

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ DIGITAL PROCESSING OF SIGNALS AND IMAGES

УДК 621.391

С. В. Дворников¹, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры,
С. С. Манаенко¹, канд. техн. наук, ст. препод., **С. С. Дворников**², бакалавр, студент,
А. А. Погорелов¹, канд. техн. наук, доц., нач. кафедры
¹ Военная академия связи, г. Санкт-Петербург
² Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
e-mail: practicsv@yandex.ru

Синтез фазоманипулированных вейвлет-сигналов

Представляются материалы исследования по вопросам синтеза фазоманипулированных сигналов на основе фрагментов, в качестве которых выступает вейвлет Гаусса первого порядка. Обосновываются энергетические параметры модулирующих фрагментов и анализируется помехоустойчивость вейвлет-сигналов.

Ключевые слова: синтез сигналов, параметрическая скрытность, вейвлет Гаусса первого порядка, демодуляция фазоманипулированных сигналов

Введение

Вопросам повышения помехоустойчивости всегда уделялось приоритетное внимание при разработке средств радиосвязи. Прежде всего это обусловлено необходимостью достоверной передачи информации в условиях шумов и помех различной природы.

Среди широко известных модуляционных форматов наиболее помехоустойчивым является двухпозиционная фазовая манипуляция [1], активно используемая на радиопередачах СВ—УКВ диапазонов.

Последние достижения в области кратномасштабного анализа позволяют предположить, что в настоящее время синтез радиоизлучений на основе вейвлет-функций (в дальнейшем вейвлетов) позволит получить модуляционные форматы, обладающие свойствами помехоустойчивости не хуже, чем у фазоманипулированных конструкций.

Кроме того необходимо учитывать, что обработка вейвлет-сигналов в базисах гармонических функций будет связана с определенными техническими сложностями, обусловленными их структурной несовместимостью.

Указанные обстоятельства позволят снизить вероятность несанкционированного доступа, основанного на применении методов гармонического анализа. Следовательно, даже на данном этапе можно утверждать, что вейвлет-сигналы обеспечат их пользователям дополнительную структурную скрытность [2] по отношению к системам радиомониторинга, использующим другие функциональные базисы обработки радиоизлучений.

В связи с этим в статье рассматриваются вопросы синтеза модуляционных форматов на основе вейвлетов семейства функций Гаусса первого порядка и исследуется их помехоустойчивость в канале с аддитивным белым гауссовым шумом.

Постановка задачи

Вопросы повышения помехоустойчивости за счет использования базисов формирования сигналов, отличных от гармонических, рассматривались в работе [3], где предлагалось осуществлять синтез сигналов в базисах функций сплайн-Вилленкина — Крестенсона, которые являются обобщающими по отношению к базису функций Фурье.

Один из результатов работы заключался в следующем. Авторам удалось установить, что сигнал, сформированный в базисе указанных функций, будет иметь все внешние признаки модулированного колебания, синтезированного в гармоническом базисе. Но его анализ на основе процедур преобразования Фурье не позволит получить значение истинных параметров и, в итоге, правильно осуществить демодуляцию (извлечь вложенную информацию).

Рассмотрим, насколько указанные выводы применимы к вейвлет-модуляции.

Предложения по синтезу вейвлет-сигналов

В качестве исходного модуляционного формата определим двухпозиционную фазовую манипуля-

цию (ФМ-2). Здесь и далее под модуляционным форматом будем понимать совокупность вида модуляции (манипуляции) и скорости передачи сигнала.

В формате ФМ-2 скорость передачи определяется минимальной длительностью сигнала τ_c , в пределах которой его фаза остается постоянной. Указанный интервал в работе [1] определен как элемент сигнала ФМ-2. Сама же процедура синтеза заключается в следующем. Формируется несущее колебание определенной частоты, у которого в соответствии с заданной скоростью манипуляции происходит изменение фазы согласно исследуемой информационной последовательности логических нулей и единиц.

Учитывая, что модулированный сигнал ФМ-2 представляет собой совокупность повторяющихся элементов, соответствующих логическим нулям и единицам, предлагается следующий подход к его синтезу.

На первом этапе формируются элементы сигнала $s1(t)$ и $s0(t)$, соответствующие логическим нулю и единице (рис. 1), причем длительности элементов τ_c выбираются таким образом, чтобы соответствовать требуемой скорости манипуляции.

На втором этапе, согласно информационной последовательности, из сформированных элементов сигнала $s1(t)$ и $s0(t)$ синтезируется требуемая модуляционная конструкция. В результате получаем сигнал ФМ-2, аналогичный по структуре сигналу, синтезируемому по методу, описанному в работе [1].

Предложенный подход открывает возможности по синтезу сигналов ФМ-2 на основе импульсных фрагментов, в том числе вейвлетов.

Действительно, ведь в качестве элементов сигнала $s1(t)$ и $s0(t)$ можно определить и фрагменты локализованных функций, в частности, так называемого вейвлета Гаусса первого порядка $\psi(t)$, представляющего первую производную от функции Гаусса [4].

Аналитически вейвлет Гаусса первого порядка описывается следующим выражением:

$$\psi(t) = -t \exp(-t^2/2). \quad (1)$$

Анализ выражения (1) указывает на локализованный характер функции, т. е. синтез непрерывного колебания на его основе в принципе невозможен. Однако вейвлет Гаусса вполне может быть использован в качестве фрагмента для синтеза модулированного колебания в соответствии с предложенным подходом. На рис. 2 представлены элементы сигнала $\psi1(t)$ и $\psi0(t)$, сформированные на основе вейвлета Гаусса.

Следует отметить, что свойства локализации вейвлета и его двусторонняя временная структура позволяют на его основе формировать колебания, которые также можно рассматривать как сигналы ФМ-2.

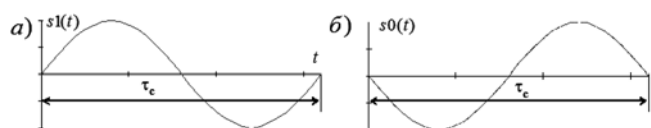


Рис. 1. Элементы сигнала ФМ-2: а — логической единицы; б — логического нуля

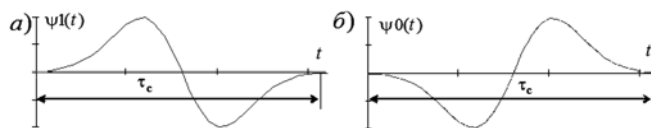


Рис. 2. Элементы вейвлет-сигнала: а — логической единицы; б — логического нуля

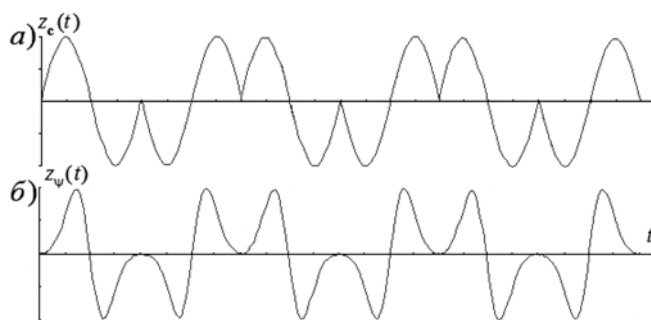


Рис. 3. Сигнал ФМ-2, синтезированный на основе фрагментов: а — синусоид; б — вейвлетов

В частности, на рис. 3 показан фрагмент сигнала ФМ-2, сформированный на основе элементов синусоид и на основе вейвлетов.

Результаты эксперимента по анализу помехоустойчивости вейвлет-сигналов

Для оценки помехоустойчивости предложенной ФМ-2-вейвлет-конструкции был определен канал с аддитивным белым гауссовым шумом. При эксперименте учитывались следующие обстоятельства. В качестве исходной была определена мощность фрагмента сигнала на основе синусоиды, формируемого квадратурным методом из синфазной и квадратурной составляющих единичной амплитуды. В этом случае амплитуда временной развертки синусоиды составила $\sqrt{2}$.

Тогда, для обеспечения аналогичной мощности для фрагмента на основе вейвлета, его амплитуда была повышена до уровня 2,84.

На рис. 4 показан график зависимости вероятности ошибки на бит P_b от значения отношения мощности сигнала к спектральной плотности мощности шума (ОСШ) h^2 для сигналов ФМ-2 на основе фрагментов синусоид и вейвлетов, синтезированных в соответствии с предложенным подходом к формированию фазоманипулированных колебаний.

На рис. 4 кривая 1 — это потенциальная помехоустойчивость для сигнала ФМ-2 в гармоническом базисе, а кривая 2 — помехоустойчивость для вейвлет-сигнала, обрабатываемого в базисе вейвлет-

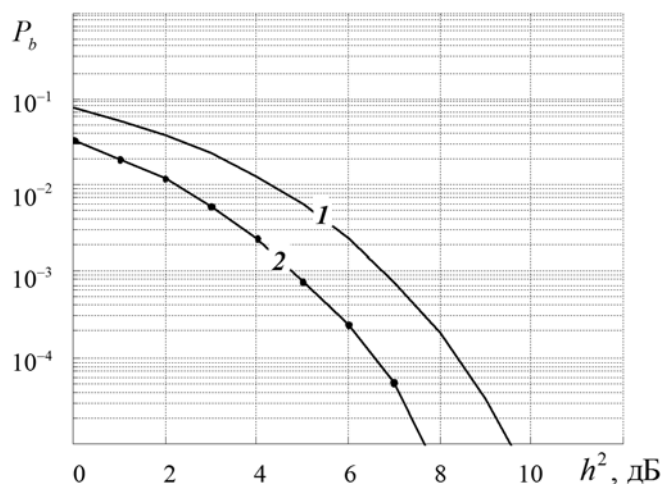


Рис. 4. Зависимость вероятности битовой ошибки от ОСШ при обработке вейвлет-сигнала в базе вейвлет-функций

функций. Следует заметить, что указанную помехоустойчивость вейвлет-сигналы обеспечат только в том случае, когда на приемном конце корреляционная обработка будет осуществляться в базе вейвлет-функций (т. е. будут обеспечены условия когерентной обработки).

Совсем другие условия помехоустойчивости будут при обработке вейвлет-сигналов в базисах гармонических функций, т. е. при их несанкционированном приеме. На рис. 5 представлен график зависимости битовой вероятности ошибки от значения ОСШ при обработке вейвлет-сигнала (кривая 2) и сигнала ФМ-2 (кривая 1) в гармоническом базисе.

На рис. 5 кривая 1 — это потенциальная помехоустойчивость для сигнала ФМ-2 в гармоническом базисе, а кривая 2 — помехоустойчивость для вейвлет-сигнала, обрабатываемого в гармоническом базисе.

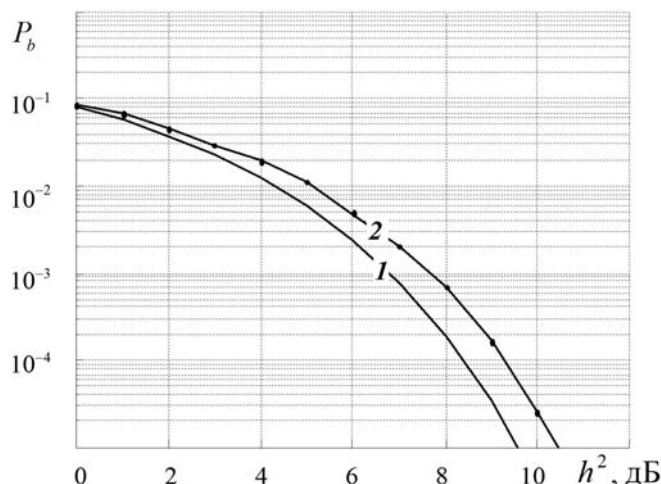


Рис. 5. Зависимость вероятности битовой ошибки от ОСШ при обработке сигналов в гармоническом базисе

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующее заключение. При обеспечении требуемой битовой вероятности ошибки $P_b = 10^{-5}$ выигрыш в помехоустойчивости от когерентной обработки в базе вейвлет-функций составит более 3 дБ.

Моделирование проводили в среде MATLAB. Графики строились из условия появления 100 ошибочных решений. Значение вероятности ошибки на бит рассчитывалось в соответствии с требованиями [1] по формуле

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right), \quad (2)$$

где E_b — энергия, приходящаяся на бит; N_0 — спектральная плотность мощности шума.

В формуле (2) $Q(x) = \frac{1}{2\pi} \int_x^\infty \exp(-t^2/2) dt$ — функ-

ция плотности распределения вероятности (площадь под кривой интеграла вероятности).

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать следующее заключение. Синтез сигналов на основе фрагментов вейвлетов позволяет получить модулированные колебания, помехоустойчивость которых на 2 дБ превосходит потенциально возможные показатели для сигналов ФМ-2, сформированных в базе гармонических функций.

Если в качестве модулирующих фрагментов рассматривать вейвлеты Гаусса первого порядка, то выигрыш в обеспечении дополнительной структурной скрытности составит порядка 1 дБ. Однако можно предположить, что использование более сложных вейвлет-конструкций позволит увеличить указанный выигрыш. Авторы также предполагают, что указанный эффект может быть усилен при увеличении числа различных используемых вейвлетов, применяемых для синтеза сигналов, поскольку в этом случае возрастает сложность обработки таких конструкций, обусловливаемая отсутствием априорной информации о базисах их формирования.

Дальнейшие исследования видятся в разработке эффективных методов демодуляции вейвлет-сигналов.

Список литературы

1. Прокис Дж. Цифровая связь: Пер. с англ. / Под ред. Д. Д. Кловского. М.: Радио и связь. 2000. 800 с.
2. Каневский З. М., Литвиненко В. П. Теория скрытности. Воронеж: ВГУ, 1991. 144 с.
3. Агиевич С. Н., Дворников С. В., Гусельников А. С. и др. Описание сигналов в базисах функций сплайн-Вилленкина — Крестенсона // Контроль—Диагностика. 2009. № 3. С. 52—57.
4. Яковлев А. Н. Введение в вейвлет-преобразования: учеб. пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. 104 с.

S. V. Dvornikov¹, Professor, **S. S. Manaenko**¹, Associate Professor,
S. V. Dvornikov², Student, **A. A. Pogorelov**¹, Head of the Department
¹ Military Communications Academy, St. Petersburg
² St. Petersburg State Polytechnical University
e-mail: practicsv@yandex.ru

Synthesis PSK Wavelet-Signal

On improving immunity has always been given priority in the development of radio communication. Among the well-known modulation formats is the most error-correcting binary phase shift keying is used extensively to radio HF VHF bands. Advances in the multiresolution analysis suggest that the synthesis signal on the basis of wavelets allow to obtain modulation formats with high noise immunity properties. It can be argued that the wavelet signals provide additional structural secrecy in relation to systems analysis using other functional bases of processing radio signals.

In this regard, the article discusses the synthesis of phase-shift keyed signals based on wavelet and study their immunity in an additive white Gaussian noise.

The very same synthesis procedure is as follows. Forming a carrier wave of a certain frequency, which in accordance with a predetermined manipulation speed is changed according to the value of the phase information sequence of logical ones and zeros. As the chip is proposed to use fragments of first-order Gaussian wavelet that represents the first derivative of the Gaussian function.

Localization properties of the wavelet in time and bilateral temporal structure allow it to form the basis of fluctuations, which can also be regarded as a phase-shift keyed signals.

To estimate the noise immunity of the proposed PSK-2 wavelet design was defined channel with AWGN. As the initial capacity of the fragment was determined based on the sine wave signal generated by the quadrature. Amplitude sine wave was timebase $\sqrt{2}$. To provide similar facilities for fragment-based wavelet, its amplitude was increased to a level of 2,84. High immunity to ensuring wavelet signals only when the receiving end of the correlation processing is performed in the wavelet base functions.

Synthesis of signals based on the fragments of wavelets allows to obtain the modulated vibration immunity which exceeds 2 dB potentially possible indicators for PSK-2 signals. If considered as modulating fragments of first-order Gaussian wavelets, the win in order to provide additional structural secrecy of the order of 1 dB.

Further studies are seen in the development of effective methods of wavelet signal demodulation.

Keywords: synthesis signals, parametric stealth, Gauss wavelet first order demodulation of PSK signals

References

1. **Prokis Dzh.** *Cifrovaja svjaz'*: Per. s angl. Pod red. D. D. Klovskogo. M.: Radio i svjaz'. 2000. 800 p.
2. **Kanevskij Z. M., Litvinenko V. P.** *Teorija skrytnosti*. Voronezh.: VGU, 1991. 144 p.

3. **Agievich S. N., Dvornikov S. V., Gusel'nikov A. S.** i dr. Opisane signalov v bazisah funkcij splajn-Vilenkina—Krestensona. *Kontrol'-Diagnostika*. 2009. N. 3. P. 52—57.
4. **Jakovlev A. N.** *Vvedenie v vejvlet-preobrazovanija*: ucheb. posobie. Novosibirsk: Izdatel'stvo NGTU, 2003. 104 p.