



Общероссийский математический портал

А. А. Афанасьева, О. О. Луковенкова, Методы обнаружения импульсов геоакустической эмиссии на основе алгоритмов разреженной аппроксимации и кластеризации, *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*, 2013, выпуск 2(7), 68–73

DOI: <http://dx.doi.org/10.18454/2079-6641-2013-7-2-68-73>

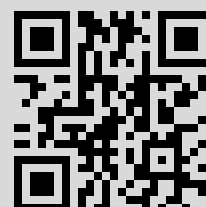
Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 77.82.207.136

15 июля 2016 г., 15:32:13



DOI: 10.18454/2079-6641-2013-7-2-68-73

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 519.622+519.633

### **МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ РАЗРЕЖЕННОЙ АППРОКСИМАЦИИ И КЛАСТЕРИЗАЦИИ**

**Афанасьева А.А., Луковенкова О.О.**

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,  
684034, Камчатский край, с. Паратунка, ул. Мирная, 7

E-mail: a.a.afanaseva@yandex.ru, o.o.lukovenkova@yandex.ru

Разреженная аппроксимация является мощным инструментом частотно-временного анализа сигналов. В данной публикации описывается использование алгоритма согласованного преследования для обнаружения импульсов геоакустической эмиссии. Спроектированный алгоритм был протестирован на реальных данных.

*Ключевые слова: разреженная аппроксимация, геоакустическая эмиссия, согласованное преследование.*

© Афанасьева А.А., Луковенкова О.О., 2013

INFORMATION AND COMPUTATION TECHNOLOGIES  
MSC 65L12

### **METHODS FOR FINDING GEOACOUSTIC EMISSION IMPULSES BASED ON SPARSE APPROXIMATION AND CLUSTERIZATION ALGORITHMS**

**A.A. Afanas'eva, O.O. Lukovenkova**

Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation Far-Eastern Branch,  
Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7,  
Russia

E-mail: a.a.afanaseva@yandex.ru, o.o.lukovenkova@yandex.ru

The sparse approximation is a powerful instrument for time-and-frequency signal analysis. This publication outlines use of matching pursuit method for finding impulses in geoacoustic emission signals. Designed algorithm was tested on actual data.

Key words: sparse approximation, geoacoustic emission, matching pursuit

© Afanas'eva A.A., Lukovenkova O.O., 2013

## Введение

С 1999 года на полуострове Камчатка проводится изучение геоакустической эмиссии на различных стадиях сейсмической активности. Регистрация осуществляется непрерывно с частотой 48 кГц, что в принципе не позволяет проводить ручную обработку. Анализ геоакустического сигнала показывает, что он состоит из серии релаксационных колебаний (импульсов) с ударным возбуждением, амплитудой 0.1 – 1 Па, длительностью, не превышающей 200 мс, частотным заполнением в единицы и первые десятки кГц [1].

Одной из основных задач обработки сигналов геоакустической эмиссии является автоматическое выделение и частотно-временной анализ импульсов.

В данной статье предложен новый метод обнаружения импульсов геоакустической эмиссии, основанный на анализе разреженной аппроксимации сигнала [2].

## Алгоритм построения модели сигнала

Под аппроксимацией сигнала по словарю понимается разложение вида:

$$f(t) = \sum_{m=0}^{N-1} a_m g_m(t) + R_N,$$

$$\|R_N\| \rightarrow \min,$$

где  $f(t)$  – исследуемый сигнал,  $g_m(t)$  – элемент (атом словаря) словаря  $D = g_m(t)$ ,  $\|g_m\| = 1$ ,  $a_m$  – коэффициенты разложения,  $N$  – количество элементов разложения,  $R_N$  – ошибка аппроксимации.

Разреженная аппроксимация предполагает построение модели сигнала, содержащей наименьшее число элементов и одновременно минимизирующей ошибку, т.е.

$$f(t) = \sum_{m=0}^{N-1} a_m g_m(t) + R_N,$$

$$\|R_N\| \rightarrow \min,$$

$$\|a_m\|_0 \rightarrow \min,$$

где  $\|\cdot\|_0$  – псевдонорма, равная числу ненулевых членов вектора.

Задача разреженной аппроксимации сигнала обладает большой вычислительной сложностью, и не существует известного алгоритма, способного решить её за полиномиальное время.

Существует два подхода, уменьшающих вычислительную сложность поставленной задачи: преследование базиса и согласованное преследование. При анализе сигналов геоакустической эмиссии лучшие результаты показал классический алгоритм согласованного преследования (Matching Pursuit), предложенный Mallat S. И Zhang Z. Суть алгоритма сводится к итеративному процессу поиска элементов словаря, минимизирующих на каждом шаге ошибку аппроксимации [3]

$$\begin{cases} R^0 f = f \\ R^n f = \langle R^n f, g_{\gamma_n} \rangle g_{\gamma_n} + R^{n+1} f \\ g_{\gamma_n} = \arg \left[ \max_{g_{\gamma_i} \in D} |\langle R^n f, g_{\gamma_i} \rangle| \right] \end{cases}.$$

Для аппроксимации сигналов ГАЭ было решено использовать словарь, составленный из промодулированных функций Берлаге, обладающих схожей структурой с импульсами [4].

В ходе большого числа экспериментов выяснилось, что ошибка аппроксимации спадает быстрее для участков сигнала, содержащих импульсы, т.о. особая динамика спада ошибки аппроксимации является характерным признаком наличия импульса в сигнале.

Предобработка сигналов ГАЭ заключается в нормировании, центрировании и фильтрации сигнала в диапазоне 1-48 кГц. Фильтрация позволяет очистить сигнал от техногенных наводок и помех, имеющих место в регистрирующем тракте.

Следующим этапом является поиск правил для обнаружения импульсов. Признаковое пространство данной задачи классификации образовано значениями спада ошибки метода согласованного преследования при аппроксимации участков сигнала длительностью 8 мс 15 атомами словаря Берлаге. Рассмотрены сигналы, регистрируемые в разные дни, и сформирована обучающая выборка, состоящая из 1000 объектов класса «Импульс есть» и 1000 объектов класса «Импульса нет» (рис.1).

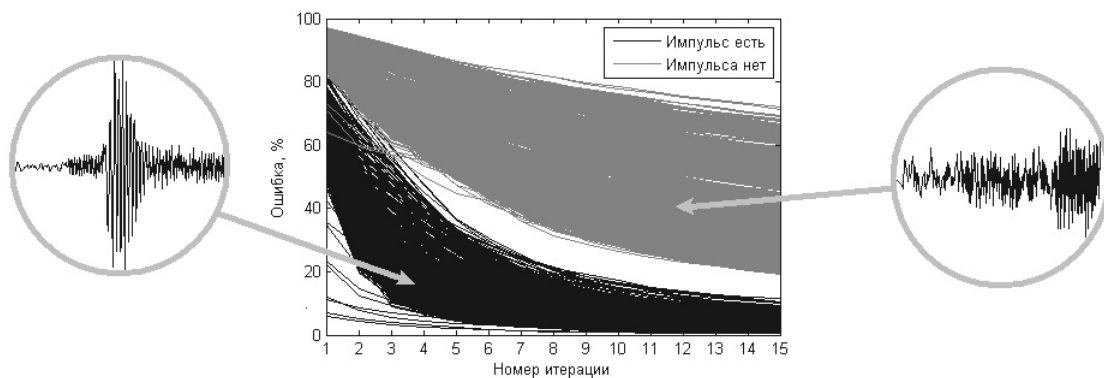


Рис. 1. Обучающая выборка

Следует отметить, что для построения выборки использовались наиболее явные импульсы, амплитуда которых превышала амплитуду шума не менее, чем в 3 раза. Поиск решающих правил осуществлялся двумя способами.

#### 1) Граница областей.

Как видно из рис.1, графики спада ошибок объектов класса «Импульс есть» и объектов класса «Импульса нет» сгруппированы в различных областях координатной плоскости, следовательно, возможно построить линию, четко разграничивающую данные области, и классифицировать неизвестный объект по положению графика спада ошибки относительно полученной линии (рис.2).

#### 1) Центры классов.

Если представить график спада ошибки каждого объекта обучающей выборки как пятнадцатимерную точку, то для каждого из множеств «Импульс есть» и «Импульса нет» можно рассчитать центральный элемент, и класс неизвестного объекта определять по степени близости его точки в пятнадцатимерном пространстве к центральному элементу (рис.2) Решающие правила были протестированы на 5023 неизвест-

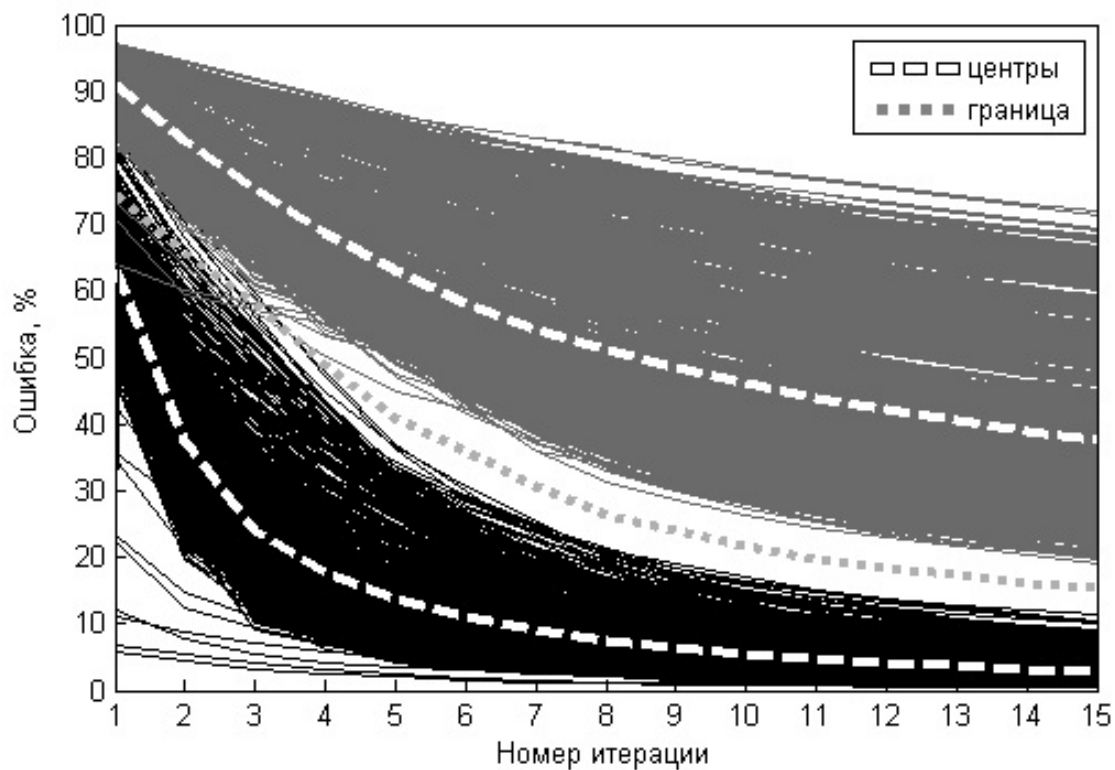


Рис. 2. Граница областей и центры классов

ных объектах (см. табл.). Наиболее эффективным по проценту корректно определенных объектов оказалось правило, полученное третьим способом.

Таблица

Результаты тестирования решающих правил.

Тип объекта	Всего	Кол-во неправильно определенных объектов	Процент правильно определенных объектов
Импульсы	3899	8	99,78%
Шум	1124	0	100%
<i>Центры классов</i>			
Импульсы	3899	6	99,85%
Шум	1124	0	100%

Для проверки робастности алгоритма обнаружения импульсов на основе метода согласованного преследования был проведен следующий эксперимент. Было отобрано 200 слабо зашумленных импульсов, не включенных в обучающую выборку, к каждому из них последовательно до тех пор, пока алгоритм не давал ложный результат,

прибавлялся белый шум все большей амплитуды. Эксперимент показал, что алгоритм дает ложный результат в среднем при соотношении сигнал – шум, равном 3.4 Дб. На рис.3 представлен график зависимости процента правильного распознавания от соотношения сигнал – шум (SNR).

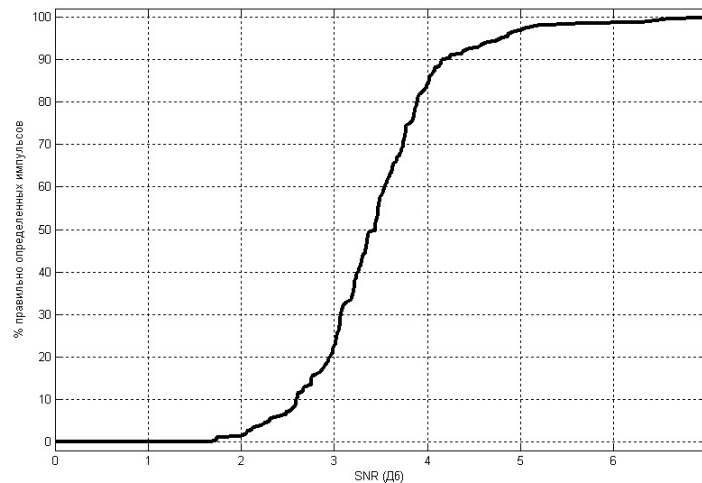


Рис. 3. График зависимости процента правильного распознавания от SNR

## Заключение

Разработанный алгоритм был протестирован на сигнале длиной 10000 отсчетов. На вход алгоритма посылались участки, вырезанные скользящим окном длительностью 8 мс. Для участков, содержащих импульс, частотно-временное разложение сохранялось. В результате были выявлены все импульсы, присутствующие в сигнале, за исключением сильно зашумленных и искаженных (рис.4).

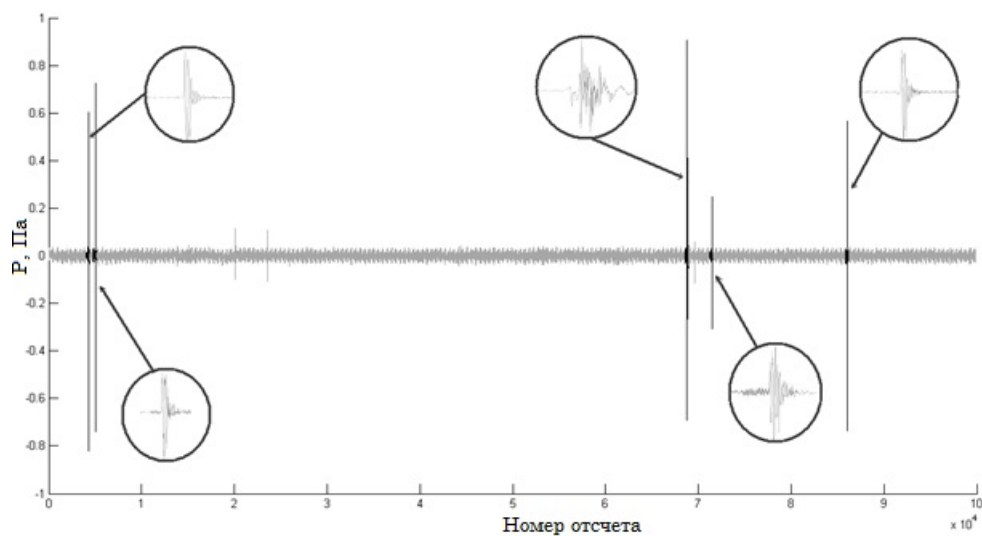


Рис. 4. Эксперимент на реальных данных

## Библиографический список

1. Марапулец Ю.В., Шевцов Б.М. Мезомасштабная акустическая эмиссия. – Владивосток: Дальнаука, 2012.
2. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов. М.: Мир, 2005. – 672 с.
3. Марапулец Ю.В., Тристанов А.Б. Применение метода разреженной аппроксимации в задачах анализа сигналов геоакустической эмиссии // Цифровая обработка сигналов. 2011. №2. С.13-17.
4. Марапулец Ю.В., Тристанов А.Б. Разреженная аппроксимация акустических временных рядов с использованием частотно-временного словаря Берлаге// Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. Серия: Цифровая обработка сигналов и её применение. 2012. Выпуск: XIV; Том-1, С. 91-94.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 19.11.2013