

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

**ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:
ДОСТИЖЕНИЯ, ПРОБЛЕМЫ, ИННОВАЦИИ
(ИКТ-2018)**

Электронный сборник статей

I Международной научно-практической конференции,
посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета

(Новополоцк, 14–15 июня 2018 г.)

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2018

Информационно-коммуникационные технологии: достижения, проблемы, инновации (ИКТ-2018) [Электронный ресурс] : электронный сборник статей I международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 14–15 июня 2018 г. / Полоцкий государственный университет. – Новополоцк, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Представлены результаты новейших научных исследований, в области информационно-коммуникационных и интернет-технологий, а именно: методы и технологии математического и имитационного моделирования систем; автоматизация и управление производственными процессами; программная инженерия; тестирование и верификация программ; обработка сигналов, изображений и видео; защита информации и технологии информационной безопасности; электронный маркетинг; проблемы и инновационные технологии подготовки специалистов в данной области.

Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3201815009 от 28.03.2018.

Компьютерный дизайн М. Э. Дистанова.

Технические редакторы: Т. А. Дарьянова, О. П. Михайлова.

Компьютерная верстка Д. М. Севастьяновой.

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53-21-23, e-mail: irina.psu@gmail.com

**ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ПРИ ОЦЕНКЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА
В УСЛОВИЯХ НАЛИЧИЯ ШУМОВ**

*канд. техн. наук И.Б. БУРАЧЁНОК, д-р техн. наук, проф. В.К. ЖЕЛЕЗНЯК
(Полоцкий государственный университет, Беларусь)*

В настоящее время благодаря развитию информационных технологий, основанных на современных достижениях вычислительной техники, появилась возможность реализовывать сложные алгоритмы обработки сигналов с использованием цифровых методов и средств [1]. Существенную роль среди таких алгоритмов играют линейные интегральные преобразования, которые являются особенно эффективными при обнаружении речевых сигналов (РС) в условиях наличия шумов и помех. Одним из таких преобразований является вейвлет-преобразование [2], позволяющее путем трансформации выходного сигнала провести его детальный частотно-временной анализ. В отличие от преобразования Фурье, вейвлет-преобразование обеспечивает двумерное представление исследуемого сигнала в частотной области в плоскости частота – положение. Аналогом частоты при этом является масштаб аргумента базисной функции времени, а положение характеризуется ее сдвигом. Переход от частотного анализа к масштабному открывает новые возможности для повышения точности оценки защищенности РС в условиях маскирующих шумов высокого уровня в технических каналах утечки (КУ).

Поэтому возникает необходимость в сравнительном анализе некоторых материнских вейвлетов с целью исследования информативности вейвлет-представления РС в частотно-временной области при изменении масштабных коэффициентов a и b . Выбор для сравнения широко известных вейвлет-функций (Гауссова типа, «Мексиканской шляпы», Мейера и комплексного вейвлета Морле (КВМ) [2]) позволит получить тонкую структуру РС и оценить влияние параметров выбранных материнских вейвлетов на возможность очистки от шумов с целью повышения точности оценки защищенности РС в технических КУ.

Исследования информативности вейвлет-преобразования проводилось с помощью вейвлет-функции, вычисляемой на множестве значений аргументов a_i и b_j , которые являются масштабными коэффициентами по частоте и времени соответственно: $i = 0, 1, \dots, N_a - 1$; $j = 0, 1, \dots, N_b - 1$.

$$W_A(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \sum_{k=0}^{N-1} s_k \psi^* \left(\frac{t_k - b}{a} \right), \quad s(t) \in L^2(R), \quad (1)$$

где $L^2(R)$ – бесконечно-размерное пространство (гильбертово пространство) [2];

$\psi(t)$ – исследуемая вейвлет-функция (рис. 1);

$s_k = s(t_k)$, $t_k = \Delta t k$, – исходный сигнал, представленный временным рядом со значениями функции, следующими друг за другом с постоянным интервалом времени Δt ;

$k = 0, 1, \dots, N - 1$; a – масштаб; b – сдвиг; $a, b \in R$, $a > 0$.

Основные характеристики исследуемых вейвлет-функций представлены на рис. 1.

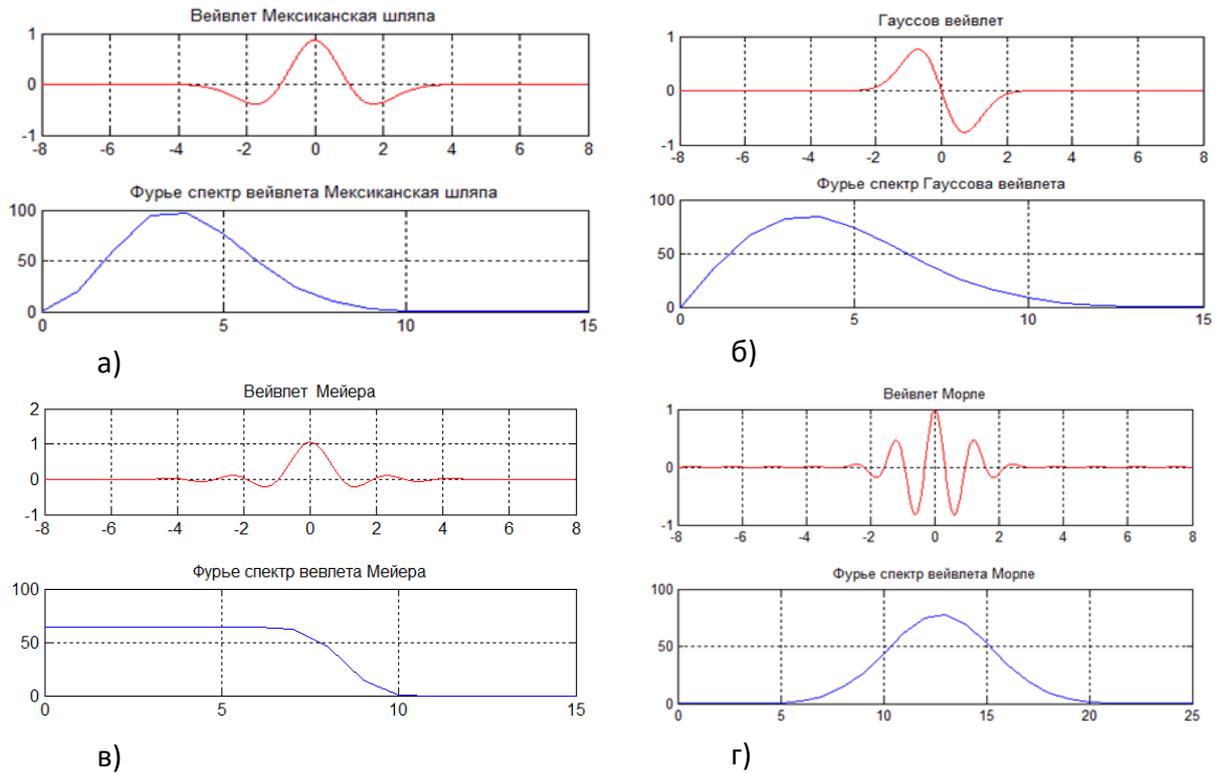


Рисунок 1. – Примеры исследуемых вейвлет-функций

Следует заметить, что все исследуемые вейвлеты обладают минимумом свойств, обеспечивающих полноценные возможности в технике преобразования и обладают свойствами частотно-временной локализации (имеют вид коротких, локализованных во времени (или в пространстве), волновых пакетов с нулевым значением интеграла, способны к масштабированию (сжатию/растяжению).

Определение наибольшей информативности частотно-временной области сигнала осуществлялась на примере ударных и безударных изолированных гласных звуков русского языка. На рисунке 2 показан фрагмент ударной фонемы «а», произнесенной мужским голосом.

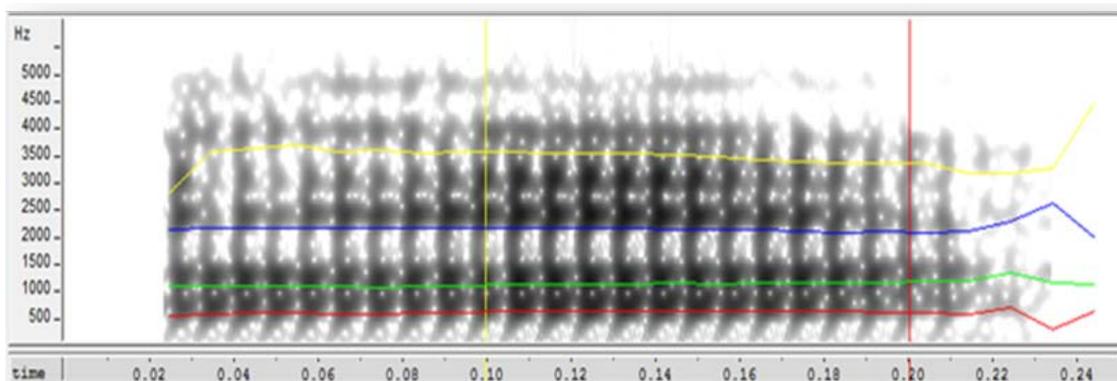


Рисунок 2. – Фрагмент фонемы «а»

Для исследований был выбран участок сигнала длительностью 0.1 с, где присутствует наибольшая интенсивность звука и сосредоточены основные форманты f_1

и f_2 . Первая форманта равна 662 Гц (формантная область – 662±10 Гц), на рисунке 2 показана красным цветом, вторая форманта – 1114 Гц (формантная область – 1114±10 Гц) – зеленым цветом. Выделенный фрагмент гласного звука представим временным рядом со значениями функции, следующими друг за другом с постоянным интервалом времени Δt : $s_k = s(t_k)$, $t_k = \Delta tk$, $k = 0, 1, \dots, N-1$. Интервал временного окна, где процесс можно считать квазистационарным, определим равным $\Delta t \leq 20$ мс.

Оценку локального спектра энергии проведем на основании построенной скалограммы: $S(a_i, b_j) = |W_A(a_i, b_j)|^2$, отобразив в трехмерном пространстве координат (a, b, S) и далее представив в виде топологической карты, изобразив поверхность $S(a, b)$ в координатах (a, b) .

Скалограммы заданного участка фонемы «а» (рис.2), представляющие масштабное распределение энергии сигнала, где по оси времени отложена величина сдвига вейвлет-функции – b , по оси ординат – масштаб a , с использованием различных вейвлетов при одинаковых значениях масштабных коэффициентов представлены на рисунке 3.

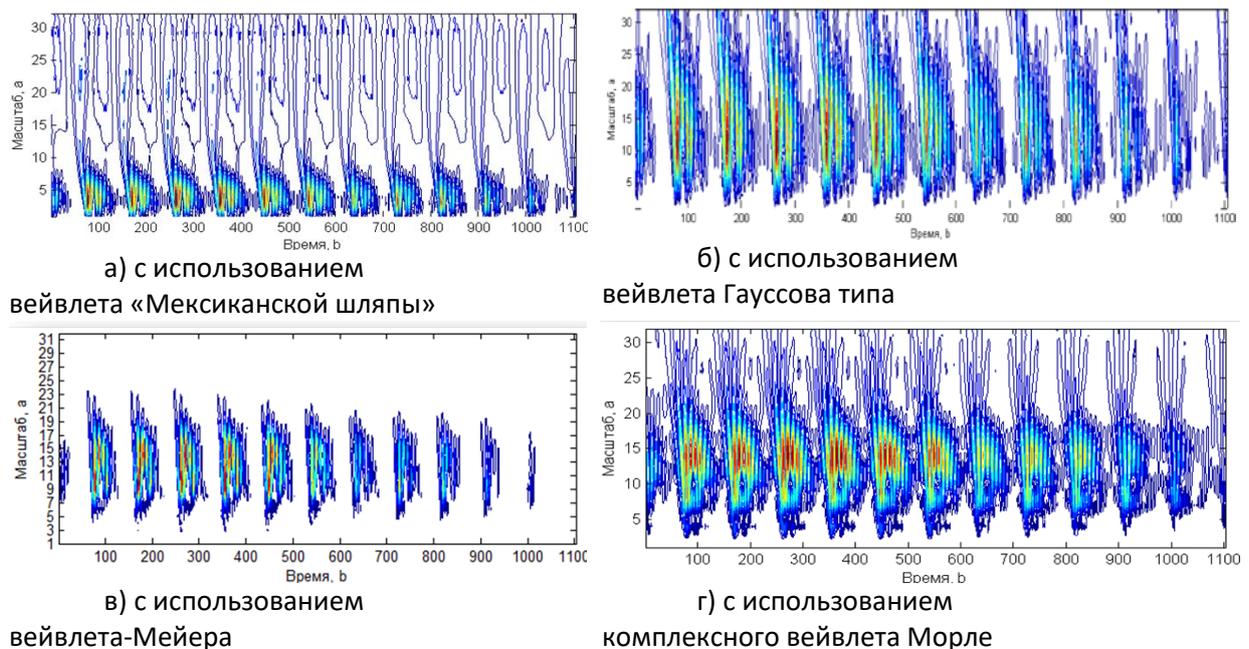


Рисунок 3. – Пример скалограмм звука «а» при использовании различных вейвлет-функций при одинаково заданных значениях масштабных коэффициентов

С целью снижения разборчивости фонемы для имитации маскирования РС была сформирована хаотическая импульсная помеха (ХИП) в диапазоне частот от 10 Гц до 10 кГц при использовании генератора маскирующих сигналов на базе диодов-генераторов серии ND 100.

Для проведения анализа вейвлет-скалограмма выглядит более представительнее, чем обычные спектрограммы оконного преобразования Фурье. При больших номерах масштабных коэффициентов хорошо виден постепенный эффект сглаживания, который имеет место для фильтрации сигналов и очистки от шума. Очистка сигнала от ХИП осу-

ществлялась разложением сигнала на вейвлеты, идентификацией компонент шума, очисткой и восстановлением сигнала без этих компонент.

Таким образом, использование вейвлетов в задачах оценки защищенности РС в КУ продиктовано особенностями самого сигнала. В отличие от анализа Фурье не теряется информация о временных характеристиках, что очень важно при обработке нестационарных сигналов [2]. Безусловно, выбор анализирующего вейвлета определяется тем, какую информацию необходимо извлечь из сигнала. С учетом характерных особенностей различных вейвлетов во временной и в частотной области, можно выявлять в анализируемых сигналах те или иные свойства и особенности, которые незаметны на графиках сигналов, особенно в присутствии шумов. По сравнению с другими методами [4] вейвлет-очистка сигналов от шумов при использовании вейвлет-преобразования имеет ряд преимуществ, заключающихся в первую очередь в оптимальной частотно-временной локализации [3], что позволяет удалять помеху вблизи некоторой точки, не искажая при этом самого сигнала.

Применение в качестве материнского КВМ при одних тех же значениях масштабных коэффициентов a и b обладает большей детализацией и информативностью. Изображение его вейвлет-скалограммы достаточно ясно выявляет наличие разномасштабной периодичности, содержащейся в анализируемых зависимостях, показывая наличие появившихся частотных составляющих, не соответствующих собственным частотам рассматриваемого РС. КВМ также имеет близкое сходство с речевыми фрагментами (подобен импульсным составляющим нестационарных сигналов) и обладает частотной локализацией лучшей среди других базисов [5]. КВМ имеет более узкий Фурье образ и продолжителен во временной области. Присутствие доминирующей частоты позволяет варьировать его избирательностью в частотной области.

Вейвлеты как средство многомасштабного анализа позволяют выделять одновременно как основные характеристики РС, так и его короткоживущие высокочастотные составляющие, которые существенно влияют на качество оценки защищенности КУ в условиях маскирующих помех высокого уровня. Применение для очистки от шумов КВМ для вейвлет-преобразования сложного измерительного сигнала с большой базой, предлагаемого для оценки защищенности РС в технических КУ [6], при настройке параметров вейвлета (масштабных коэффициентов a и b) в точке приема открывает реальную возможность существенно повысить точность оценки.

Литература

1. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – СПб : Питер, 2002. – 608 с.
2. Дьяконов, В.П. Вейвлеты. От теории к практике / В.П. Дьяконов. – М. : Солон-Пресс, 2004. – 400 с.
3. Добеши, И. Десять лекций по вейвлетам : [пер. с англ.] / И. Добеши. – Ижевск : НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2001. – 464 с.
4. Штарк, Г.Г. Применение вейвлетов для ЦОС / Г.Г. Штарк. – М. : Техносфера, 2007. – 192 с.
5. Burachonak, I.B. Analysis of fine structure vowel sound of the speech signal using wavelet transform / I.B. Burachonak, V.K. Zheleznyak // European and National dimension in research : materials of VIII junior researcher's conference, Novopovotsk, 27–28 April 2016 : in 3 p. / Polotsk State University. – Novopovotsk, 2016. – Is. 3, part 3 : Technology. – P. 183–186.
6. Бураченко, И.Б. Анализ измерительных сигналов для оценки защищенности речевой информации в технических каналах утечки / В.К. Железняк, И. Б. Бураченко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. – 2017. – № 4. – С. 8–14.