

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Ильясова И. Э.

Кочегуров А. И.

Томский политехнический университет
ilmira13121993@yandex.ru

Введение

В настоящее время сложные сигналы широко применяются в радиолокации, навигации и связи, акустике и ряде других направлений, связанных, прежде всего, с передачей информации в дисперсионных средах [1, 2]. Особое место занимает использование сложных сигналов в геофизике при изучении строения земной толщи [3, 4].

Как известно из радиотехники, сложными сигналами называются сигналы, у которых база B больше единицы [5]:

$$B = T \cdot F, \quad (1)$$

где T – длительность сигнала;

F – полоса частот, в которой сосредоточена основная энергия сигнала.

Придерживаясь данного определения, нетрудно показать, что сейсмические сигналы относятся к классу сложных сигналов. Действительно, длительность сейсмических сигналов составляет порядка 80-100 мс, а полоса частот покрывает 100 Гц, тогда база $B = 8 - 10$.

Целью данной работы является разработка и исследование возможности определения временного положения сложных сигналов на основе вейвлет-преобразования.

Построение математической модели сейсмической записи

Предположим, что на некотором интервале записей наблюдаются сейсмические сигналы, регистрируемые на фоне нерегулярных помех. По сейсмограмме перемещается окно анализа, которое в каждый момент вырезает фиксированный участок записи. Математическая модель такого участка может быть представлена в виде:

$$x(t) = S(t - \tau) + N(\tau), \quad (2)$$

где $S(t - \tau)$ – полезные сейсмические сигналы, по которым ведётся интерпретация;

$N(\tau)$ – аддитивный нерегулярный шум, с числовыми характеристиками $m_x \sigma_x^2$;

τ – временное положение сейсмического сигнала.

Таким образом, любую сейсмограмму можно рассматривать как сумму двух независимых процессов: сигнального, представляющего собой наложение большого числа волн одинаковой формы, и шумового.

Далее сделаем некоторые допущения относительно сигналов и помех. Будем считать, что в (2) сигнал имеет заданную форму и интенсивность, неизвестный параметр – только τ .

$$S(t - \tau) = a_0 * e^{-\beta^2 * (t-\tau)^2} * \cos(2\pi f(t - \tau) + \varphi) \quad (3)$$

– сейсмический сигнал, который описывается с помощью «колокольной» огибающей функции, в литературе часто называемый импульсом Пузырёва (где a_0 – амплитуда, β – коэффициент, определяющий затухание импульса, f – основная частота, φ – начальная фаза).

Определение временного положения сложных сигналов на основе дискретного преобразования Фурье

Хорошо известно, что информация о временном положении сигналов находится в их фазочастотной характеристике (ФЧХ) [6], которая для случая сложных сигналов показывает, насколько одни гармоники запаздывают или опережают другие. Поэтому оптимальный метод обработки ФЧХ реализует оптимальную процедуру определения временного положения сигналов [6, 7]. Для вычисления ФЧХ используется дискретное преобразование Фурье (ДПФ) [8]. На рис. 1 приведена ФЧХ для сейсмоимпульса, рассчитанная на основе ДПФ. Эта характеристика и определяет временное положение сигнала. Подробный анализ измерения временного положения сложного сигнала на основе расчёта ФЧХ приведён в [9] и, по-видимому, не требует дополнительных исследований. Рассмотрим возможность оценки временного положения сложных сигналов на основе вейвлет-преобразования (ВП).

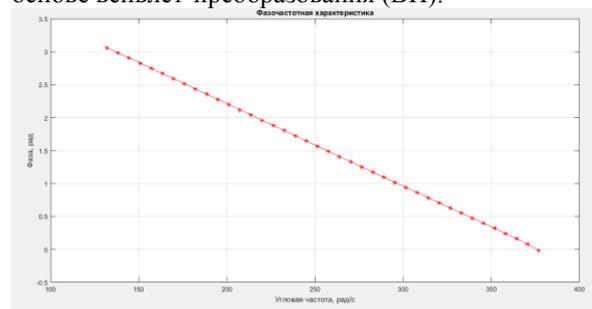


Рис. 1. ФЧХ

Вейвлет-преобразование сложных сигналов

Спектрально-временное представление сложных сигналов на основе вейвлет-преобразований можно представить с помощью рис. 2 и 3, на которых показано выделение сигналов на фоне аддитивных гауссовых помех. Так, на рис. 2 показан зашумлённый сигнал, а на рис. 3 – восстановленный для различного отношения сигнал/шум.

Данные вычисления проводились на построенной модели волнового сейсмического поля на основании методики, изложенной в работах [10].

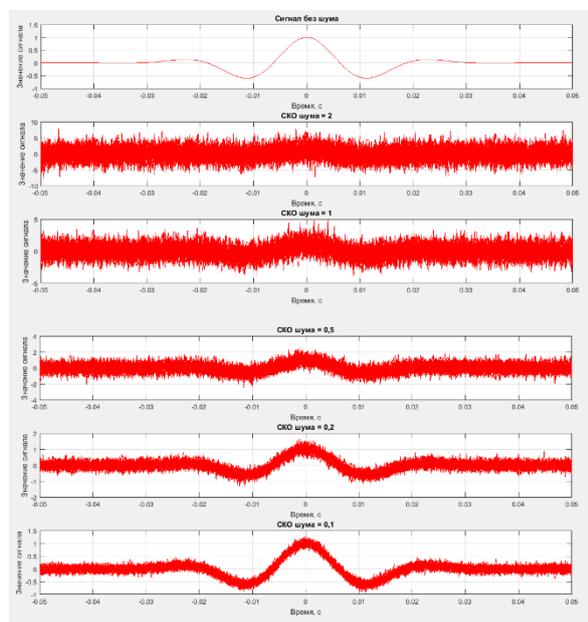


Рис. 2. «Чистый» сигнал и сигнал с шумом с различным СКО

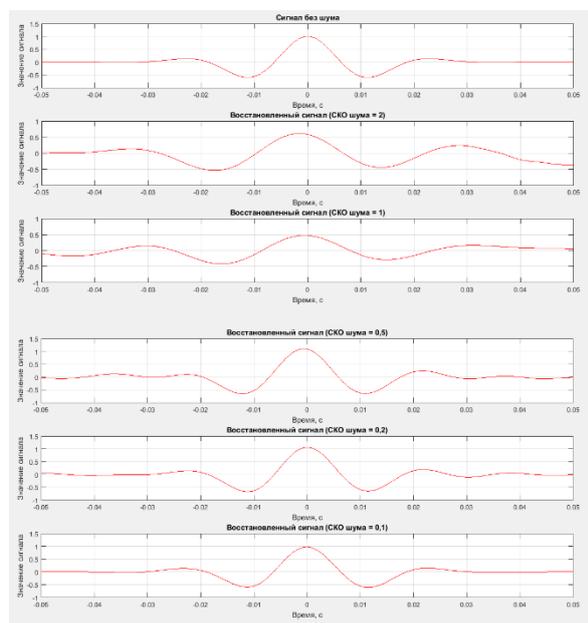


Рис. 3. Восстановленные сигналы

Анализ результатов

Из приведённых рисунков видно, что ВП позволяет достаточно точно восстанавливать сигналы при наличии интенсивных помех. Следовательно, это преобразование может быть использовано для выделения экстремумов записи, которые, как правило, привязываются к временному положению сигналов.

Таким образом, на основе ВП может быть разработан эффективный алгоритм определения временного положения.

Заключение

По результатам работы можно сделать выводы:

- на основе спектральных и спектрально-временных представлениях сложных сигналов могут быть реализованы достаточно эффективные методы определения их временного положения;
- в этом плане для оценки временного положения сейсмических сигналов, наряду с уже широко используемым ДПФ, предлагается применять вейвлет-преобразование;
- проведённые исследования ВП на построенной модели волнового поля показали, что применение данного преобразования оказывается весьма полезным, так как обеспечивает высокую точность восстановления формы, в отличие от фазочастотных алгоритмов.

Список использованных источников

1. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – М.: Сов. Радио, 1966.-667с.
2. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Сов. Радио, 1974. – кн.1. – 552с.
3. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсморазведка. Учебник для вузов. –Тверь: Изд-во АИС, 2006. - 744 с.
4. Гринь Н.Е. Исследования структуры и свойств среды по динамике сейсмических волн. – Киев: Наукова думка, 1979.-216 с.
5. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов. – М.: Сов. Радио, 1978.-304 с.
6. Худяков Г.И. О потенциальной точности определения временного положения флюктуирующих сигналов.- Вопросы радиоэлектроники. Общие вопросы радиоэлектроники, 1984, вып.8, с. 55-60.
7. Иванченков В.П., Кочегуров А.И. Определение временного положения сейсмических сигналов по оценкам их фазочастотных характеристик. Геология и геофизика, 1988, № 9, с.77-83.
8. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. — 2-е. — Спб: Питер, 2006. — С. 751.
9. Кочегуров А.И. Анализ алгоритмов измерения временного положения сложных сигналов по оценкам их фазочастотных характеристик // Проблемы информатики. 2011. №. 2(10). С. 44-50.
10. Яковлев А.Н. Введение в вейвлет-преобразования. – Новосибирск: НГТУ, 2003.