и методик их применения лежит тот факт, что все эти сигналы носят фрактальный характер. Проведенный структурный анализ, подтвержденный многочисленными экспериментами, показал, что существуют четкая взаимосвязь между паразитными параметрами аппаратуры записи и индивидуальными характеристиками сигналов, фиксируемыми на носителе в процессе записи, выражаемая в образовании в сигналах самоподобных структур. Поэтому фрактальный подход к идентифицирующим признакам, выделяемых из исследуемых цифровых фонограмм, цветных фотографий и видеограмм (далее сигналограмм) идеально, по нашему мнению, подходит для создания необходимого инструментария.

Проведя некоторые обобщения, авторы пришли к выводу, что этот же подход вполне применим к идентификационным исследованиям личности диктора по физическим параметрам сигналов его устной речи. Поэтому сейчас проводится ряд исследований, первые результаты которых оказались весьма обнадеживающими (см., например, [4]).

В основании предложенного подхода лежит факт наличия устойчивых повторяющихся структур разного масштаба, носящих индивидуальный характер, как в сигналах собственных шумов цифровой аппаратуры записи информации, так и в сигналах речи. Эту структурированность можно увидеть во временной области при рассмотрении речевых сигналов, как это показано, например, на рис. 1.

В наличии фрактальности сигналов речи легко убедиться, рассмотрев вейвлет-портреты звукового сигнала, записанного на цифровом диктофоне, показанные на рис. 2. На них явно проглядываются ветвления исследуемых речевых сигналов, что является основным признаком их фрактальности.

Известно, что вейвлет-анализ является оптимальным инструментом для выделения самоподобных и мультифрактальных структур [5].

Учитывая свойства сигналов речи, записанных в цифровой форме, и собственных шумов цифровой аппаратуры записи, можно было предположить, что комплексный вейвлет Морле наиболее подходит для выделения из них таких структур.

Во временной области представление вейвлет-функции Морле [6]

$$\psi(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} \left(e^{j\xi_0 t} - e^{-\frac{\xi_0^2}{2}} \right) e^{-\beta^2 t^2} = \pi^{-\frac{1}{4}} \left(e^{j\omega_c t} - e^{-\frac{\omega_c^2}{2}} \right) e^{-\frac{t^2}{2}}, \quad (1)$$

где

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{2}};$$

ω_c – частота гетеродинирования гауссиана (носитель).

Его частотное представление определяется преобразованием Фурье от (1) и записывается [7] как

$$\Psi(j\omega) = \sqrt{2}\pi^{-\frac{1}{4}} \left(e^{-\frac{(\omega-\omega_c)^2}{2}} - e^{-\frac{\omega^2}{2}} e^{-\frac{\omega_c^2}{2}} \right). \quad (2)$$

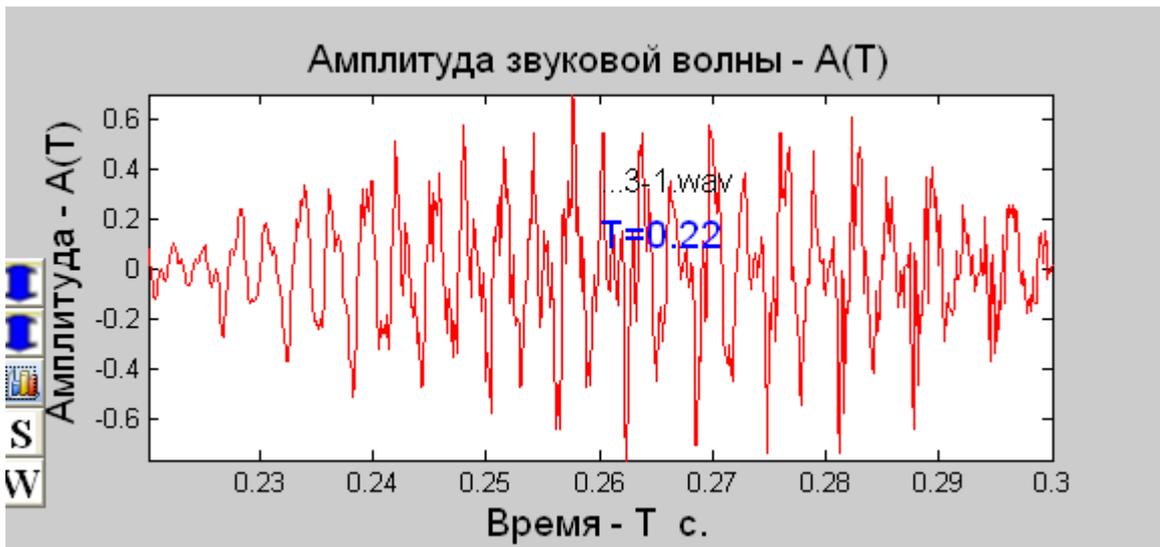
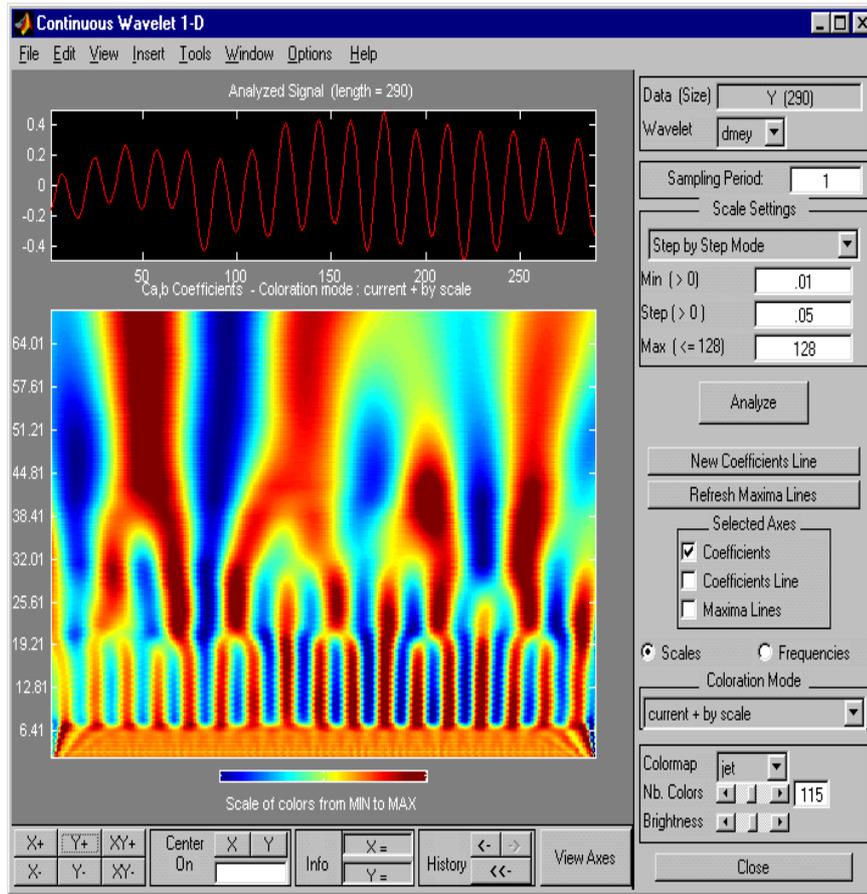
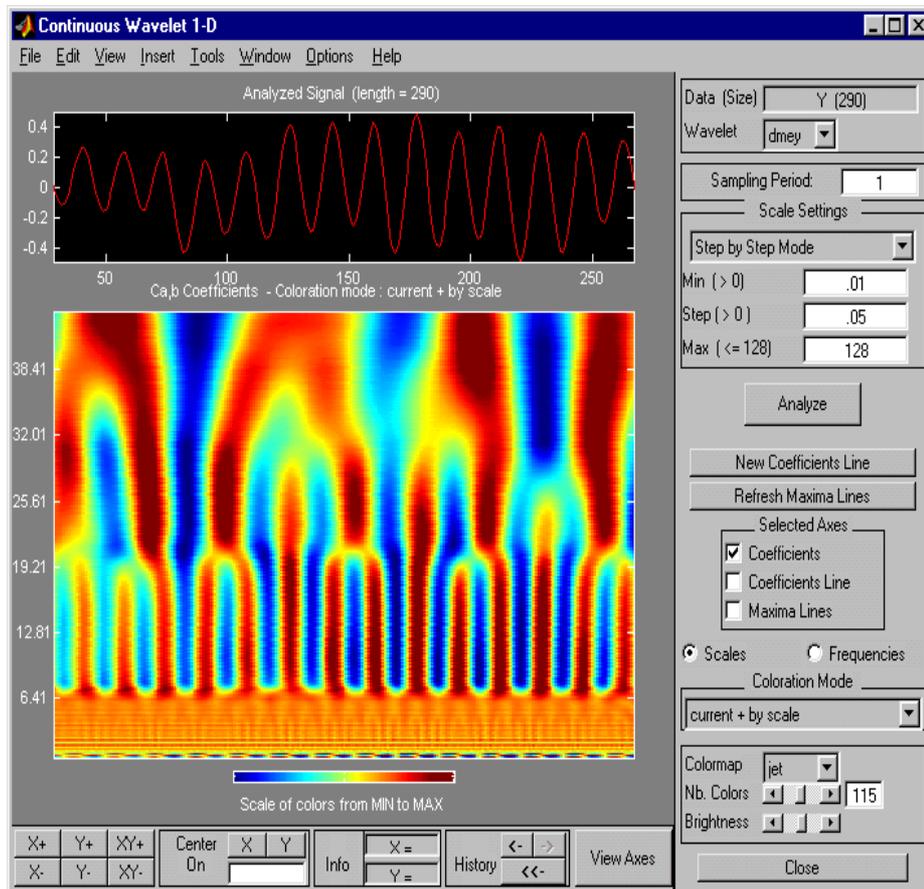


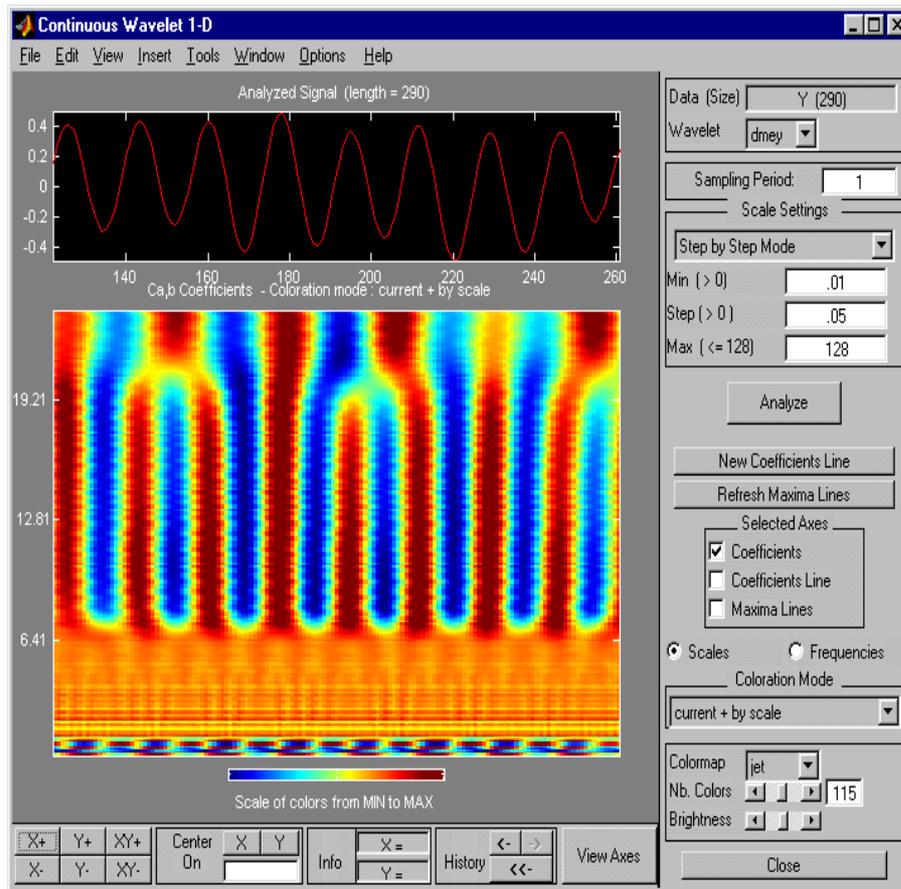
Рис. 1. График сигнала фрагмента речи



a



6



В

Рис. 2. Вейвлет-портрет модуля речевого сигнала, записанного и воспроизведенного при частоте дискретизации 8 кГц с 16-разрядной оцифровкой, полученный в программе *MathWorks MATLAB*: а – при малой детализации; б – при увеличении детализации; в – при последующем увеличении детализации

Этот вейвлет является гармоническим колебанием (носителем), промодулированным функцией Гаусса единичной ширины, и относится к так называемым прогрессивным вейвлетам. Так называют вейвлеты, спектр которых равен нулю для отрицательных значений пространственных частот. Они хорошо приспособлены для анализа процессов, подчиняющихся принципу причинности. Эти вейвлеты сохраняют направление движения времени и не создают паразитной интерференции между прошлым и будущим [8]. Поясняется это тем, что такие вейвлеты и, в частности, рассматриваемый нами вейвлет Морле, построены на гауссиане. Как известно, он обладает наилучшим соотношением разрешающей способности по частоте к разрешающей способности во времени (принцип неопределенности, т.е. невозможность одновременного определения мгновенной частоты сигнала и его значения в данный момент времени). Этими свойствами вейвлета Морле поясняется его теоретический выбор для решения рассматриваемых нами задач. Ранее, в работе [9] была экспериментально показана его оптимальность для вейвлет-анализа собственных шумов аппаратуры цифровой звукозаписи. В ряде последующих работ было показано, что особые свойства этого вейвлета наиболее пригодны для выделения из сигналов собственных шумов аппаратуры и сигналов речи самоподобных структур [3, 4, 10]. Поэтому при разработке программ для решения вышепоставленных задач экспертизы авторы использовали вейвлет Морле для выделения самоподобных структур.

При разработке программ необходимо решить ряд основных для них задач, например, задачу выделения пауз и автоматической сегментации речевого сигнала, задачу оптимизации выделения и учета самоподобных структур, задачу выделения основного тона и т.п. Большая часть этих задач на сегодня успешно решена (см., например, [10]).

Следует отметить, что при решении задачи выделения и учета самоподобных структур была использована идея минимального покрытия и индекса фрактальности, впервые предложенная в работе [8]. Их применение позволило, например, решить задачи выявления монтажа в паузах звукового сигнала (см. рис. 3) [10].

Однако при ее реализации потребовался ряд весьма существенных доработок и новых идей, связанных с нахождением, например, новых алгоритмов, обеспечивающих приемлемую вычислительную сложность проводимых расчетов. Но их рассмотрение не является предметом настоящей статьи.

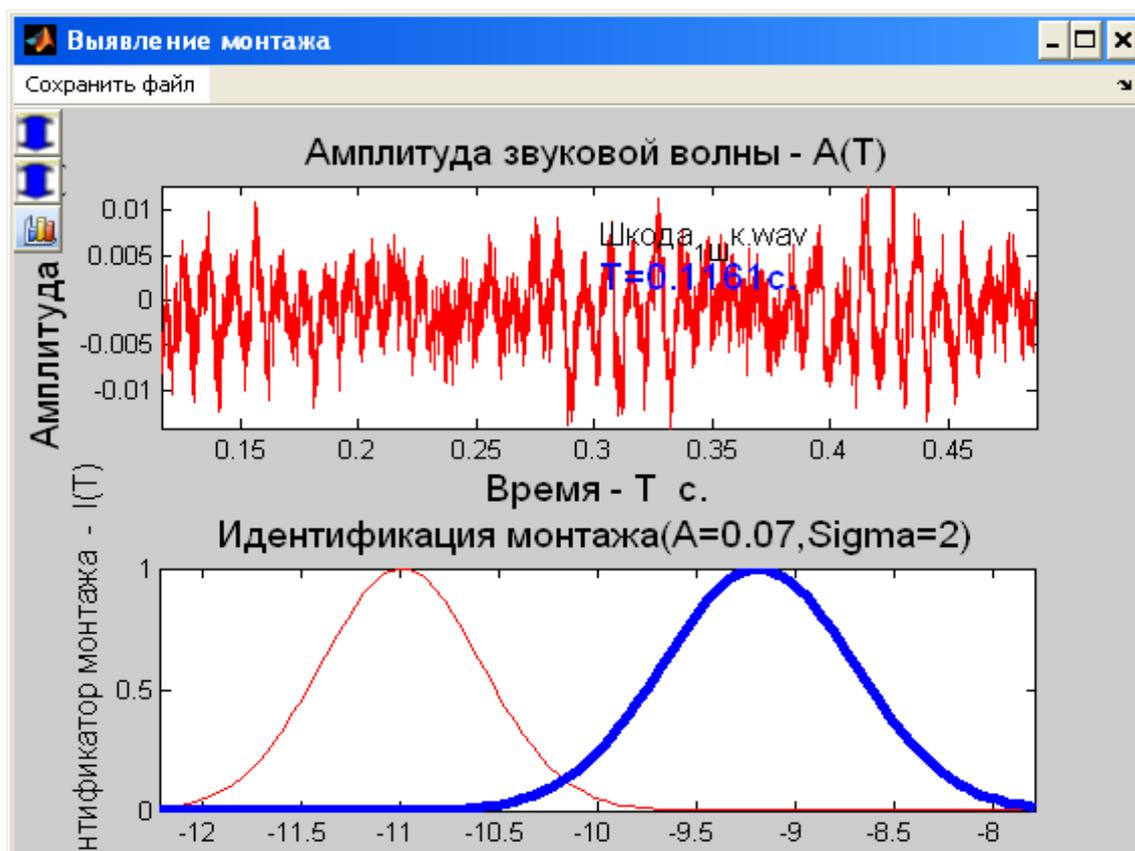


Рис. 3. Распределение среднего значения амплитуды звуковой волны (пауза с монтажом)

Разумеется, что все приведенные работы опираются не только на теоретические исследования, но и экспериментальные данные, полученные в результате сотен проведенных экспериментов. При этом для их проведения было разработано свое специализированное программное обеспечение, ставшее основой для разработанных и разрабатываемых программ и методик экспертизы. Пример использования такого программного обеспечения показан на рис. 4.

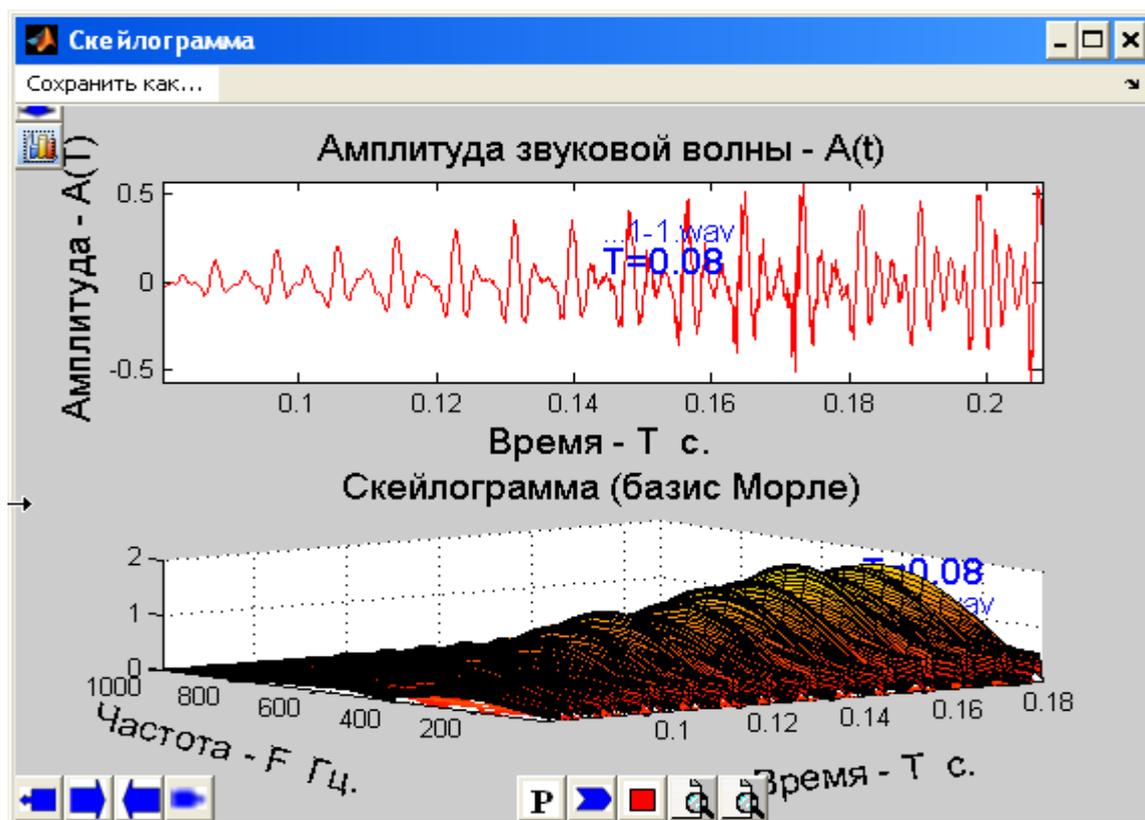


Рис. 4. Пример выявления и исследования самоподобных структур

Выводы

Таким образом, можно отметить, что в настоящее время созданы все теоретические и экспериментальные предпосылки для разработки аппаратно-программного комплекса на основе фрактального подхода, предназначенного для проведения фоноскопической экспертизы в полном объеме решаемых в ней задач.

Список литературы

1. Методика ідентифікаційних і діагностичних досліджень матеріалів та апаратури цифрового й аналогового звукозапису зі застосуванням програмного забезпечення «Фрактал» при проведенні експертиз матеріалів та засобів відео та звукозапису : наук.-метод. посіб. / О.В. Рыбальський, В.І. Соловйов, В.В. Журавель, Т.О. Татарнікова. — К. : ДУІКТ, 2013. — 75 с.
2. Соловьев, В.И. Идентификация аппаратуры аудиозаписи по статистическим характеристикам аудиофайлов / В.И. Соловьев // Реєстрація, зберігання і обробка даних. — 2013. — Том 15, № 1. — С. 59–70.
3. Рыбальский, О.В. Программа идентификации цифровой фото- и видеоаппаратуры и проверки оригинальности цифровых изображений / О.В. Рыбальский, В.И. Соловьев, Е.В. Белозеров // Вісник Київського національного університету ім. Т. Шевченка. Військово-спеціальні науки. — 2013. — Вип. 41. — С. 77–80.
4. Соловьев, В.И. Идентификация характеристик голоса на основе максимумов вейвлет-преобразования / В.И. Соловьев // Реєстрація, зберігання і обробка даних. — 2013. — Том 15, № 2. — С. 39–47.
5. Малла, С. Вэйвлеты в обработке сигналов = A wavelet tour of signal processing : учеб. пособие для вузов по специальности 010200 «Прикладная математика и информатика» и по

- направлению 510200 «Прикладна математика и информатика» / С. Малла ; пер. со второго англ. изд. Я.М. Жилейкина. — М. : Мир, 2005. — 671 с.
6. Геранін, В.О. Математичні аспекти хвильового аналізу [Текст] : навч. посібник з 16 лекцій: Для студ. вищих навч. закл. / В.О. Геранін [та ін] ; Національний технічний ун-т України «Київський політехнічний ін-т». — К. : ВПФ УкрІНТЕІ, 2001. — 160 с.
 7. Рыбальский, О.В. К вопросу о представлении вейвлет-функции Морле в частотной области / О.В. Рыбальский // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. — 2007. — № 5(111), Ч. 1. — С. 104–106.
 8. Старченко, Н.В. Локальный анализ хаотических временных рядов с помощью индекса фрактальности : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. физ.-мат. наук : спец. 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», 01.01.03 «Математическая физика» / Н.В. Старченко. — Москва, 2005. — 20 с.
 9. Рыбальский, О.В. Выявление признаков обработки цифровых фонограмм с помощью вейвлет-анализа сигналов / О.В. Рыбальский, Т.В. Мовчан, Л.Д. Писаренко, Ю.В. Путилов // Рестрація, зберігання і обробка даних. — 2002. — Том 4, № 3. — С. 89–103.
 10. Соловьев, В.И. Локализация следов обработки сигнала в задачах монтажа аудиозаписи / В.И. Соловьев, О.В. Рыбальский, В.К. Железняк // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. С, Фундаментальные науки. — 2013. — № 4. — С. 5–11

СТРУКТУРОВАНІСТЬ СИГНАЛОГРАМ ТА УНІВЕРСАЛЬНІСТЬ ФРАКТАЛЬНОГО ПІДХОДУ ПРИ СТВОРЕННІ ІНСТРУМЕНТАРНО ФОНОСКОПІЧНИХ ЕКСПЕРТИЗ

В.В. Журавель¹, О.В. Рыбальський², В.І. Соловйов³

¹ Державний науково-дослідний експертно-криміналістичний центр Міністерства внутрішніх справ України,

вул. Велика Окружна, 4а, Київ, 03170, Україна; e-mail: fonoscopia@ukr.net

² Національна академія внутрішніх справ,

пл. Солом'янська, 1, Київ-ДСП, 03035, Україна; e-mail: rybalsky_ol@mail.ru

³ Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, кв. Молодіжний, 20А, Луганськ, 91034, Україна; e-mail: mettilyd@mail.ru

Розглянуто завдання побудови комплексу методів і програмного забезпечення проведення фоновскопичної експертизи, заснованих на єдиному науковому і методологічному підході. Показана можливість побудови такого комплексу інструментів на основі фрактального підходу.

Ключові слова: експертиза, цифрова фонограма, цифрова відеограма

SIGNALOGRAMM STRUCTURE AND UNIVERSALITY OF THE FRACTAL APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF THE PHONOSCOPE ASSESSMENT TOOLKIT

Vadim V. Zhuravel¹, Oleg V. Rybalsky², Viktor I. Solovyev³

¹ State research expertly-criminalistics center of Ministry of Internal Affairs of Ukraine, 4A Velyka Okruzhna str., Kyiv, 03170, Ukraine; e-mail: fonoscopia@ukr.net

² National Academy of Internal Affairs,

1 Solomenskaya sqr., Kyiv, 03035, Ukraine; e-mail: rybalsky_ol@mail.ru

³ Volodymyr Dhal East Ukraine National University, 20-A Molodizhnyi kvartal, Luhansk, 91034, Ukraine; e-mail: mettilyd@mail.ru

The task of construction of complex of methods and realization of fono examination software is considered, based on single scientific and methodological approach. Possibility of construction of such complex of instruments is shown on the basis of fractal approach

Keywords: assessment, digital phonogram, digital videogram