

Обозначим:

$$Z_n(A, B) = \begin{cases} 1, & \text{по индексу } I_n \text{ вывод: } A > B \\ 0, & \text{по индексу } I_n \text{ вывод: } A = B, n = \overline{1, 9} \\ -1, & \text{по индексу } I_n \text{ вывод: } A < B \end{cases}$$

Интегральный индекс  $I_\Sigma(A, B)$  будем вычислять по формуле:

$$I_\Sigma(A, B) = \sum_{n=1}^9 Z_n(A, B).$$

Тогда  $I_\Sigma(A, B) > 0$  означает, что  $A > B$ ,  $I_\Sigma(A, B) = 0 - A = B$ , а  $I_\Sigma(A, B) < 0 - A < B$ . Для рассмотренного примера по данным табл. 1, имеем  $I_\Sigma(A, B) < 0$ , что подтверждает интуитивно сделанное предположение о том, что  $B > A$ .

**Выводы.** В работе проведён анализ существующих индексов ранжирования НЧ применительно к треугольным НЧ. Выведены формулы их вычисления. Сделан вывод о том, что результат сравнения близких НЧ зависит от выбранного индекса. Для повышения устойчивости результата сравнения к особенностям конкретного показателя предложен интегральный индекс ранжирования, учитывающий сумму показаний нескольких индексов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Применение к представлению знаний в информатике. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
2. Обработка нечёткой информации в системах принятия решений / Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В. и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
3. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечётких моделей: примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.

**Скороход Сергей Васильевич**

Таганрогский институт управления и экономики.  
E-mail: sss64@mail.ru.  
347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 45.  
Тел.: 88634648891.

**Skorokhod Sergery Vasil'evich**

Taganrog management and economic Institute.  
E-mail: sss64@mail.ru.  
45, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia.  
Phone: 88634648891.

УДК 681.3.06: 519.6

**А.Б. Корякин, Я.Е. Ромм**

#### **ПОСТРОЕНИЕ ПРИЗНАКОВ РАСПОЗНАВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОРТИРОВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

*Изложен метод идентификации и классификации реверберации и полезных сигналов на основе экстремальных признаков с помощью модифицированной сортировки слиянием. Результаты сравниваются с идентификацией на основе спектральных свойств реверберации, полученных с помощью преобразования Фурье. Представлен численный и программный эксперимент, показывающий возможность распознавания реверберации в случаях слабых спектральных отличий от полезного сигнала.*

*Классификация; экстремальные признаки; сортировка.*

A.B. Koryakin, J.E. Romm

## CONSTRUCTION OF SIGNS OF RECOGNITION WITH APPLICATION OF SORTING FOR PROCESSING OF HYDROACOUSTIC SIGNALS

*The method of identification and classification of reverberation and useful signals on the basis of extreme signs by means of the modified sorting by merge is stated. Results are compared to identification on the basis of the spectral properties of reverberation received by means of transformation by Fure. The numerical and program experiment showing possibility of recognition of reverberation in cases of weak spectral differences from a useful signal is presented.*

*Classification; extreme signs; sorting.*

Решение задачи обнаружения и классификации гидроакустических сигналов осложнено наличием помех различного происхождения. Обнаружение на фоне случайных помех, в том смысле, что они не являются следствием излученного или отраженного сигнала, описано в [1], при этом в [2] дается определение оптимального обнаружения, для этих условий. Обнаружение на фоне имитирующих помех (реверберации), частотные свойства которой идентичны свойствам полезного сигнала, наличие таких помех обусловлено самим процессом излучения энергии в воду, сопряжено с тем, что корреляционная обработка, традиционно используемая для фильтрации сигналов и помех, в таких условиях не дает выигрыша для соотношения сигнал/помеха.

В работе предлагается способ получения информации об объектах локации в условиях сильных реверберационных помех, путем анализа отраженного акустического сигнала на основе идентификации экстремальных признаков объектов с применением алгоритмов сортировки. На этой основе удастся получить критерии, позволяющие отнести принятый сигнал к известному классу.

Для оценки частотных свойств гидроакустических сигналов целесообразно применять преобразование Фурье:

$$S(w) = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) e^{-j\omega t} dt,$$

где  $S(w)$  – спектр сигнала,  $y(t)$  – исследуемый сигнал. Под критерием оценки будем понимать отношение сигнал/помеха (ОСП), определяемое как отношение максимального спектрального отчета к среднему значению отчетов, исключая максимальный отчет:

$$ОСП = \frac{S(w_{max})}{\sum_{w=0}^N S_w - S(w_{max})}. \quad (1)$$

Рассмотрим пример обработки реального сигнала  $\{y(kt), k = 0, 1, 2, \dots\}$ , представленного на рис. 1 в сжатом виде:

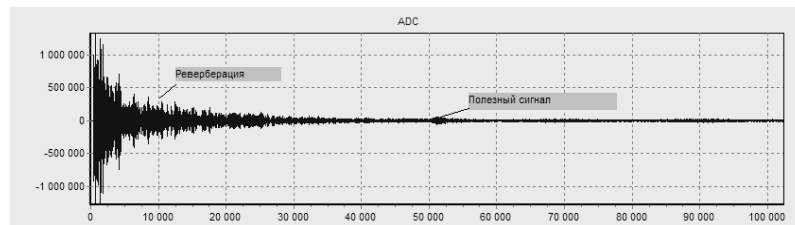


Рис. 1. Сигнал, соответствующий одному циклу излучение – прием

Выберем положения участков  $y_S(kt)$  и  $y_R(kt)$ , указанные на рис. 1, их вид в масштабе 1:1 представлен на рис. 2 и рис. 3.

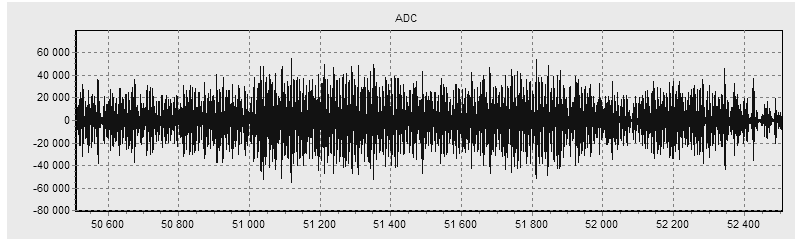


Рис. 2. Полезный сигнал сигнала на фоне помех

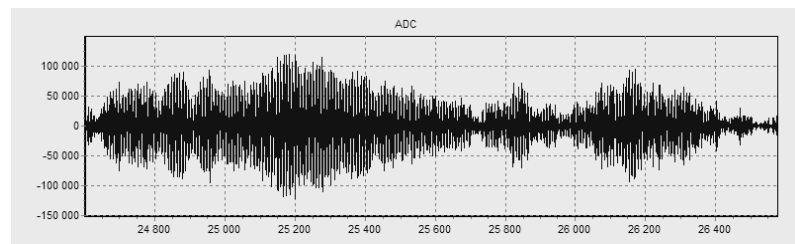


Рис. 3. Реверберация

На рис. 4 и рис. 5 показаны спектры сигнала и реверберации соответственно.

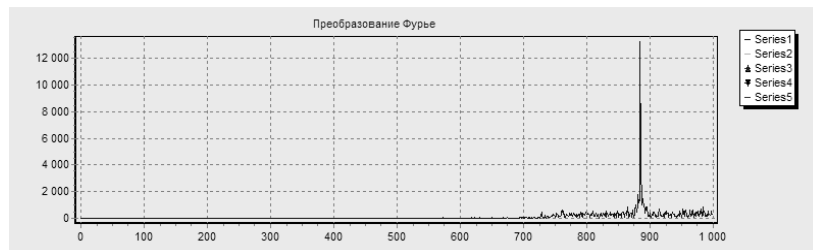


Рис. 4. Спектр полезного сигнала на фоне помех

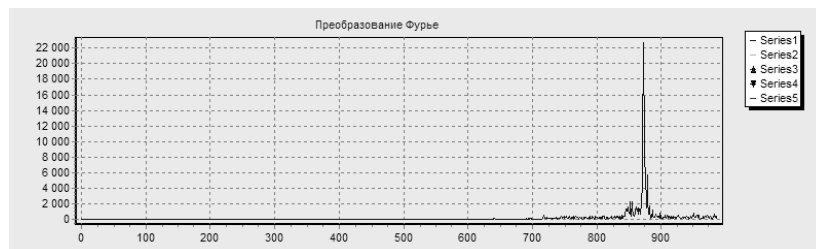


Рис. 5. Спектр реверберации

На основе (1) определяем отношение сигнал/помеха для полезного сигнала и реверберации равным 31,89 и 25,72 соответственно.

Поскольку реверберация является следствием самого излученного сигнала, их спектры практически совпадают, отношение сигнал/помеха имеет близкие значения.

Таким образом, частотные свойства реверберации и полезного сигнала идентичны, признаки реверберации в спектре слабо выражены и мало информативны.

Применяемая ниже сортировка [3-5] основана на адресном слиянии двух упорядоченных массивов по МС, пример которой представляет таблица:

	$-\infty$	2	3	3	4	$\infty$
$-\infty$	0	+	+	+	+	+
3	-	-	0	0	+	+
4	-	-	-	-	0	+
4	-	-	-	-	0	+
5	-	-	-	-	-	+
$\infty$	-	-	-	-	-	0

Рис. 6. Матрица сравнений

Последовательный алгоритм слияния выполняется поэлементным обходом в порядке слева направо, сверху вниз неотрицательной области МС. Адрес вставки элемента в выходной массив задается соотношениями

$$c_{i+j} = \begin{cases} b_i, & \alpha_{ij} = -1 \wedge \alpha_{i(j+1)} \geq 0, \\ a_j, & \alpha_{ij} \geq 0 \wedge \alpha_{(i+1)j} = -1, \end{cases} \quad \alpha_{ij} = \begin{cases} 1, & a_j > a_i, \\ 0, & a_j = a_i, \\ -1, & a_j < a_i, \end{cases} \quad (2)$$

где  $i, j$  – произвольно взятые индексы при ограничениях  $n+1 \geq i \geq 0 \geq j \geq m+1$ ;  $n, m$  – соответственно число элементов априори упорядоченных массивов  $b$  и  $a$ ;  $c$  – массив, получаемый в результате их слияния;  $\alpha_{ij}$  – элемент  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца МС; при этом  $a$  располагается на входе таблицы горизонтально сверху,  $b$  – вертикально слева. По входным индексам  $i, j$  на основе (2) однозначно указывается выходной индекс  $i+j$  и обратно, – с помощью идентификации принадлежности индекса элементу конкретно одного из двух входных массивов и перемещения идентификатора в порядке вставки (2).

Такая организация прямой и обратной адресации сохраняется для сортировки слиянием. С изложенным видоизменением слияния сортировка следует обычной схеме [6]: вначале выполняется слияние каждой пары элементов (с запоминанием обратных адресов), затем, аналогично, слияние упорядоченных пар, упорядоченных четверок и т.д. При этом сохраняется взаимный порядок сливаемых пар и массивов внутри пары. Программа сортировки приведена в [7].

Сортировка не перемещает ключи, вызывая их на момент сравнения по обратным адресам входных индексов. При этом сами обратные адреса перемещаются, имитируя перемещение сортируемых элементов. Окончательные значения обратных адресов на выходе сортировки располагаются в массиве  $e$  в соответствии порядку отсортированных элементов.

Именно в данном контексте понимается обратная адресность: на выходе сортировки каждому элементу с номером  $k$  ставится в соответствие элемент массива  $E$ , имеющий тот же номер  $-E[k]$ , – в котором запоминается входной номер отсортированного элемента  $C[k]$ . Если входной номер был  $j$ , то  $E[k] := j$ .

С другой стороны, каждому входному номеру сортируемого элемента соответствует один и только один выходной номер после сортировки.

Поэтому прямая и обратная адресность эквивалентно интерпретируются как взаимно однозначное соответствие входных и выходных индексов сортируемых элементов.

Максимально параллельный вариант рассматриваемой сортировки оценивается временем  $T(N^2/4) = O(\log_2 N)$  [4], в скобках левой части – количество процессоров, последовательный вариант выполняется за время  $T = O(N \log_2 N)$  [4]. Сортировка *sort* – частный случай класса сортировок *m*-путевым слиянием [3], отличающихся от аналогов [6] параллелизмом, – в пределе достигается оценка времени  $T(N^2/2) = O(1)$ , – к числу отличий принадлежит также прямая и обратная адресность.

Особенностью метода является работа с исходными сигналами, не подвергавшимися предварительной обработке.

В качестве отличительных признаков целевых объектов среди локационных сигналов будем иметь в виду соответственные амплитудные значения исходного сигнала, при этом отличия, как правило, являются экстремумами (минимальными или максимальными значениями), имеющими некоторые устойчивые в данном классе признаки.

В основе алгоритма идентификации экстремумов числовой последовательности при помощи сортировки лежит оператор локализации экстремумов последовательности. Данный оператор имеет вид

```
{sort(nn0,c,e);} k:=1; WHILE k<= nn0 DO BEGIN FOR r:=1 TO k-1 DO
  IF abs ( e [k]-e [k-r] ) <= eps0 THEN GOTO 22;
  //e[k] – индекс локального минимума/максимума
22: k := k+1 END.
```

В этом программном фрагменте *nn0* – число узлов, совпадающее с числом сортируемых элементов, *e[k]* – массив индексов элементов исходной последовательности, *eps0* – константа, равная радиусу окрестности локализации экстремума.

Оператор локализации всегда работает только с предварительной сортировкой рассматриваемого вида. По определению в отсортированном массиве слева от *e[k]* находятся меньшие, а справа большие элементы.

Пример локализации экстремумов числовой последовательности показывающий устойчивость описанного метода сортировки и возможность определять масштаб поиска экстремальных признаков путем задания радиуса локализации экстремумов показан в [7].

Алгоритм распознавания реверберации в стробе обработки осуществляется в два этапа с последующим расчетом параметров и принятием решения.

Этап 1. Сортировка исходного массива данных. В результате сортировки получается последовательность индексов исходной последовательности амплитуд, упорядоченная по возрастанию (в смысле принятого отношения). После этого необходимо провести процедуру локализации экстремумов, которая осуществляет выделение экстремумов на некотором отрезке посылки, половина длины которого называется радиусом окрестности локализации. Значение такого радиуса задается априори оператором – в соответствии с геометрическими размерами целевого объекта и эмпирической выделенностью объекта по сравнению с фоном. Для одного и того же изображения увеличение радиуса локализации приводит к выделению наиболее контрастных, выделяющихся по сравнению с фоном объектов, а ее уменьшение – к увеличению числа выделяемых экстремумов на обрабатываемой посылке и соответственно к увеличению числа объектов в результате работы метода.

Выделенные максимумы представляют собой опорные точки для работы алгоритмов обнаружения и распознавания, которые служат для построения области объекта. Под областью объекта неформально понимается совокупность признаков (получаемых на основе локальных экстремумов), логически связанных с объектом и являющихся следствием проявления свойств объекта.

Этап 2. В результате выполнения первого этапа запоминаются номера индексов выделенных максимумов в отдельном участке памяти, такие максимумы содержат наиболее показательные свойства амплитудных значений. Далее выделенные максимумы записываются в новую числовую последовательность (в порядке роста исходных индексов), которая повторно сортируется и в ней производится поиск экстремумов. Для дальнейшего, кроме того, вычисляется и запоминается среднее значение исходных максимумов.

Вычисляется признак изрезанности огибающей сигнала в виде отношения усредненного значения приращений локальных максимумов к среднему значению исходных максимумов:

$$S_I = \frac{\sum_{n=2}^{N2_{max}} / y2m_n - y2m_{n-1} /}{\frac{N2_{max}}{N1_{max}} \sum_{n=1}^{N1_{max}} y1m_n},$$

где  $y1m$  и  $y2m$  – последовательности максимумов, локализованных на первом и на втором этапах,  $N1_{max}$  и  $N2_{max}$  – количество максимумов на соответственном этапе.

Для вычисления признака монотонности перехода между экстремальными точками, среди экстремумов, полученных в результате вторичной сортировки, требуется провести процедуру отбора экстремальных точек.

Критерии отбора следующие:

- ♦ сумма геометрических расстояний от минимума (максимума) до двух прилежащих максимумов (минимумов) должна превышать среднее значение максимумов в строке обработки:

$$\frac{\sqrt{(m0_x - m1_x)^2 + (m0_y - m1_y)^2} + \sqrt{(m1_x - m2_x)^2 + (m1_y - m2_y)^2}}{\frac{1}{N1_{max}} \sum_{n=1}^{N1_{max}} y1m_n} > 1,$$

где  $m0, m1, m2$  – три подряд идущих экстремума, иными словами, в расчет берутся только значительные, в смысле амплитуды, выбросы (провалы);

- ♦ величина основания треугольника, образованного одним минимумом (максимумом) и двумя прилежащими максимумами (минимумами), должна лежать в диапазоне значений 8-35, что характерно (на основе эксперимента) для реверберации.

Вычисляется признак монотонности перехода между экстремальными точками путем подсчета случаев, когда удлинение сторон треугольника, прилежащих к экстремальной точке, образованного одним минимумом (максимумом) и двумя прилежащими максимумами (минимумами), по отношению к геометрической длине этих сторон, является незначительным ( $S_L < 0,4$ ),

$$S_L = \frac{\sqrt{(m0_x - m1_x)^2 + (m0_y - m1_y)^2} + \sqrt{(m1_x - m2_x)^2 + (m1_y - m2_y)^2}}{\sum_{n=2}^{m1_x - m0_x} \sqrt{1 + (y2_n - y2_{n-1})} + \sum_{n=2}^{m2_x - m1_x} \sqrt{1 + (y2_n - y2_{n-1})}}$$

Произведение изрезанности огибающей на признак монотонности используется как результат, будем называть его обобщенным реверберационным признаком (ОРП), типовое значение диапазона от 0 до 10.

$$ОРП = S_I * S_L.$$

Сигналам реверберации соответствуют верхние значения этого признака.

Программа, идентифицирующая реверберацию изложенным способом, приводится в [7].

В [7] приведены результаты численного эксперимента для 36 выборок, значения ОСП, вычисленные с помощью преобразования Фурье, лежат в диапазоне от 1,58 до 37,2 для реверберации и от 7,23 до 11,60 для полезного сигнала. Значения ОРП, вычисленные с помощью алгоритма, приведенного выше, лежат в диапазоне от 5,11 до 11,80 для реверберации и от 0,24 до 0,77 для полезного сигнала, диапазоны значений ОРП для реверберации и полезного сигнала не перекрываются и существенно различаются между собой.

Приведенные результаты показывают возможность получения информационных признаков, описанным методом, в том числе в случае их слабой выраженности при спектральном анализе на основе преобразования Фурье.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Оппенгейм А.В., Шафер Р.В.* Цифровая обработка сигналов: Пер. с англ. / Под ред. С.Я. Шаца. – М.: Связь, 1979. – 416 с.
2. *Ширман Я.Д., Манжос В.Н.* Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
3. *Ромм Я.Е.* Параллельная сортировка слиянием по матрицам сравнений. I // Кибернетика и системный анализ. – 1994. – № 5. – С. 3-23.
4. *Ромм Я.Е.* Параллельная сортировка слиянием по матрицам сравнений. II // Кибернетика и системный анализ. – 1995. – № 4. – С. 13-37.
5. *Ромм Я.Е., Дордопуло А.И., Заярный В.В.* Программная локализация нулей многочленов с приложением к идентификации объектов по данным гидроакустической локации. Научное издание. – Таганрог: Изд-во Таганрог. гос. пед. инс-та, 2005. – 214 с.
6. *Кнут Д.* Искусство программирования для ЭВМ. Т.3. Сортировка и поиск. – М.: Мир, 1978. – 844 с.
7. *Ромм Я.Е., Корякин А.Б.* Построение признаков распознавания с применением сортировки для обработки гидроакустических сигналов / ТГПИ. – Таганрог, 2010. – 59 с. Деп. в ВИНТИ 25.01.2010 № 17-В2010.

#### **Ромм Яков Евсеевич**

Таганрогский государственный педагогический институт.

E-mail: romm@list.ru.

347926, г. Таганрог, ул. Инициативная, 48.

Тел.: 88634601753; 88634601812; 88634601807

#### **Корякин Алексей Борисович**

ОАО «Таганрогский завод Прибой».

E-mail: alexis@koryakin@mail.ru.

347913, г. Таганрог, ул. Б. Бульварная, 13.

Тел.: +78634601753.

**Romm Yakov Evseevich**

Taganrog State Pedagogical Institute.

E-mail: romm@list.ru.

48, Initsiativnaya street, Taganrog, 347926, Russia.

Phone: +78634601753, +78634601812, +78634601807

**Koryakin Alexey Borisovich**

JSC "Taganrog Plant PRIBOY".

E-mail: alexis@koryakin@mail.ru.

13, B. Bul'varnaya street, Taganrog, 347913, Russia.

Phone: +78634601753.

УДК 004.932.2

**Е.А. Вершовский****РОЕВОЙ АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ  
МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО СНИМКА**

*Статья содержит алгоритм кластеризации мультиспектрального снимка на основе оптимизации роя частиц. Актуальность работы связана с актуальностью разработок в области роевого интеллекта и актуальностью задач дешифрирования мультиспектральных космических снимков.*

*Оптимизация роя частиц; кластеризация мультиспектральных изображений; K-means; ISODATA / particle swarm optimization; multispectral image clustering; K-means; ISODATA.*

**E.A. Vershovsky****SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM IN THE MULTISPECTRAL IMAGES  
CLUSTERING TASK**

*The article contains an algorithm for clustering multispectral images based on swarm particle optimization. The urgency of the work associated with the relevance of developments in the field of swarm intelligence and urgent task of deciphering multispectral satellite images.*

*Particle swarm optimization; multispectral image clustering; K-means; ISODATA.*

Классификация изображения – это процесс отнесения пикселей изображения различным группам (классам). Алгоритмы классификации изображений применяются для решения широкого круга проблем, задач, включая сегментацию изображения и цветовую квантизацию [1,2], обнаружение изменений почвенно-растительного покрова для мониторинга и контроля [3], анализ данных [4]. В сфере дистанционного зондирования Земли, целью классификации изображений является «автоматическая категоризация всех пикселей изображения в тематические группы поверхностных покрытий» [5].

В основе классификации мультиспектральных изображений лежит различие значений пикселей, обуславливаемое спектральной отражательной способностью поверхности Земли и спецификами приемного оборудования. Этот тип классификации, базирующийся на спектральной информации, содержащейся в каждом конкретном пикселе, относится к спектральному распознаванию образов. Другими аналогичными типами классификации являются пространственное распознавание образов и временное распознавание образов. Пространственное распознавание образов определяет кластеры по пространственным взаимосвязям между пикселями кластера и пикселями, их окружающими. Временное распознавание образов использует время