

УДК 519.23, 004.94

В. С. Коновалова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

К вопросу о вейвлет-обработке локационных сигналов

Предложен способ выделения полезной составляющей сигнала локационного комплекса на фоне шумовых помех. Описано применение вейвлет-преобразования для подавления шума. Выделение полезного сигнала осуществляется с помощью пороговой обработки детализирующих коэффициентов вейвлет-разложения. Выполнена оценка вероятности появления ошибки 1-го и 2-го рода.

Вейвлет-анализ, шумовая помех, локация, ошибки 1-го и 2-го рода

Освещение ледовой обстановки в морях арктического и субарктического регионов является чрезвычайно важной задачей, поскольку безопасность судоходства невозможна без информации о состоянии ледового покрова. Решение этой проблемы в режиме реального времени является нетривиальной локационной задачей, которая реализуется с помощью гидроакустических систем и комплексов. При этом разработчики такой аппаратуры стремятся к возможности обработки информации в режиме реального времени. Локационные сигналы, создаваемые в измерительном тракте, подвержены влиянию шумов и помех, что дополнительно требует совершенствования методов анализа и обработки полезного сигнала. Наиболее распространены в настоящее время методы: фильтрация [1], корреляционный [2], спектральный [3] и фурье-анализ [4]. Одним из перспективных, по мнению авторов, является внедрение вейвлет-анализа, что подтверждается увеличением количества публикаций по данному направлению.

В рамках статьи излагается исследование возможности выделения импульсного полезного сигнала на фоне превышающих его по амплитуде шумов. На рис. 1 изображена схема взаимного расположения локационного комплекса (ЛК) и объекта обнаружения. При этом измерительный сигнал будет сформирован как последовательность импульсов, показанная на рис. 2, а, где 1 – излучаемый импульс, 2 – сигнал, отраженный от объекта. Амплитуда сигнала нормирована относительно излучаемого импульса. Однако в зависимо-

сти от параметров: излучаемого сигнала (частота, амплитуда и др.), окружающей среды (давление, температура и др.), объекта обнаружения (размер, форма, состав и др.) возможно возникновение помех как реверберационных, так и шумовых, приводящих к пропаданию сигнала, отраженного от объекта на фоне шумовой помехи (рис. 2, б).

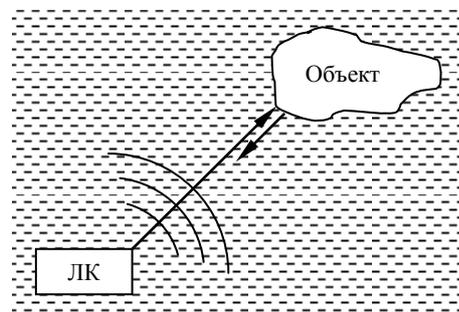


Рис. 1

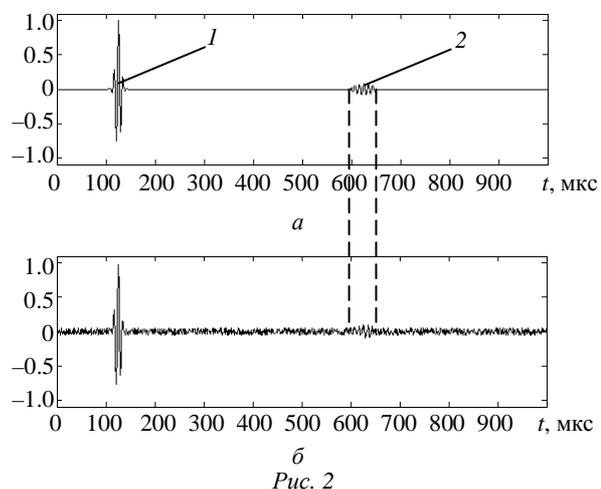


Рис. 2

Выделение полезного сигнала осуществляется методами вейвлет-анализа. Часто в литературе, описывая вейвлет-преобразование, используют термин «математический микроскоп»; это понятие можно проиллюстрировать АЧХ банка полосовых фильтров, получаемых при разложении (на рис. 3 представлено разложение до 8-го порядка, где L_8 – аппроксимирующий коэффициент разложения 8-го порядка; H_1, H_2, \dots, H_8 – детализирующие коэффициенты 1-го, 2-го, ..., 8-го порядков. Зависимости амплитуды от частоты получены в процессе численного эксперимента [5]. Для удобства представления частота откладывается в масштабе логарифма по основанию два. Из графика следует, что с повышением уровня разложения увеличивается амплитуда сигнала X , т.е. вейвлет-преобразование работает как микроскоп. В данном случае частота сигнала представлена относительно частоты дискретизации f_d , а амплитуда нормирована относительно амплитуды исходного сигнала.

Используется вейвлет Добеши 7-го порядка. Причина выбора этого вейвлета раскрыта в работах [6] и объясняется необходимостью поиска оптимума между точностью обработки сигнала и объемами требуемых вычислений. Для выделения полезного сигнала из шумовой помехи (рис. 2) осуществлялось вейвлет-разложение до 3 уровня, а восстановление – только по 2 и 3 детализирующим коэффициентам.

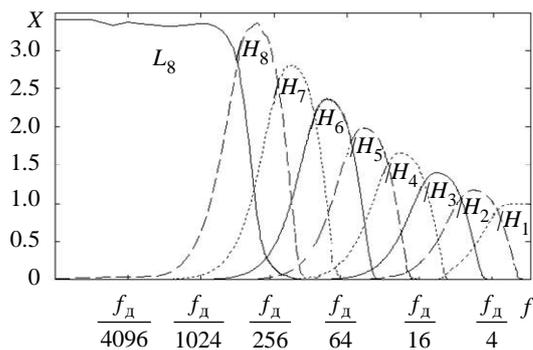


Рис. 3

В рамках численного эксперимента предполагалось, что шумовая помеха распределена по нормальному закону. Фильтрация помехи достигается за счет пороговой обработки детализирующих коэффициентов перед вейвлет-восстановлением [7]. Выбор порогового значения обу-

словлен свойствами случайных величин, распределенных по нормальному закону. Исходя из этого, предлагается выполнять обработку на уровнях 1, 2 и 3 значений среднеквадратического отклонений (σ) от уровня помехи по каждому из детализирующих коэффициентов. Цель эксперимента – подавление помех и выделение полезного сигнала. В результате многократного повторения (более 1000 раз) было установлено, что вероятность возникновения ошибок 1-го и 2-го рода зависит от соотношения сигнал/шум (под этим соотношением подразумевается отношение амплитуды полезного сигнала к среднеквадратическому отклонению шумовой помехи). Так, из данных, представленных в табл. 1, видно, что вероятность возникновения ошибки 1-го рода минимальна при введении порога на уровне 3σ . Из табл. 2 – вероятность возникновения ошибки 2-го рода минимальна при введении порога на уровне 1σ . Поскольку возникновение ошибки 2-го рода при локации не допустима, выбор порога обработки должен находиться в пределах 2σ .

Таблица 1

Уровень пороговой обработки	Соотношение сигнал/шум				
	1/1	1.5/1	2/1	2.5/1	3/1
1 σ	97.6	97.1	96.3	95.1	93.8
2 σ	41.2	39.0	35.0	31.1	27.3
3 σ	3.6	4.4	5.7	7.6	8.8

Таблица 2

Уровень пороговой обработки	Соотношение сигнал/шум				
	0	0	0	0	0
1 σ	6.6	3.3	0.4	0	0
2 σ	78.0	62.0	40.9	18.4	6.1
3 σ	3.6	4.4	5.7	7.6	8.8

Таким образом, рассмотренный способ выделения полезной составляющей из сигнала локационного комплекса позволяет подавить шумовую помеху и рассчитать вероятность появления ошибок 1-го и 2-го рода в зависимости от соотношения сигнал/шум. Подобный подход может быть использован в системах обработки информации трактов локационных комплексов, работающих как в автоматизированном, так и в ручном режимах.

Работа выполнена в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора № 02.G25.31.0058 от 12.02.2013 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефимов А. Г. Сравнительный анализ методов цифровой фильтрации // Контроль. Диагностика. 2009. № 10. С. 67–68.

2. Проскурин В. И. Алгоритмы корреляционной фильтрации локационных сигналов движущихся целей // Радиотехника. 2008. № 7. С. 85–89.

3. Распознавание сигналов локационного зондирования в высокочастотном тракте линии электропередачи методом спектрального анализа / Р. Г. Минуллин, Э. И. Лукин, Э. Ф. Хакимзянов, С. Г. Ведерников, И. С. Лаврентьев // Электротехника. 2011. № 7. С. 47–51.

4. Экспериментальные исследования обработки информации с использованием сверхширокополосного сигнала / Е. Г. Борисов, М. В. Головачев, А. В. Кочетов, П. С. Панфилов // Радиопромышленность. 2014. № 2. С. 19–28.

5. Алгоритм идентификации диагностических признаков по параметрам вибрации компрессорной

установки / В. В. Алексеев, П. Г. Королев, В. С. Коновалова, И. В. Калякин, А. Г. Перкова // Сб. докл. XVIII Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям. СПб., 19–21 мая 2015. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. С. 162–167.

6. Коновалова В. С. Измерение параметров локального сигнала методом дискретного вейвлет-преобразования в режиме реального времени: дис. ... канд. техн. наук / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2012.

7. Алексеев В. В., Коновалова В. С., Королев П. Г. Алгоритм подавления аномальных помех в измерительных системах диагностики аварийной ситуации технических объектов // Актуальные вопр. современной техники и технологии: сб. докл. XVII Междунар. науч. конф., Липецк, 24 окт. 2014 г. / Липецк, Гравис, 2014. С. 79–84.

V. S. Konovalova

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

THE QUESTION OF WAVELET PROCESSING OF LOCATION SIGNALS

Describes the way to get a useful component of the location complex signal at noise interference. The useful component is got with the thresholding of detail factors of a wavelet-decomposition. Probability of the 1st and 2nd type mistake is examined.

Wavelet analysis, noise interference, echolocation, errors of 1st and 2nd kind
