

УДК 621.317+681.849

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТА МОРЛЕ ПРИ СОЗДАНИИ МЕТОДОВ И АППАРАТУРЫ
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТИЗ МАТЕРИАЛОВ ЦИФРОВОЙ ВИДЕОЗВУКОЗАПИСИ**

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

канд. техн. наук, доц. В.И. СОЛОВЬЕВ
(Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, Луганск);

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

Рассматриваются особенности вейвлета Морле, побудившие авторов к его использованию для построения программ, предназначенных для проведения экспертиз материалов и аппаратуры цифровой видео- и звукозаписи. Показано, что вейвлет Морле обладает наилучшей избирательной способностью как во временной, так и в частотной области.

Введение. С появлением и широким использованием цифровой аппаратуры записи эксперты, проводящие экспертизу материалов и средств видеозвукозаписи, столкнулись с серьезной проблемой, заключающейся в отсутствии методик и аппаратуры, позволяющей получать достоверные результаты такой экспертизы [1]. При разработке методик и средств были созданы основы теории выявления следов цифровой обработки фонограмм и созданы первые методики и программы для проведения указанной экспертизы, основанные на вейвлет-анализе исследуемых сигналов [1–3]. Но разработанные методики и программы не полностью удовлетворяли требованиям экспертизы. В частности, они не полностью соответствовали теории криминалистической идентификации [4]. Поэтому для дальнейшего развития этого направления в разработке экспертного инструментария нами был предложен новый подход, основанный на исследовании фрактальной структуры цифровых сигналов [5]. При этом для выделения фракталов из сигналов был использован вейвлет Морле. Цель данной работы – показать те соображения, которыми мы руководствовались при выборе этого вейвлета для построения разрабатываемых программ.

Основная часть. Практическое применение фрактальной теории в экспертизе материалов и аппаратуры видео- и звукозаписи позволило значительно повысить достоверность результатов такой экспертизы и ее производительность [5]. Выявление фрактальности (и самих фракталов) в сигналах изображения и речи, записанных на аппаратуре видеозвукозаписи, как и фрактальности и фракталов в собственных шумах такой аппаратуры, является основой применения фрактальной теории для создания методологии, методик и средств экспертизы цифровой аппаратуры звукозаписи (ЦАЗЗ) и цифровой аппаратуры видеозаписи (ЦАВЗ). Известно, что лучшим инструментом для выявления фрактальности в сигналах и выделения из них фракталов являются вейвлеты [6]. В работе [1] было экспериментально доказано, что вейвлет Морле наилучшим образом подходит для экспертных исследований оригинальности и подлинности цифровых фонограмм (ЦФ) с использованием программного обеспечения, построенного на основе применения вейвлет-преобразования, в частности программы «Академия» (рис. 1).

В этом эксперименте проводилось сравнение способности разных вейвлетов («Мексиканская шляпа», вейвлета Майера, вейвлета Габора, вейвлета Морле и т.п.) к выделению характерных признаков цифровой обработки в ЦФ на вейвлет-портретах. В результате проведенного эксперимента было установлено, что вейвлет Морле обеспечивает наилучшую детализацию нелинейных искажений на вейвлет-портрете. Однако впоследствии пришлось отказаться от использования этой программы при проведении экспертиз материалов и средств видеозвукозаписи, что обуславливалось рядом недостатков, присущих этой программе [4], и заставило искать другие методы и средства для проведения такой экспертизы.

Проведенные исследования показали, что решение проблемы экспертизы ЦФ и цифровых видеозаписей (ЦВЗ) лежит в использовании фрактального характера цифрового сигнала [5]. Фрактальность такого сигнала четко проявляется на рисунке 1 в виде ветвлений сигнала на вейвлет-портрете. При этом признаки обработки сигнала проявляются в виде дополнительных ветвей, поскольку в обработанном сигнале появляются дополнительные частотные составляющие от устройства обработки [1]. Естественно, данный тип вейвлета был избран для выделения фракталов из ЦФ и ЦВЗ.

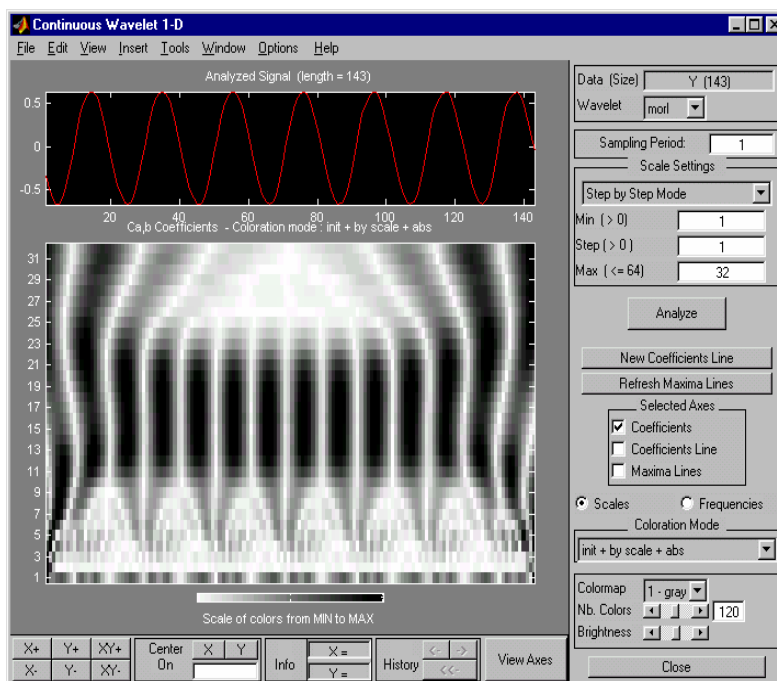
Но почему именно вейвлет Морле обеспечивает наилучшее выделение фракталов из цифровых сигналов? Ответ на этот вопрос кроется в рассмотрении «конструкции» этого вейвлета. Вейвлет Морле представляет собой комплексную неортогональную функцию. Во-первых, этот вейвлет сконструирован из колокольного импульса (гауссиана), во-вторых, в соответствии с известным принципом неопределен-

ности Гейзенберга имеет наилучшее произведение эффективной ширины импульса на эффективную ширину спектра. Действительно, вейвлет-функция Морле во временной области записывается как

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

где $\beta = \frac{1}{\sqrt{2}}$; ω_c – частота гетеродинамирования гауссиана (носитель) [7].

Фактически этот вейвлет в своей действительной части представляет собой отрезок косинусоиды, а в мнимой – отрезок синусоиды, модулированной гауссианом, что вытекает из (1).



Вейвлет-портрет (вейвлет Морле) обработанного цифрового сигнала

Известно [7], что эффективная ширина импульса для гауссиана

$$T_3 = \frac{1}{2\beta}, \quad (2)$$

а эффективная ширина спектра

$$P_3 = \frac{\beta}{2\pi}. \quad (3)$$

Из принципа Гейзенберга вытекает, что для импульса любой формы

$$T_3 \cdot P_3 \geq \frac{1}{4\pi} \quad (\text{при размерности в герцах}) \quad (4)$$

или

$$T_3 \cdot P_3 \geq \frac{1}{2} \quad (\text{при размерности в рад/с}). \quad (5)$$

То есть для любой формы импульса произведение эффективной ширины импульса на эффективную ширину спектра не может быть меньше величин, указанных в (4) и (5). При этом только для гауссиана это неравенство переходит в равенство.

Следовательно, для принятого в гауссиане значения $\beta = \frac{1}{\sqrt{2}}$ произведение эффективной ширины импульса на эффективную ширину спектра составит:

- для размерности в герцах

$$T_3 \cdot P_3 = \frac{1}{2\beta} \cdot \frac{\beta}{2\pi} = \frac{1}{4\pi}; \quad (6)$$

- для размерности в рад/с

$$T_3 \cdot P_3 = \frac{2\pi}{2\beta} \cdot \frac{\beta}{2\pi} = \frac{1}{2}. \quad (7)$$

Полученные результаты свидетельствуют: во-первых, для импульсов любой другой формы это значение будет большим, что свидетельствует о наилучшей избирательной способности вейвлета, построенного на гауссиане, как во временной, так и в частотной области; во-вторых, комплексность вейвлета Морле обеспечивает проведение качественного прямого и обратного преобразования сигнала, поскольку позволяет учитывать фазу сигнала и предоставляет возможность исследований его малых временных отрезков.

Эти особенности вейвлета Морле обусловили необходимость его использования для выделения фракталов как из сигналов собственных шумов аппаратуры записи, так и из речевых сигналов, записанных в цифровой форме.

В заключение исследования можно сделать следующий **вывод**: свойства вейвлета Морле наиболее полно отвечают требованиям построения методической и программно-аппаратной базы для проведения экспертиз материалов и средств видеозвукозаписи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыбальський, О.В. Застосування вейвлет-аналізу для виявлення слідів цифрової обробки аналогових і цифрових фонограм у судово-акустичній експертизі / О.В. Рыбальський. – К.: НАВСУ, 2004. – 167 с.
2. Спосіб виявлення слідів цифрової обробки аналогових і цифрових сигналів: пат. 73631 України, МКВ G 11 b 27/00, 27/36 / Рыбальський О.В., Геранін В.О., Жаріков Ю.Ф., Орлов Ю.Ю., Волкович С.Л., Струк І.О. (Україна); НАВСУ. – № 2003076921; заявл. 22.07.03; опубл. 15.08.05 // Бюл. № 8.
3. Свідоцтво № 11088 про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Академія» / Рыбальський О.В., Волкович С.Л. (Україна); Рыбальський О.В. – № 10986; заявл. 26.07.2004; опубл. 17.09.2004.
4. Рыбальский, О.В. Основы технологии создания инструментария проведения экспертизы сложных технических объектов / О.В. Рыбальский, Т.А. Татарникова // Закон и жизнь: междунар. науч.-практ. правовой журнал. – Кишинев, 2013. – № 11(263). – С. 29–31.
5. Рыбальский, О.В. К развитию теории, методов и средств проведения экспертизы материалов цифровых фото, видео- и звукозаписи / О.В. Рыбальский, В.И. Соловьев // Сучасна спеціальна техніка. – К., 2012. – № 3(30). – С. 119–121.
6. Мала, С. Вейвлеты в обработке сигналов / С. Мала; пер. с англ. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
7. Добеши, И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. – М. – Ижевск: Dynamica, 2001. – 463 с.

Поступила 05.03.2014

THE APPLICATION OF THE MORLET WEVLET FOR CREATION METHODS AND EQUIPMENT FOR EXAMINATION OF MATERIALS OF DIGITAL VIDEO AND SOUND RECORDING

O. RYBALSKY, V. SOLOVYOV, V. ZHELEZNYAK

The features of wevlet Molet, impelling authors to his use for the construction of the programs intended for realization of examinations of materials and apparatus digital to video and audio recording, are considered in the article. It is shown that wevlet Molet possesses the best electoral ability both in a temporary and in frequency realm.