

# ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИЭВРИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Д.Л. Мерсон, А.Г. Панин

*Тольяттинский Государственный Университет, Тольятти, Россия*

e-mail: [d.merson@tltsu.ru](mailto:d.merson@tltsu.ru), [ag.panin@gmail.com](mailto:ag.panin@gmail.com)

## Аннотация

В данной работе предлагается применение мультиэвристического подхода для задания метрики на множестве акустических сигналов, на основе которой проводится кластерный анализ. Рассматриваются результаты применения указанного подхода совместно с вейвлет-преобразованием, которое используется для первоначальной обработки данных.

## Введение

Метод акустической эмиссии является относительно новым и достаточно перспективным методом исследования, позволяющим получать информацию о составе, дефектности, различных свойствах исследуемых объектов, изучать динамику происходящих процессов в реальном времени. Метод заключается в регистрации высокочувствительными датчиками упругих волн, возникающих в процессе перестройки внутренней структуры твёрдых тел. [6, 7] Этот метод позволяет получить огромное количество акустических данных, из которых можно извлечь информацию о текущем состоянии объекта. Одной из важнейших проблем метода акустической эмиссии является сложность расшифровки результатов контроля, обусловленная количеством акустических данных, наложением на сигнал акустической эмиссии шумов исследуемого объекта, окружающей среды, отражённых акустических волн. [7]. В данной работе для решения проблем, связанных с обработкой сигнала, и выявления связей между регистрируемыми акустическими сигналами и протекающими внутри объекта исследования процессами предлагается подход, включающий в себя три этапа: вейвлет-преобразование сигналов, их сравнение с помощью мультиэвристического подхода и кластеризация на основе результатов сравнения.

## Описание алгоритма

Вейвлет-преобразование осуществлялось на графическом процессоре, так как его использование позволяет существенно уменьшить время преобразования. В качестве фильтров были выбраны фильтры семейства Добеши [1], но при изменении эвристик, используемых в мультиэвристическом подходе, другие фильтры могут оказаться предпочтительнее.

Мультиэвристический подход строится на основе комбинации эвристик, взятых из нескольких различных областей теории искусственного интеллекта. Базовым методом является незавершённый метод ветвей и границ. Выбор очередного шага этого метода основывается на результатах работы различных эвристик, которые усредняются с помощью динамических функций риска. Для подбора коэффициентов усреднения применяются генетические алгоритмы, упрощённое самообучение которыми применяется также и для старта незавершённого метода ветвей и границ [2, 3, 4].

Сравнение двух сигналов с помощью мультиэвристического подхода можно произвести следующим образом. На каждом шаге мы сравниваем очередные значения обоих сигналов, результат сравнения прибавляем к итоговому результату, после чего с помощью различных эвристик осуществляем сдвиг какого-либо сигнала (или сразу обоих). Сравнение значений сигналов можно производить различными способами. Например, результат сравнения может быть равен абсолютному значению разницы между ними, если знаки первых производных одинаковы. Если знаки производных различны, к результату сравнения прибавляется некоторая константа – штраф. При достижении конца одного из сигналов результат делится на среднее значение длины сигналов.

Используя этот метод сравнения строилась таблица сходства сигналов, на основе которой производилась кластеризация. Для того, чтобы усилить различие между кластерами, значения в таблице приводились в интервал [1; 100] и возводились во вторую степень. Для кластеризации был выбран алгоритм нечёткой кластеризации, так результат кластеризации этим методом является наиболее информативным по сравнению с другими методами [5]. Таблица сходства интерпретировалась как таблица координат объектов в n-мерном пространстве, где n – количество объектов.

В таблице представлен типичный результат кластеризации исходных сигналов:

Номер кластера	1	2
Сигнал 1	0,71059	0,28941
Сигнал 2	0,38999	0,61001
Сигнал 3	0,20547	0,79453
Сигнал 4	0,70226	0,29774
Сигнал 5	0,47679	0,52321
Сигнал 6	0,71783	0,28217
Сигнал 7	0,20268	0,79732
Сигнал 8	0,60624	0,39376
Сигнал 9	0,2014	0,7986
Сигнал 10	0,7172	0,2828
Сигнал 11	0,19454	0,80546
Сигнал 12	0,20108	0,79892

По результатам кластеризации можно сказать, что мультиэвристический подход позволяет выделять некоторые особенности сигналов, которые позволяют разделять их на достаточно чёткие кластеры, и, следовательно, позволяет задать «адекватную» метрику на множестве сигналов акустической эмиссии.

### Заключение

Предложенный алгоритм имеет несколько параметров, изменение которых может сильно повлиять на результат кластеризации. Для оптимизации значений этих параметров алгоритма был разработан и реализован генетический алгоритм. Параметрами оптимизации являются, например, количество проходов вейвлет-преобразования, используемый фильтр, различные параметры мультиэвристического подхода, параметры нечёткой кластеризации, параметры нормализации матрицы сходства (степень). Цель оптимизации – минимизация

отклонения результатов кластеризации от результатов классификации сигналов по имеющейся информации о физических процессах, сопровождающихся данными сигналами. В настоящее время ведётся работа в этом направлении.

### Литература

- [1] И. Добеши. Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
- [2] Б. Ф. Мельников. Эвристики в программировании недетерминированных игр. // Известия РАН. Программирование, 2001, № 5, С. 63–80.
- [3] Б. Ф. Мельников, А. Н. Радионов. О выборе стратегии в недетерминированных антагонистических играх. // Известия РАН. Программирование, 1998, № 5, С. 55—62.
- [4] Б. Ф. Мельников Мультиэвристический подход к задачам дискретной оптимизации. // Кибернетика и системный анализ. – НАН Украины, 2006, № 3. – С. 32–42.
- [5] С.Д. Штовба. Введение в теорию нечётких множеств и нечёткую логику. – Винница: Издательство винницкого государственного технического университета, 2001.
- [6] ГОСТ 27655-88. Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 29с.
- [7] Pollock Adrian. Acoustic Emission Inspection / Adrian Pollock // Metals Handbook, Ninth Edition ASM International. Vol. 17. 1989. - P. 278-294.