

УДК 621.317+681.849

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ВЫДЕЛЕНИЯ ФРАКТАЛЬНЫХ СТРУКТУР ИЗ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ МАКСИМУМОВ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

д-р техн. наук, проф. О.В. РЫБАЛЬСКИЙ
(Национальная академия внутренних дел, Киев);
В.В. ЖУРАВЕЛЬ

(Государственный научно-исследовательский экспертно-криминалистический центр
МВД Украины, Киев);

канд. техн. наук, доц. **В.И. СОЛОВЬЁВ**
(Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Северодонецк);

д-р техн. наук, проф. В.К. ЖЕЛЕЗНЯК
(Полоцкий государственный университет)

Разработана модель выделения мультифрактальных структур из шумов цифровых фонограмм, используемых в качестве идентификационных признаков в экспертных исследованиях аппаратуры цифровой звукозаписи и цифровых фонограмм.

Ключевые слова: *аппаратура цифровой звукозаписи, вейвлет-преобразование, цифровая фонограмма, фрактал, экспертиза.*

Введение. Разработка инструментария для проведения экспертиз материалов и средств цифровой звукозаписи в процессе своего развития привела к созданию нового направления, основанного на использовании паразитных параметров аппаратуры цифровой звукозаписи (АЦЗЗ), фиксируемых в виде шумов цифровых фонограмм (ЦФ) [1, 2]. Эти параметры являются идентификационными признаками, используемыми в такой экспертизе. Создаваемый экспертный инструментарий должен удовлетворять ряду условий, в частности условиям реализуемости выделения этих признаков из ЦФ и применения методов обработки, обеспечивающих повторяемость и стабильность получаемых результатов.

В ряде работ показано, что эти признаки имеют мультифрактальную структуру. Для выделения фрактальных структур из сигналов, представленных в цифровой форме, используется вейвлет-анализ [3]. Выделение таких структур проводится по максимумам вейвлет-преобразования [4]. В работе [5] было показано, что использование вейвлета Морле обеспечивает наиболее точное выделение максимумов вейвлет-преобразования, отвечающих фрактальным структурам, содержащимся в цифровых сигналах (ЦС), записанных на ЦФ.

Цель работы – показать модель, ставшей основанием применения метода максимумов вейвлет-преобразования для выделения мультифрактальных структур из ЦФ, являющихся идентификационными признаками АЦЗЗ.

Основная часть. Рассмотрим модель выделения и обработки таких структур из пауз в речевой информации, содержащейся в ЦФ. Предположим, что $A(t_i)$ – значение величины отсчета реализации шума фрагмента паузы ЦФ в момент времени t_i . Рассмотрим вариант дискретного вейвлет-преобразования для временного ряда ЦС в паузе на основе комплексного вейвлета Морле

$$C(t_i, \omega_b, \omega_c) = \frac{1}{N} \sum_{t_i=0}^N \left[\sum_{t_j=0}^{N_m} C_{mor}(t_i - t_j, \omega_b, \omega_c) \otimes A(t_i - t_j) \right], \quad (1)$$

где $C(\omega_b, \omega_c)$ – среднее значение модуля коэффициента вейвлет-преобразования при фиксированных параметрах ω_b, ω_c ;

ω_c – центральная частота вейвлета;

ω_b – параметр ширины вейвлета;

N – количество дискретных отсчетов совокупности сигналов в паузе ЦФ, по которым осуществляется усреднение;

N_m – количество отсчетов для вычисления свертки вейвлета Морле и дискретных отсчетов значений величины сигнала шума;

t_i, t_j – временные дискретные отсчеты при $t_i > t_j$ [4].

Таким образом, применение операции свертки сигнала шума паузы и вейвлета Морле позволяет получить максимумы значений модуля коэффициентов вейвлет-преобразования для отдельной паузы и для всего ряда пауз, выделенных из ЦФ. Это, в свою очередь, позволяет построить скейлограммы, как для каждой отдельной паузы, так и для всей их совокупности, представляющие собой самоподобные структуры, выделяемые из шумов паузы.

На рисунке представлена иллюстрация для совокупности пауз ЦФ зависимости $C(F_b, F_c)$, где $F_b = \frac{\omega_b}{2\pi}$, $F_c = \frac{\omega_c}{2\pi}$.

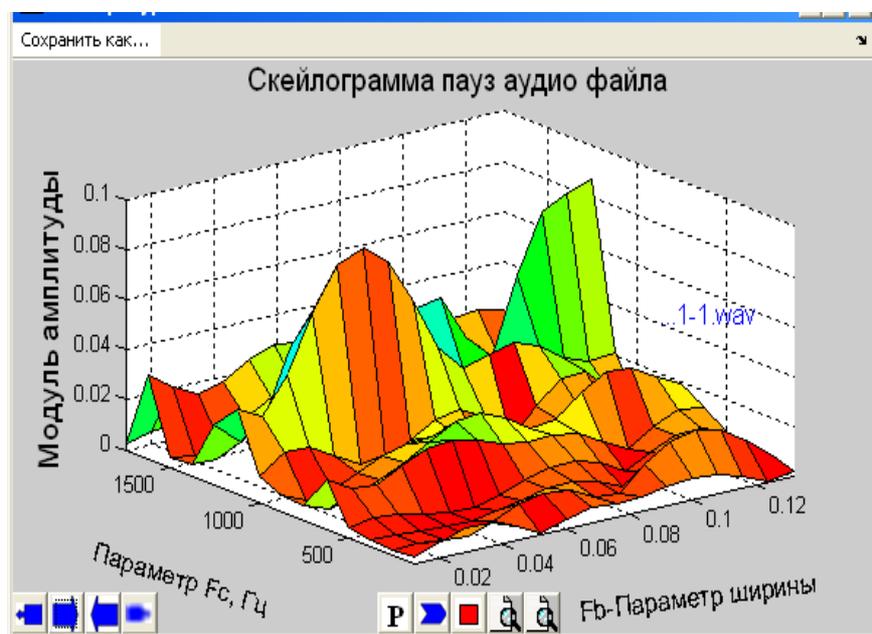


Рисунок – Скейлограмма пауз ЦФ

Такой вид скейлограммы определяется тем, что свертка этих сигналов во временной области запишется как их произведение в частотной области. Построим модель такого преобразования. Известно, что вейвлет Морле в частотной области имеет вид

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

а спектр сигнала $S(t) = A_m \cos \omega t$ на выходе системы аналого-цифро-аналогового преобразования (АЦАП) записывается как

$$S_c(j\omega) = \frac{A_m \omega_d}{\omega} \sin \omega \frac{T_1}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left[\delta(\omega - \omega_0 - k\omega_d) + \delta(\omega + \omega_0 - k\omega_d) \right], \quad (3)$$

где ω_d – частота дискретизации сигнала [2; 5].

Тогда, рассматривая сигнал в паузе как $S(j\omega) = A_m \cos \omega t$, соотношение (1) в частотной области в общем виде представляется как

$$\begin{aligned} S_\Sigma(b, c) &= \frac{A_m \omega_d}{\omega} \sin \omega_0 \frac{T}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left[\delta(\omega - \omega_0 - k\omega_d) + \delta(\omega + \omega_0 - k\omega_d) \right] \times \sqrt{2\pi^4} \frac{1}{2} \left(e^{-\frac{(\omega-\omega_c)^2}{2}} - e^{-\frac{\omega^2}{2}} \cdot e^{-\frac{\omega_c^2}{2}} \right) = \\ &= \frac{A_m \omega_d \sqrt{2\pi^4}}{2\pi |b|^{\frac{1}{2}} \omega} \sin \omega_0 \frac{T}{2} \left[\sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{1}{(\omega_0 - k\omega_d)} e^{j(\omega_0 - k\omega_d)c} \cdot \left(e^{-\frac{[b(\omega_0 - k\omega_d) - \omega_c]^2}{2}} - e^{-\frac{b^2(\omega_0 - k\omega_d)^2}{2}} \cdot e^{-\frac{\omega_c^2}{2}} \right) + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{1}{(\omega_0 + k\omega_d)} e^{j(\omega_0 + k\omega_d)c} \cdot \left(e^{-\frac{[b(\omega_0 + k\omega_d) - \omega_c]^2}{2}} - e^{-\frac{b^2(\omega_0 + k\omega_d)^2}{2}} \cdot e^{-\frac{\omega_c^2}{2}} \right) \right], \quad (4) \end{aligned}$$

где b, c – параметры масштабирования вейвлета.

На скейлограмме, продемонстрированной на рисунке, показаны фрактальные образования, выделенные из ряда пауз в речевой информации, записанной на ЦФ методом максимумов вейвлет преобразования.

Их выделение обеспечивает возможность последующей статистической обработки, что необходимо для сравнительных исследований ЦФ при проведении криминалистической идентификации АЦЗЗ и установления оригинальности ЦФ.

Вывод. Разработана математическая модель, описывающая процесс выделения идентификационных признаков из ЦФ, представляемых в виде фрактальных структур, образующихся в ЦФ при воздействии паразитных параметров АЦЗЗ на записываемые ЦС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыбальский, О.В. Современные методы проверки аутентичности магнитных фонограмм в судебно-акустической экспертизе / О.В. Рыбальский, Ю.Ф. Жариков. – Киев : Нац. акад. внутр. справ України, 2003. – 300 с.
2. Рибальський, О.В. Застосування вейвлет-аналізу для виявлення слідів цифрової обробки аналогових і цифрових фонограм у судово-акустичній експертизі / О.В. Рибальський. – Киев : Нац. акад. внутр. справ України, 2004. – 167 с.
3. Малла, С. Вэйвлеты в обработке сигналов : пер. с англ. / С. Мала. – М. : Мир, 2005. – 670 с.
4. Соловьёв, В.И. Идентификация аппаратуры аудиозаписи по статистическим характеристикам аудиофайлов / В.И. Соловьёв // Реєстрація та обробка інформації. – 2013. – Т. 14, № 1. – С. 59–70.
5. Рыбальский, О.В. Применение вейвлета Морле при создании методов и аппаратуры для проведения экспертиз материалов цифровой видеозвукозаписи / О.В. Рыбальский, В.И. Соловьёв, В.К. Железняк // Вест. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки. – 2015. – № 4. – С. 14–16.

Поступила 02.03.2016

GENERALIZED MODEL OF SELECTION OF FRACTAL STRUCTURES FROM DIGITAL SIGNALS BY METHOD OF MAXIMUMS OF WEVLET TRANSFORMATION

O. RYBALSKY, V. ZURAVEL, V. SOLOVYOV, V. ZHELEZNYAK

The model of selection of multifractal structures is worked out from noises of the digital phonograms, used as the identification signs used for expert researches of apparatus of the digital audio recording and digital phonograms.

Keywords: *apparatus of the digital audio recording, wevlet transformation, digital phonogram, fractal, examination.*