

V. V. Zharikov, A. A. Paznikov
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

ADAPTIVE ALGORITHM OF BARRIER SYNCHRONIZATION IN THE MPI STANDARD ON THE BASIS OF PARALLEL COMPUTING MODELS LOGP

The problem of developing an adaptive algorithm for barrier synchronization of branches of parallel MPI-programs in distributed computing systems is considered. An algorithm of barrier synchronization providing a suboptimal choice of the scheme for implementing barrier synchronization is proposed. During the selection process, the time of execution of information exchanges in the LogP parallel computing model is taken into account. Analytic estimates of the execution time of the barrier synchronization algorithms in the LogP model are constructed. The proposed adaptive algorithm is implemented in the MPI standard. The results of field experiments on cluster computer systems for analyzing the efficiency of the created algorithms are presented. The results of the experiments allow us to trace the relationship between the parameters of the LogP model, the number of processes and the choice of algorithms for the implementation of barrier synchronization. The developed algorithm made it possible to achieve a 4% decrease in the average implementation time for the implementation of barrier synchronization.

Collective exchanges, barrier synchronization, distributed computing systems, LogP, MPI, parallel programming

УДК 621.391

О. О. Луковенкова

Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга

А. Б. Тристанов

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

В. В. Геппенер

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

Моделирование частотно-временной структуры геоакустических импульсов с использованием методов интеллектуального анализа

Рассмотрено моделирование частотно-временной структуры заданного класса геоакустических импульсов. Для реализации процесса моделирования предложено использование комбинации методов частотно-временного, статистического и интеллектуального анализа, а также методов разреженной аппроксимации. Частотно-временное представление сигнала строится с использованием алгоритма адаптивного согласованного преследования. Показано разбиение построенных представлений на классы методами иерархической кластеризации. Получены и проанализированы 4 класса геоакустических импульсов. Предложено выявлять внутренние закономерности структуры заданного класса импульсов с использованием алгоритмов поиска ассоциативных правил и статистического анализа. Полученные алгоритмы затем используются для моделирования импульсов геоакустической эмиссии. Разработанные алгоритмы анализа и моделирования геоакустических импульсов реализованы на языке программирования MATLAB. Созданная система протестирована на типовых геоакустических импульсах характерной формы. Показано соответствие реальных и модельных импульсов, что доказывает корректность выявленных закономерностей.

Геоакустическая эмиссия, геоакустический импульс, частотно-временная структура, интеллектуальный анализ сигналов, разреженная аппроксимация

Под акустической эмиссией понимаются упругие колебания, возникающие в результате дислокационных изменений в твердых телах. Свойства ре-

гистрируемого при этом импульсного излучения напрямую зависят от характеристик порождающего пластического процесса [1]–[3]. В зависи-

мости от частотного диапазона существует 3 области исследования акустической эмиссии: в сейсмологии (доли – единицы герц) [4]; в задачах неразрушающего контроля для испытания материалов на прочность и обнаружения скрытых дефектов (от 20...30 кГц до нескольких мегагерц) [5], [6] и в геофизике при изучении механизмов трещинообразования горных пород (от сотен герц до первых десятков килогерц) [7].

Промежуточный звуковой диапазон важен при изучении взаимодействия микро- и макродислокаций, поэтому акустическая эмиссия звукового диапазона (геоакустическая эмиссия) особенно интересна при исследовании пластических процессов в природных средах. Данные сигналы позволят исследовать устойчивость природных ландшафтов, разнообразных технических сооружений и могут выступать в роли предвестников землетрясений различной природы [7]–[9].

Для анализа и обработки импульсных сигналов акустической эмиссии чаще всего используются классические частотные и частотно-временные преобразования, например преобразование Фурье, вейвлет-преобразование, преобразование Вигнера–Вилля и пр. Однако процесс исследования импульсов высокочастотной геоакустической эмиссии данными методами сталкивается с рядом трудностей: сильная зашумленность как природными, так и техногенными помехами осложняет анализ структуры импульсов; широкое разнообразие временных форм сигналов осложняет задачу классификации и требует применения адаптирующихся под конкретный сигнал методов анализа; главным препятствием для анализа частотно-временной структуры импульсов является их короткая длительность, приводящая к плохому частотно-временному разрешению, длительность одиночного импульса не превосходит 200 мс, в среднем составляет менее 50 мс при частоте регистрации 48 кГц.

Построение частотно-временного представления геоакустических импульсов. В общем случае геоакустический импульс, как и любой другой природный сигнал, можно *представить* в виде суммы шума $\varepsilon(t)$ и некоторой функции $s(t)$, аналитическое выражение которой неизвестно: $x(t) = s(t) + \varepsilon(t)$, $\|\varepsilon(t)\| < \|s(t)\|$.

Так как $s(t)$ трудно представить (или не представить вообще) в аналитическом виде, то ее аппроксимируют рядом функций из пространства $L^2(R)$, т. е. описывают аддитивной моделью

$$s(t) \approx \sum_{m=0}^{N-1} a_m g_m(t),$$

где $g_m(t)$ – функции, по которым раскладывается $s(t)$; a_m – коэффициенты разложения; N – количество функций, входящих в модель.

На практике шумовая составляющая геоакустического импульса $\varepsilon(t)$ достаточно сильна и для нее также можно построить отдельную аддитивную модель. Тогда импульс $x(t)$ может быть описан следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t) = \sum_{i=0}^{N_1-1} \alpha_i g_i(t; \bar{p}) + \\ + \sum_{j=N_1}^{N_1+N_2-1} \beta_j g_j(t; \bar{p}) + R_N, \quad t_1 \leq t \leq t_L, \\ \|R_N\| \rightarrow \min, \end{array} \right.$$

где $g_i(t; \bar{p})$ – функции, аппроксимирующие импульс; $g_j(t; \bar{p})$ – функции, аппроксимирующие шум; t_1 – начальный момент времени; t_L – конечный момент времени; α_i, β_j – коэффициенты разложения. Значение N_1 характеризует сложность структуры импульса, N_2 – зашумленность импульса. Невязка R_N определяет степень соответствия разложения реальному сигналу $x(t)$, при этом

$$\left\| \sum_{j=N_1}^{N_1+N_2-1} \beta_j g_j(t; \bar{p}) \right\| < \left\| \sum_{i=0}^{N_1-1} \alpha_i g_i(t; \bar{p}) \right\|,$$

$$\|R_N\| \ll \left\| \sum_{i=0}^{N_1-1} \alpha_i g_i(t; \bar{p}) \right\|.$$

Таким образом, «чистый» импульс геоакустической эмиссии приближенно можно представить в виде ряда

$$s(t) \approx \sum_{i=0}^{N_1-1} \alpha_i g_i(t; \bar{p}), \quad t_1 \leq t \leq t_L.$$

В ходе экспериментов было доказано, что наилучшее качество аппроксимации геоакустических импульсов достигается при использовании модулированных функций Гаусса и Берлага [10]–[12]. При этом каждая функция (частотно-временной атом), входящая в представление, характеризуется набором параметров $\bar{p} = (f, T_{\text{end}}, \dots)$. В качестве метода определения коэффициентов α_i, β_j было предложено адаптивное согласованное преследование – алгоритм, позволяющий найти прибли-

женное решение задачи разреженной аппроксимации. Данный алгоритм был разработан на основе классического согласованного преследования, предложенного Малла в [13]. Для итерационного уточнения параметров функции $\bar{p} = (f, T_{\text{end}}, \dots)$ к алгоритму согласованного преследования была добавлена процедура уточнения, реализованная с помощью численного метода типа покоординатного спуска. Подробнее с методом и получаемыми частотно-временными представлениями можно ознакомиться в [10], [14].

Поскольку функции g_i обладают простой внутренней структурой, т. е. локализованы и по времени, и по частоте, но имеют короткую длительность, то для их частотно-временного представления было выбрано квадратичное преобразование Вигнера–Вилля. Без учета интерференционных компонент преобразование Вигнера–Вилля геоакустического импульса может быть описано следующим соотношением:

$$P_s(\tau, \omega) \approx \sum_{i=0}^{N_1-1} \alpha_i P_{g_i}(\tau, \omega),$$

где

$$P_{g_i}(\tau, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} g_i\left(\tau + \frac{t}{2}\right) g_i^*\left(\tau - \frac{t}{2}\right) e^{-j\omega t} dt$$

– преобразования Вигнера–Вилля функций g_i .

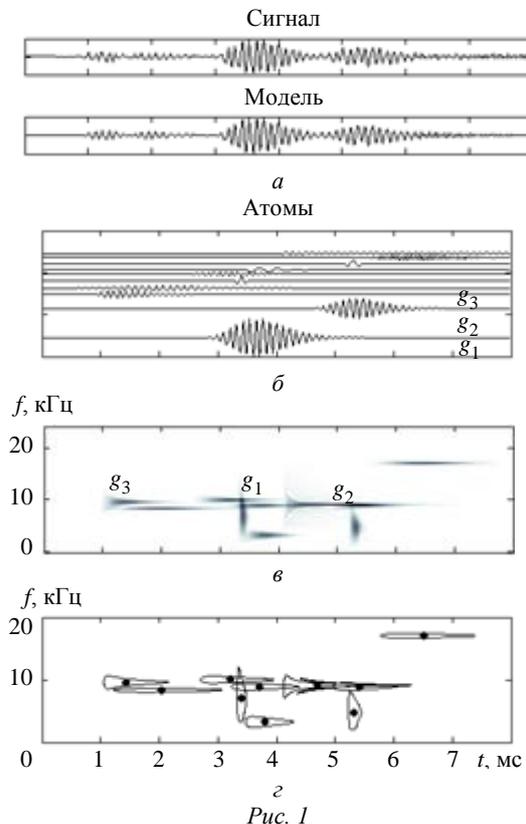


Рис. 1

На рис. 1, а и 2, а изображены 2 импульса геоакустической эмиссии во временной области, на рис. 1, б и 2, б – временные формы функций g_i , входящих в разреженные представления сигналов, на рис. 1, в–г и 2, в–г – частотно-временные представления, при этом визуализация осуществляется двумя способами: классическим (градации серого, рис. 1, в и 2, в) и с помощью линий уровня (рис. 1, г и 2, г). Центры частотно-временных окон, отмеченные точками, приближенно оценены по формулам

$$\tau_i = \frac{1}{\|g_i(t; \bar{p})\|^2} \int_{-\infty}^{+\infty} t |g_i(t; \bar{p})|^2 dt,$$

$$f_i = \frac{1}{2\pi \|G_i(\omega; \bar{p})\|^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \omega |G_i(\omega; \bar{p})|^2 d\omega.$$

Алгоритм анализа частотно-временной структуры импульсного сигнала. На практике опытным путем было выявлено, что у большей части геоакустических импульсов достаточное количество информации о частотно-временной структуре несут первые 3–5 частотно-временных атомов, что подтверждается уровнем ошибки в 10–15%. В среднем полезная часть импульса аппроксимируется четырьмя атомами. Для эксперимента было отобрано 1350 одиночных геоакустических импульсов длиной 8 мс, содержащих в

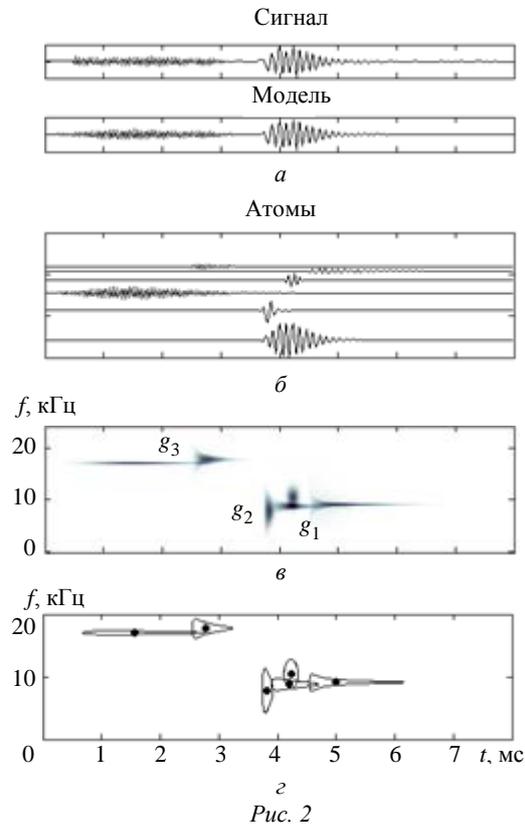


Рис. 2

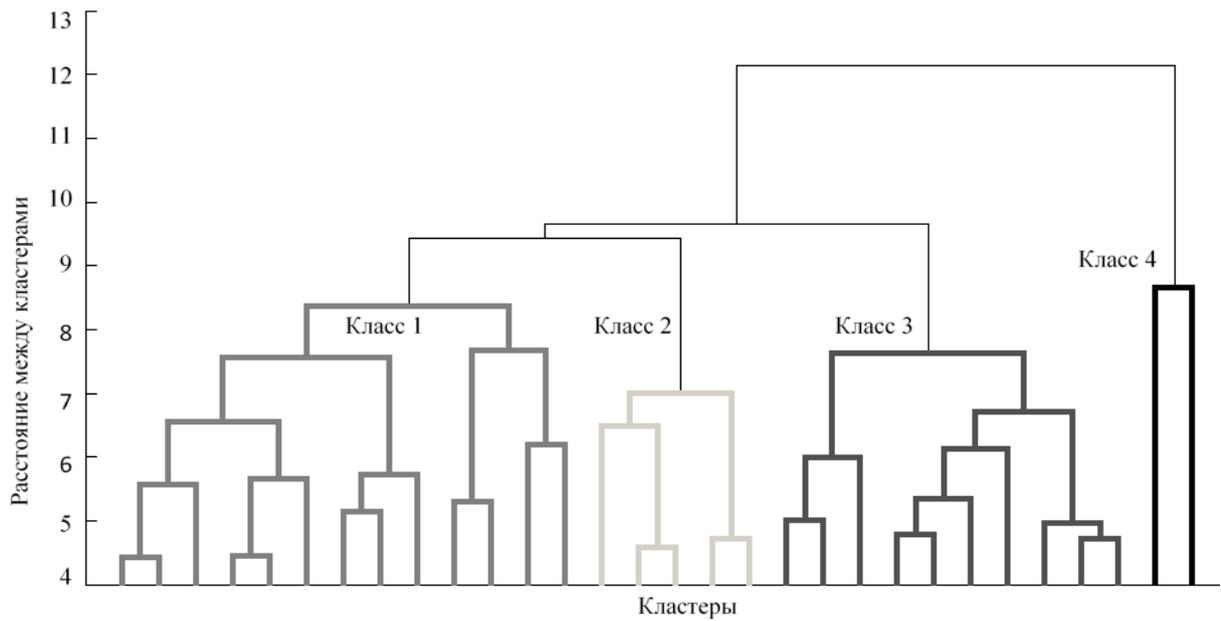


Рис. 3

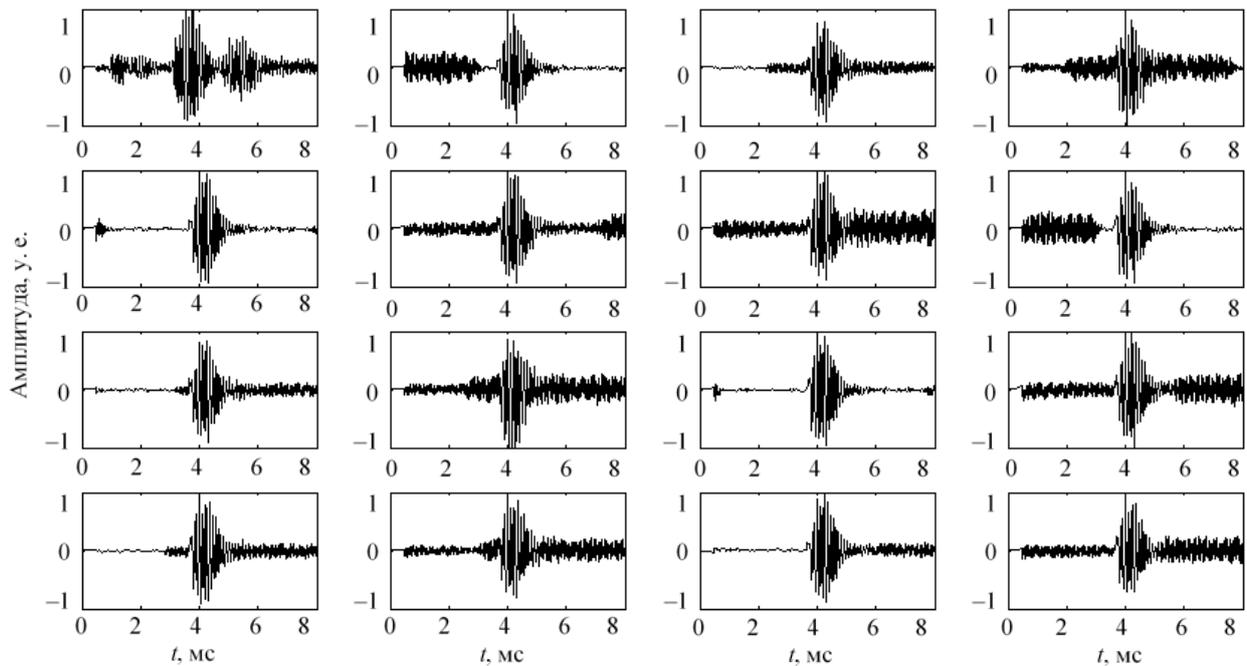


Рис. 4

модели не менее четырех атомов, описывающих полезный сигнал ($N_1 \geq 4$). Каждый импульс описывался 12 параметрами ($\alpha_1, \tau_1, f_1, \alpha_2, \tau_2, f_2, \alpha_3, \tau_3, f_3, \alpha_4, \tau_4, f_4$), по которым была произведена иерархическая кластеризация центроидным методом, при этом использовалась стандартная евклидова метрика. В результате была построена дендрограмма (рис. 3).

Согласно полученным данным исходную выборку импульсов можно разбить на 4 класса, при этом самый многочисленный первый класс содержит 1322 объекта и описывает наиболее часто встречаемые при регистрации типовые геоаку-

стические импульсы (рис. 4). На рис. 5 изображены импульсы, принадлежащие второму классу и представляющие собой неоднородные по частоте сигналы с резким переходом от низкой частоты к высокой и наоборот. При этом у низкочастотной составляющей амплитуда выше, чем у высокочастотной.

На рис. 6 и 7 изображены импульсы, принадлежащие третьему и четвертому классам соответственно. Третий класс также описывает импульсы, состоящие из высокочастотной и низкочастотной составляющих, однако в отличие от второго класса амплитуда высокочастотной составляющей выше, поэтому она первой выделяется в

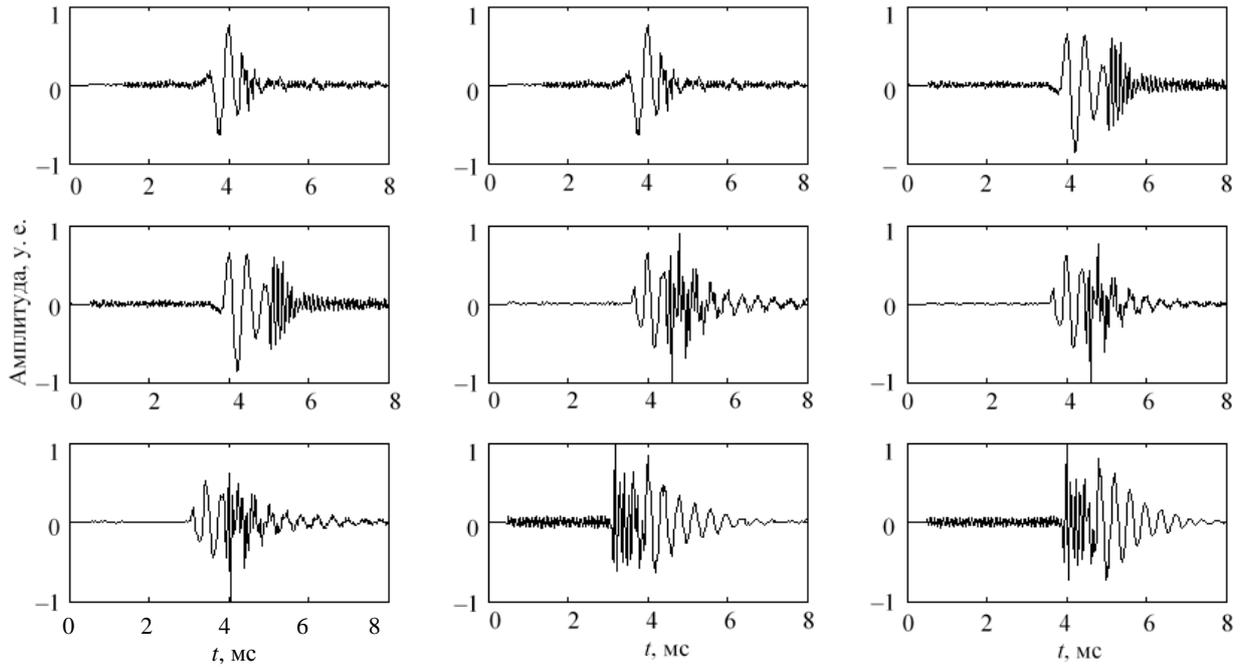


Рис. 5

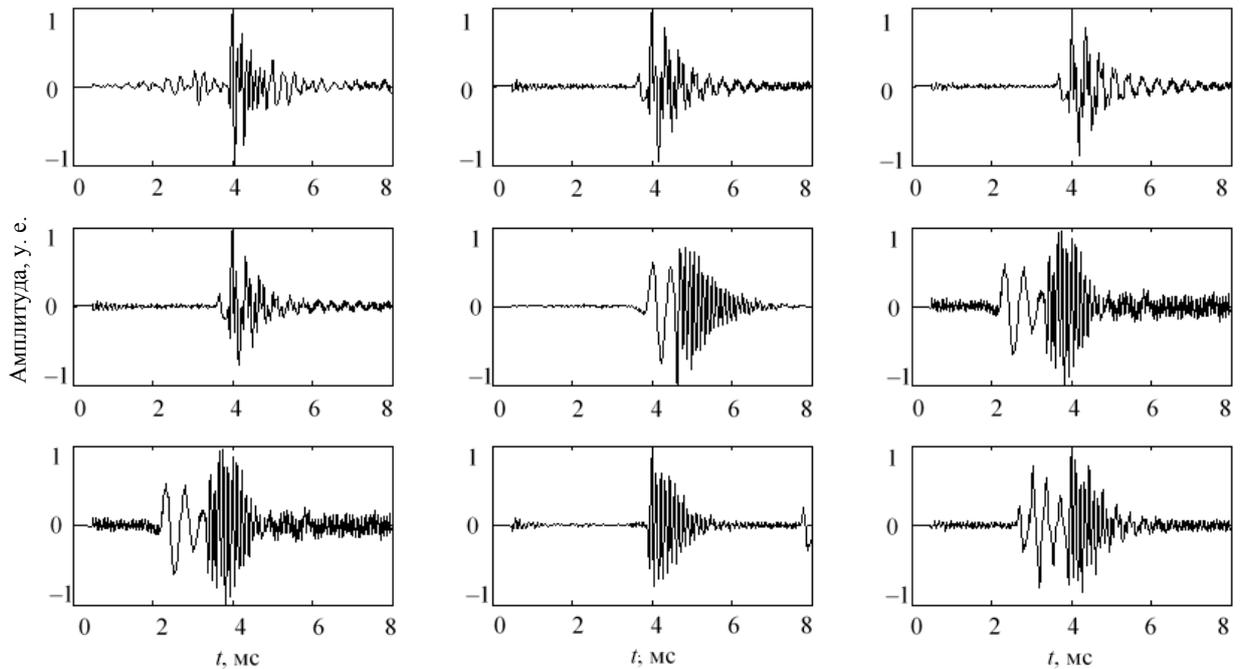


Рис. 6

разложении. Четвертый класс описывает длинные низкочастотные импульсы сложной внутренней структуры.

Для изучения внутренней структуры были выбраны геоакустические импульсы, принадлежащие первому классу, т. е. составлена представительная выборка из 1322 объектов.

Алгоритм анализа частотно-временной структуры геоакустического импульса можно описать в виде следующей процедуры:

- 1) сформировать набор функций g_k , по которому будет раскладываться импульс. Для геоакустических импульсов подходят модулированные и сдвинутые функции Гаусса и Берлагае;
- 2) с помощью адаптивного согласованного преследования определить коэффициенты α_i ;
- 3) с помощью преобразования Вигнера–Вилля построить частотно-временные представления импульса;

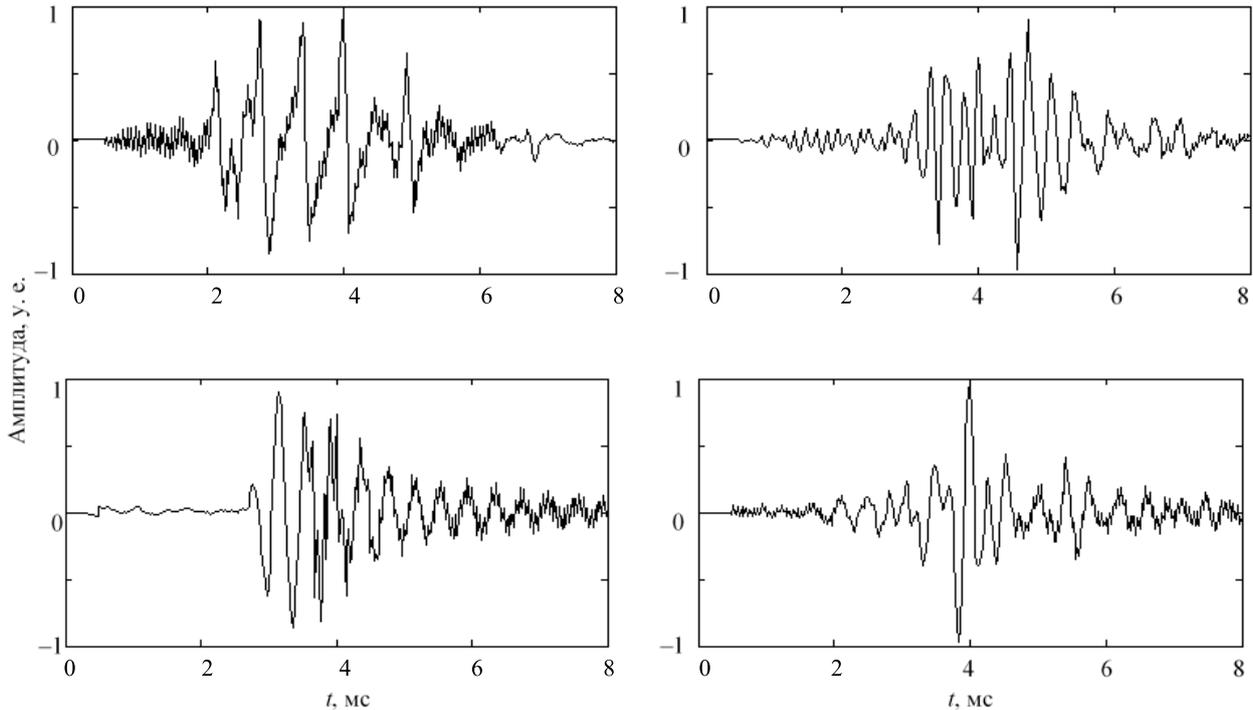


Рис. 7

4) для каждой функции g_i , входящей в представление, определить центр частотно-временного окна (τ_i, f_i) ;

5) по значениям (α_i, τ_i, f_i) первых четырех атомов определить класс геоакустического импульса (1, 2, 3 или 4-й). Класс определяется включением импульса в дерево, представленное на рис. 3.

Выявление особенностей и закономерностей состава частотно-временной структуры геоакустического импульса. На начальном этапе было решено закодировать частоты, принадлежащие различным диапазонам, с помощью символьных выражений. Основной частотный диапазон от 100 до 15 000 Гц был разбит на 5 равновероятных по появлению в реальных сигналах поддиапазонов (таблица).

Частотный диапазон, Гц	Символьный код
100...5840	<i>a</i>
5840...8400	<i>b</i>
8400...9000	<i>c</i>
9000...11 475	<i>d</i>
11 475...15 000	<i>e</i>

Далее каждый импульс описывался словом в соответствии с частотами атомов, включенных в представление, и с помощью алгоритма Apriori строились ассоциативные правила, учитывающие порядок следования атомов. Для каждого правила рассчитывался показатель поддержки правила и учитывались только те правила, у которых данное значение пре-

вышала 10 %. На рис. 8 представлены полученные ассоциативные правила и их поддержка.

Согласно правилам можно сделать вывод, что основная частота импульсов первого класса принадлежит диапазону 8.4...9 кГц, что неоднократно подтверждалось многочисленными вычислительными экспериментами [10]–[12].

Поскольку в качестве метода идентификации модели выступает адаптивное согласованное преследование – алгоритм, на каждой итерации выбирающий из набора функций ту, которая обладает наибольшим по модулю скалярным произведением с текущим остатком сигнала, то амплитуды включаемых в модель атомов α_i уменьшаются по модулю с увеличением i . Для первого коэффициента α_1 с помощью гистограммы был численно смоделирован закон распределения (рис. 9). Для коэффициентов с α_2 по α_4 строились гистограммы распределений отношений $\sigma_i = \alpha_{i-1}/\alpha_i$, которые совпали для $i = 2-4$ (рис. 10).

Для параметра τ_1 закон распределения был смоделирован аналогично α_1 . Так как выборка преимущественно состояла из участков сигнала, содержащих импульс в центральной части, то для большинства импульсов $\tau_1 \approx 4$ мс (рис. 11). Следующие атомы детализируют импульс: опережают либо запаздывают на $\Delta t \approx 1...2$ мс (рис. 12).

Атом				Под- держка, %
1	2	3	4	
c				98
c	b			26
c	d			30
c	e			32
c	b	c		14
c	b	d		76
c	d	a		12
c	d	b		22
c	d	d		38
c	d	e		18
c	e	a		15
c	e	b		21
c	e	c		12
c	e	d		46

Атом				Под- держка, %
1	2	3	4	
c	b	c	a	24
c	b	c	c	54
c	b	c	e	16
c	b	d	a	33
c	b	d	c	24
c	b	d	d	21
c	b	d	e	16

Атом				Под- держка, %
1	2	3	4	
c	d	a	a	16
c	d	a	d	63
c	d	a	e	10
c	d	b	a	38
c	d	b	c	13
c	d	b	d	29
c	d	b	e	17
c	d	d	a	58
c	d	d	e	22
c	d	e	a	51
c	d	e	c	29
c	d	e	d	12

Атом				Под- держка, %
1	2	3	4	
c	e	a	a	26
c	e	a	c	15
c	e	a	d	36
c	e	a	e	23
c	e	b	a	53
c	e	b	c	18
c	e	b	d	20
c	e	c	a	71
c	e	c	e	10
c	e	d	a	65
c	e	d	e	13

Рис. 8

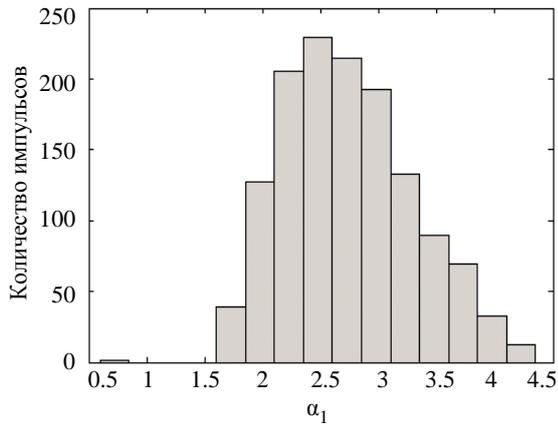


Рис. 9

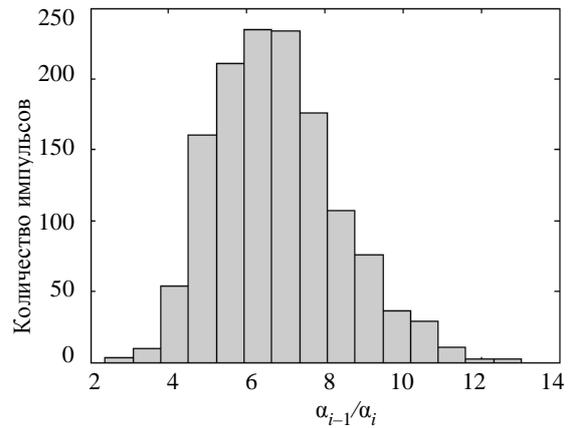


Рис. 10

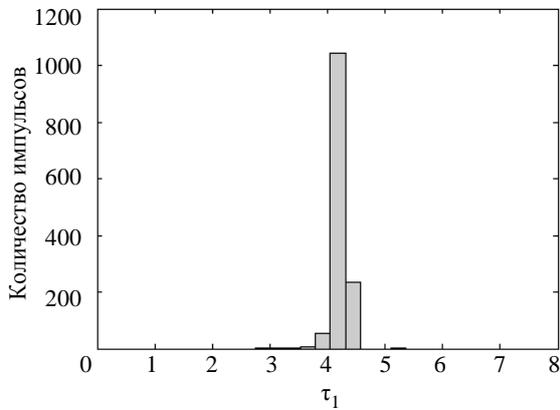


Рис. 11

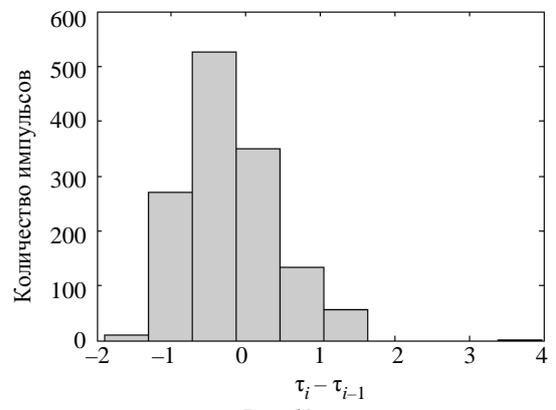


Рис. 12

Остальные параметры модели: длина атома относительно общей длины сигнала T_{end} , поло-

жение максимума огибающей T_{max} и коэффициент, влияющий на крутизну огибающей Δ , стати-

стически анализировались для каждого из первых четырех атомов отдельно.

Полученные правила, закономерности и законы распределения использовались для моделирования импульсов геоакустической эмиссии.

Алгоритм моделирования геоакустических импульсов. Геоакустический импульс моделируется согласно следующему алгоритму:

- 1) сформировать слово, описывающее частотный состав импульса;
- 2) для каждого символа случайным образом определить частоту f_i из соответствующего диапазона;
- 3) согласно оценке закона распределения α_1 случайным образом определить амплитуду первого атома;
- 4) $\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ получить, используя распределение σ_i ;
- 5) согласно оценкам законов распределений для каждого атома определить $T_{\text{end}}, T_{\text{max}}, \Delta$;
- б) вычислить временную локализацию первого атома τ_1 ;
- 7) относительно τ_1 определить τ_2, τ_3, τ_4 .

Отметим, что поскольку амплитуда четвертого атома достаточна мала ($\alpha_4 \approx 0.4$), а амплитуда

последующих атомов меньше в среднем в 2 раза, то для простых геоакустических импульсов все атомы, включаемые в разложение после четвертого, не будут значительно влиять на сформированный импульс. В связи с этим для приближенности к реальным сигналам было решено добавить к сгенерированному сигналу шумовую составляющую с амплитудой $\alpha_4/1.5$.

На рис. 13, *а-б, ж-и* изображены сформированные импульсы и их представление в частотно-временной области (рис. 13, *з-е, к-м*).

Программное обеспечение для проведения вычислительных экспериментов. Интерактивная среда разработки MATLAB – одна из лучших систем с точки зрения функциональности и простоты использования. Данная система удобна для моделирования и исследования в различных прикладных задачах, поэтому описанные в статье алгоритмы были реализованы в MATLAB в виде программного обеспечения с графическим интерфейсом. Данное программное обеспечение предназначено для анализа геоакустических импульсов методами адаптивного согласованного преследования, статистического и интеллектуального анализа, построения и визуализации частотно-временных представлений, построенных с помощью преобразования Вигнера–Вилля.

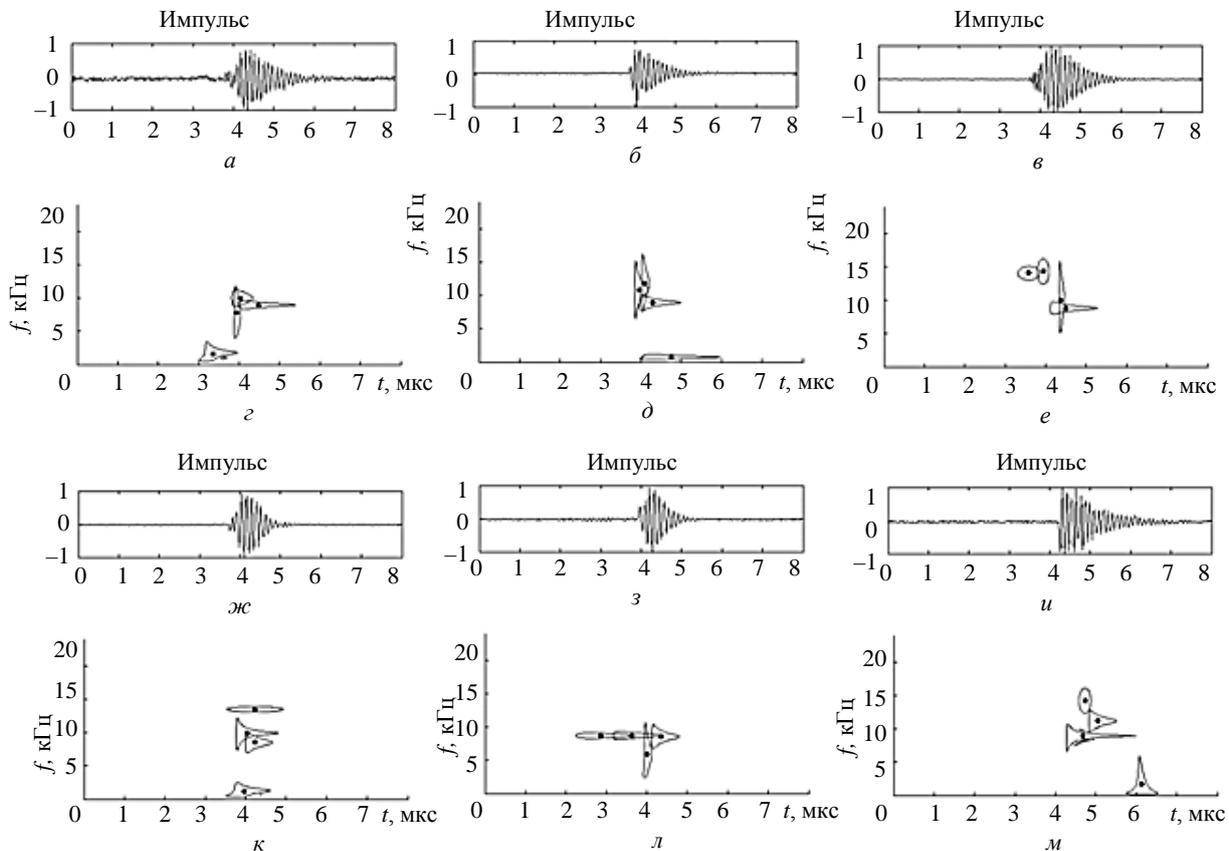


Рис. 13

Разработанное программное обеспечение состоит из четырех подсистем:

1) подсистемы генерации наборов функций для моделирования сигналов;

2) подсистемы частотно-временного анализа сигналов с использованием методов разреженной аппроксимации;

3) подсистемы моделирования сигналов, реализующей описанные алгоритмы и учитывающей выявленные закономерности;

4) подсистемы визуализации сигналов и моделей во временной и частотно-временной областях.

В представленной статье авторами предложен алгоритм анализа частотно-временной структуры импульсного сигнала, построенный на базе подхода разреженной аппроксимации и методов интеллектуального анализа сигналов. Предлагаемый алгоритм использует принципиально новый под-

ход к анализу частотно-временной структуры сигналов. В сравнении с используемыми подходами отличительной чертой алгоритма является применение методов разреженной аппроксимации в комбинации с методами обнаружения зависимостей и закономерностей. Изучены особенности и закономерности формирования частотно-временной структуры типовых геоакустических импульсов простой структуры. На языке MATLAB разработано программное обеспечение, позволяющее анализировать и моделировать геоакустические импульсы. Данное программное обеспечение используется на этапе постобработки реальных геоакустических сигналов, содержащих импульсы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-31-50010 «мол_нр».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буйло С. И. Связь параметров акустического излучения растущей трещины с коэффициентом интенсивности напряжений и типом напряженного состояния // Дефектоскопия. 2006. № 3. С. 181–184.

2. Оценка размеров внутренних трещин по пиковым амплитудам акустической эмиссии / В. Г. Ханжин, М. А. Штремель, С. А. Никулин, А. И. Калинин // Дефектоскопия. 1990. № 4. С. 35–40.

3. Салтыков В., Кугаенко Ю. А. Особенности пространственной связи приливной компоненты сейсмических шумов с областями подготовки сильных землетрясений // Физика Земли. 2007. № 9. С. 48–60.

4. Виноградов С. Д. Акустический метод в исследованиях по физике землетрясений. М.: Наука, 1989. 177 с.

5. Ермолов И. Н., Алешин Н. П., Потапов А. И. Неразрушающий контроль. Кн. 2: Акустические методы контроля / под ред. проф. В. В. Сухорукова. М.: Высш. шк., 1991. 283 с.

6. Иванов В. И., Власов И. Э. Неразрушающий контроль: справ. Кн. 1: Метод акустической эмиссии / под общ. ред. чл.-кор. РАН В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 2005. Т. 7. 315 с.

7. Марапулец Ю. В., Шевцов Б. М. Мезомасштабная акустическая эмиссия. Владивосток: Дальнаука, 2012. 126 с.

8. Купцов А. В. Изменение характера геоакустической эмиссии в связи с землетрясением на Камчатке // Физика Земли. 2005. № 10. С. 59–65.

9. Предвестники сильных землетрясений на Камчатке по данным мониторинга сейсмических шумов / В. А. Салтыков, Ю. А. Кугаенко, В. И. Синицын, В. Н. Чебров // Вулканология и сейсмология. 2008. № 2. С. 110–124.

10. A new approach to study of geoaoustic emission signals / А. В. Тристанов, Yu. V. Marapulets, O. O. Lukovenkova, A. A. Kim // Pattern Recognition and Image Analysis (Advances in Mathematical Theory and Applications). 2016. Vol. 26, № 1. P. 34–44.

11. Марапулец Ю. В., Тристанов А. Б., Шевцов Б. М. Анализ структуры сигналов акустической эмиссии звукового диапазона методом разреженной аппроксимации // Акуст. журн. 2014. Т. 60, № 4. С. 398–406.

12. Марапулец Ю. В., Тристанов А. Б., Шевцов Б. М. Частотно-временной анализ акустической эмиссии звукового диапазона методом разреженной аппроксимации // Докл. Акад. наук. 2014. Т. 456, № 4. С. 481.

13. Mallat S., Zhang Z. Matching Pursuits with time-frequency dictionaries // IEEE Transactions on Signal Proc. 1993. Vol. 41, № 12. P. 3397–3415.

14. Луковенкова О. О., Тристанов А. Б. Адаптивный алгоритм согласованного преследования с уточнением на смешанных словарях в анализе сигналов геоакустической эмиссии // Цифровая обработка сигналов. 2014. № 2. С. 54–57.

O. O. Lukovenkova

Vitus Bering Kamchatka State University

A. B. Tristanov

Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS

V. V. Geppener

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

MODELING TIME-FREQUENCY STRUCTURE OF GEOACOUSTIC IMPULSES USING METHODS OF INTELLIGENT ANALYSIS

The paper is devoted to modeling the time-frequency structure of a given class of geoaoustic impulses. A combination of time-frequency, sparse approximation, statistical and intelligent analysis methods is used for modelling. The signal time-frequency representation is constructed using the modified algorithm of adaptive matching pursuit. It is shown that the constructed representations are divided into classes by hierarchical clustering methods. Four classes of geoaoustic impulses have been obtained and analyzed. We suggest revealing internal patterns of the structure of a given impulse class using the algorithms of mining association rules and statistical analysis. Then we used the algorithms in order to model geoaoustic emission impulses. The developed algorithms for analysis and modeling of geoaoustic impulses are implemented using the MATLAB programming language. The designed system has been tested on typical geoaoustic impulses of characteristic shape. The correspondence of real and model impulses is shown, which proves the correctness of the internal structure patterns.

Geoacoustic emission, geoaoustic impulse, time-frequency structure, intelligent analysis of signals, sparse approximation

УДК 681.322

В. В. Цехановский, В. Д. Чертовской

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

Программная реализация иерархических систем управления

Рассмотрены классы реализации отдельного структурного элемента. Рассмотрены 9 классов сочетаний СУБД, алгоритмов, языков и сред реализации. Классы реализованы и апробированы на задаче статического линейного программирования с целью сравнительного выявления их возможностей. По сформулированным требованиям выбран класс InterBase в среде C++ Builder. Приведен прикладной пример реализации для системы управления приемом на работу. Выявлены недостатки класса InterBase в среде C++ Builder при его использовании в сетевом режиме. Выделен ряд технологий, обеспечивающих создание и сопровождение сервисов в распределенных вычислительных системах. При переходе к многоэлементной системе выявились дополнительные требования к методам реализации, на основе которых выполнен анализ сетевых архитектур. Показано предпочтение с позиций управления компонентной архитектуры, схожей с объектно-ориентированным вариантом. Предусмотрен сетевой режим в связке СУБД Denver – среда Apache, позволяющий реализовать процессы в наиболее распространенной трехуровневой системе управления.

Иерархическая система управления, классы реализации, отдельный элемент, система элементов

В последнее время перспективным является использование в корабель-, приборо- и машиностроении адаптивных автоматизированных систем управления производством [1], [2]. Основные технические решения для систем малой размерности апробированы в рамках пакета MatLab. Появилась

необходимость решения невысокоразмерных оптимизационных задач реальных систем.

Постановка задачи. Решение проблемы следует искать на пути формирования программного продукта, сочетающего в себе базы данных, которые резко снижают ошибки ввода/вывода и при-