

УДК 004

СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗВУКА ГОРНО-ГЕОЛОГІЧЕСКОГО ВЗРывА

Прилепский В.А.

Донецкий национальный технический университет г.Донецк
Факультет компьютерных наук и технологий
Кафедра компьютерной инженерии
E-mail: vprylepski@mail.ru

Аннотация

Прилепский В.А. Спектральный анализ звука горно-геологического взрыва. Данная статья посвящена разработке методики спектрального анализа звука горно-геологического взрыва, проводимого в рамках лабораторных испытаний. Приводится анализ возможности решения данной задачи на основе вейвлет-преобразования.

Общая постановка проблемы. Объектом исследования являются результаты эксперимента, эскиз проведения которого показан на рисунке 1.

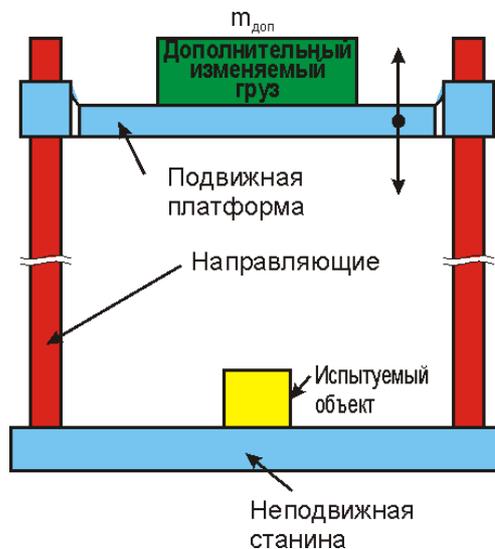


Рисунок 1 - Эскиз установки для проведения испытания

На испытуемое вещество с определенной высоты падает подвижная платформа некоторой массы. В результате воздействия на вещество может произойти его детонация. Факт детонации фиксируется исследователем субъективно, например, визуально или по характеру звука. Проблема состоит в том, что субъективность при определении факта детонации ставит под сомнение результаты исследования. Разработка методики спектрального анализа звука, которым сопровождается взрыв, проводится с целью объективной фиксации результатов эксперимента.

Постановка задачи исследования. Задачей исследования является получение спектра звука горно-геологического взрыва и выделение частот, характеризующих взрыв как физический процесс. Для создания некоторого программного комплекса, который сможет автоматически фиксировать результат эксперимента, необходимо сформулировать математические критерии, которые позволят достоверно определить факт, произошел взрыв или нет.

Решение задачи и результаты исследований. В основе спектрального анализа сигналов лежит тот факт, что любой произвольный сигнал, удовлетворяющий условию

$$\int_{t_1}^{t_2} [S(t)]^2 dt < \infty,$$

может быть представлен ортогональной системой функций:

$$S(t) = c_0 \varphi_0(t) + \dots + c_n \varphi_n(t) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n \varphi_n(t),$$

коэффициенты которой определяются по формуле:

$$c_n = \frac{1}{\|\varphi_n\|^2} \int_{t_1}^{t_2} S(t) \varphi_n(t) dt.$$

$$\|\varphi_n\|^2 = \int_{t_1}^{t_2} \varphi_n^2(t) dt \text{ – квадрат нормы, или энергия базисной функции.}$$

Задачей спектрального анализа является экспериментальное или аналитическое определение коэффициентов c_n .

Аппарат преобразования Фурье использует функции синуса и косинуса в качестве ортогональной системы функций. Недостаток такого подхода заключается в том, что эти функции имеют одинаковые характеристики на всем временном промежутке. В то же время большинство исследуемых сигналов являются нестационарными. Это означает, что их частотное наполнение непрерывно изменяется, отражая динамические физические процессы, проходящие в исследуемом объекте. Поэтому локальные особенности таких сигналов будут практически незаметны в спектре, полученном с помощью преобразования Фурье.

Вейвлет-преобразование позволяет детально исследовать структуру нестационарного сигнала. В его основе лежит применение в качестве ортогональной системы функций некоторого сигнала, называемого вейвлетом. На рисунке 2 показан пример вейвлета, получивший название «биортогональный». Общий вид вейвлет-функции:

$$\psi(s) = \frac{1}{\sqrt{s}} \cdot \psi_0\left(\frac{t-b}{s}\right).$$

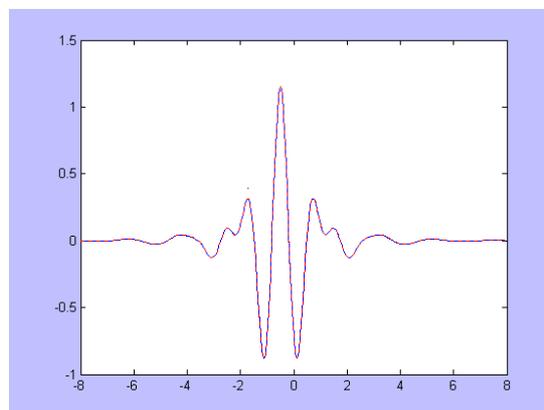


Рисунок 2 – Биортогональный вейвлет

где s – масштабный коэффициент. При $s > 1$ вейвлет растягивается и уменьшается по амплитуде, тем самым частотный спектр вейвлета смещается в сторону уменьшения частот, при $s < 1$ – в сторону увеличения частот;

b – коэффициент смещения, обеспечивает перемещение вейвлета во временной области;

ψ_0 - материнский вейвлет.

Вейвлеты обладают рядом свойств, обуславливающих ценность рассматриваемого метода при анализе нестационарных сигналов:

- нулевое значение интеграла;
- локализация во времени;
- возможность сдвига во времени;
- масштабируемость;
- ограниченный частотный спектр.

При непрерывном вейвлет-преобразовании базис функций представляет собой непрерывные масштабные преобразования (s) и переносы (b) материнского вейвлета. Тогда прямое непрерывное ВП записывается по формуле:

$$W_s(s, b) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \psi\left(\frac{t-b}{s}\right) dt$$

Отсюда также следует, что вейвлет-спектр $W_s(s, b)$ является функцией двух аргументов: s - временной масштаб и b – смещение сигнала во времени.

На практике наиболее часто применяется дискретное вейвлет-преобразование, которое предполагает дискретизацию во времени как исследуемого сигнала, так и коэффициентов s и b .

Исследование спектра звуковых записей проводилось в среде Matlab, которая содержит достаточно полный пакет функций для работы с вейвлетами и большое разнообразие материнских вейвлетов. Используются две записи – на одной из них записан звук испытания, достоверно закончившегося взрывом, на другой присутствует только удар подвижной платформы по исследуемому веществу. Звук одноканальный. Для анализа сигналов использовался биортогональный вейвлет, который по результатам сравнения дает наиболее показательные результаты. Спектрограмма представляет собой функцию 2 переменных и изображается в виде проекции на плоскость, а значения коэффициентов отражаются цветом. Полученные спектрограммы показаны на рисунке 3.

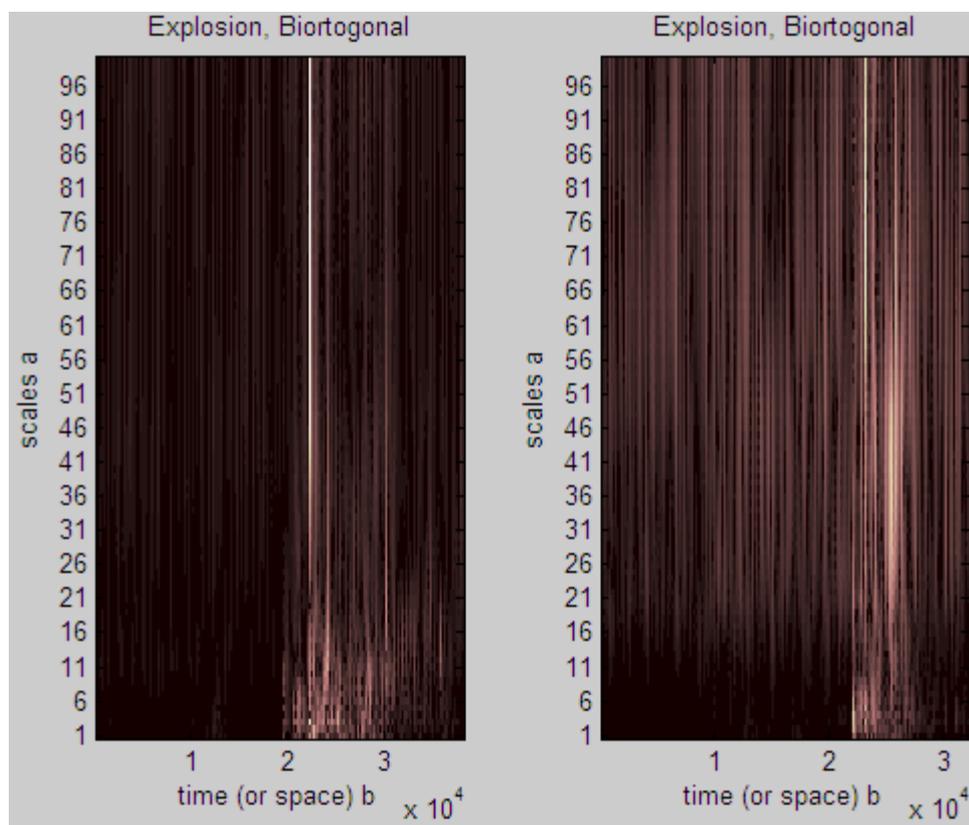


Рисунок 3 – Спектрограмми досліджуваних звукових сигналів

Рисунок показує присутність великої кількості шумів. Це пов'язано з тим, що звук випробування був записаний на цифровий диктофон, але в найближчому часі планується повторення випробувань і перезапис звуку.

Тем не менше, деякі характерні для вибуху деталі сигналів на наведених спектрограмах відображені. Ярка вертикальна смуга характеризує момент удару рухомої платформи по станині. На правій частині зображення спостерігається також велика кількість аналогічних паралельних смуг, що відповідають еху від удару. В нижній частині графіка зліва, яка відповідає вищим частотам, спостерігається посилення потужності складових сигналів. Припускається, що ця частотна область відповідає процесу детонації.

Висновки. Таким чином, вейвлет-перетворення дозволяє виявити локальні особливості звуку горно-геологічного вибуху. Отже, воно застосовується для розв'язання поставленої задачі.

Список літератури

1. Добеші І. Десять лекцій по вейвлетам / І. Добеш. – Іжевськ : Регулярна і хаотична динаміка, 2001. – 464 с.
2. Мала С. Вейвлет-перетворення сигналів / С. Мала. – М. : Мир, 2005. – 671 с.
3. Яковлев А. Н. Введення в вейвлет-перетворення / Учеб. посібник. - Новосибірськ: Ізд-во НГТУ, 2003. – 104 с.