

4. Ромм Я.Е., Богданенко Е.Н. Параллельные итерационные схемы нахождения собственных значений трехдиагональных матриц – Таганрог. госуд. педагогич. ин-т. – Таганрог. – 2007. – 23 с. – Деп. В ВИНТИ 07.11.07, №1029.
5. Ромм Я.Е., Богданенко Е.Н. Параллельное решение проблемы собственных значений для трехдиагональных матриц. // Вторая Международная научная конференция «Суперкомпьютерные системы и их применение SSA' 2008». – Минск. – ОИПИ НАН Беларуси. – 2008. – С. 286-290.
6. Ромм Я.Е. Локализация и устойчивое вычисление нулей многочлена на основе сортировки. I // Кибернетика и системный анализ. – Киев. – 2007. – № 1. – С. 165-182.
7. Ромм Я.Е. Локализация и устойчивое вычисление нулей многочлена на основе сортировки. II // Кибернетика и системный анализ. – Киев. – 2007. – № 2. – С. 161-174.
8. Ромм Я.Е. Параллельная сортировка слиянием по матрицам сравнений. I // Кибернетика и системный анализ. – 1994. – № 5. – С. 3-23.
9. Веселая А.А. Вычисление нулей и экстремумов функций при вариации параметров на основе сортировки с приложением к моделированию устойчивости систем линейных дифференциальных уравнений. – Таганрог, 2009. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. – 19 с.

**Богданенко Елена Николаевна**

ГОУВПО «Таганрогский государственный педагогический институт».

E-mail: bogdanenko\_elena@mail.ru.

347924, г. Таганрог, ул. Инициативная, д. 48.

Тел.: +79514983082.

**Bogdanenko Helena Nickolaevna**

GOUVPO the «Taganrog state pedagogical college».

E-mail: bogdanenko\_elena@mail.ru.

48, Initiative street, Taganrog, 347924, Russia.

Phone: +79514983082.

УДК 621.396.965.621.391.26

**Е.А. Самойличенко**

### **ОСОБЕННОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЭХО-СИГНАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ГИДРОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ**

*В статье рассматривается вопрос предварительной обработки эхо-сигналов информационной системой мониторинга движущихся объектов на базе ГЛ. Приводится алгоритм удаления реверберационных помех и собственных шумов водоёма и описывается влияние параметров алгоритма на результаты его работы.*

*Гидролокатор; эхо-сигналы; гидролого-акустическая обстановка; движущиеся объекты; информационная система; предварительная обработка сигналов; обнаружение объектов; подавление помех; реверберационные помехи.*

**E.A. Samoylichenko**

### **FEATURES OF PRE-PROCESSING OF THE SONAR ECHO SIGNALS IN AN INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING MOVING OBJECTS**

*The article examines pretreatment echo information system for monitoring moving objects based on the sonar. The article gives an algorithm for removing reverberation noise and intrinsic noise of the reservoir and the influence of the parameters of the algorithm on the result of his work.*

*Sonar, echo-signals; moving objects; information system; signal pre-processing; object detection; noise suppression; reverberation noise.*

Информационная система мониторинга движущихся объектов (ИСМДО), построенная на базе гидролокатора (ГЛ) предназначена для наблюдения за движущимися в водной среде объектами. Система автоматически обнаруживает движущиеся объекты и присваивает им идентификационные номера. Для каждого объекта ИСМДО рассчитывает параметры его движения, и координаты и сохраняет в базу данных персонального компьютера (ПК) автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора. В ИСМДО реализована многоступенчатая обработка эхосигналов, одним из этапов которой является предварительная обработка эхосигналов.

Задачей предварительной обработки является подготовка данных для дальнейшей работы алгоритма обнаружения движущихся объектов, а именно удаление помеховых сигналов и повышение отношения сигнал/шум. В данной статье рассмотрен один из вариантов выполнения предварительной цифровой обработки эхосигналов, поступающих от стационарного ГЛ. Одним из требований к ИСМДО является работа в реальном масштабе времени, что накладывает жёсткие рамки на время обработки полученной эхосигнальной информации. Вся вторичная обработка должна укладываться в период зондирования ГЛ. Таким образом, при синтезе алгоритма предварительной обработки были выбраны следующие критерии:

- ◆ алгоритм должен быть легко реализуем на ПК;
- ◆ вычислительная сложность алгоритма должна быть минимальной;
- ◆ алгоритм должен быть универсальным и подходить для работы в разных гидролого-акустических условиях;
- ◆ алгоритм должен работать с разными типами движущихся объектов.

Рассмотрим эхо-сигнал на входе ИСМДО.

На вход ИСМДО поступает информация об огибающей протектированного эхо-сигнала. Этот сигнал, согласно принципу суперпозиции [1] волн с малой амплитудой, можно рассматривать в виде суммы помех и сигналов, отражённых от разных объектов. Сигналы суммируются с учётом фазы, что может привести как к увеличению амплитуды результирующего сигнала, так и к её уменьшению.

Сигнал на входе ИСМДО представлен двумерным массивом  $A[0..N-1, 0..M-1]$  амплитуд отражённого сигнала, где  $N$  – количество секторов ГЛ,  $M$  – количество отсчётов сигнала, принятого по одному направлению. Зондирования осуществляются одно за другим с периодом  $T_z$ .

В рамках данной статьи будем считать полезными лишь сигналы, отражённые от движущихся объектов. Остальные же сигналы примем за помеховые.

Основными источниками помехового сигнала при использовании стационарного ГЛ являются реверберация и собственные шумы водоёма [2]. Прочими же шумами, при условии отсутствия активных источников сигналов, можно пренебречь.

Реверберация является нестационарным случайным процессом: она создается зондирующим сигналом на неоднородностях среды и коррелирована с ним. Реверберация ( $S_p$ ) имеет две составляющие: постоянную ( $S_{рст}$ ), обусловленную рельефом водоёма и случайную ( $S_{рсл}$ ), вызванную колебаниями антенной части ГЛ, течениями, волнами и прочими неоднородностями среды:

$$S_p = S_{рст} + S_{рсл}.$$

Собственные шумы водоёма ( $S_{св}$ ), при отсутствии активных источников сигналов, представляют собой заранее неизвестные случайные сигналы малой амплитуды (при использовании частоты зондирующего импульса порядка нескольких десятков килогерц).

Реверберационные помехи и собственные шумы водоёма зависят от времени и пространственного распределения температуры водной среды. Для небольших водоёмов с плохим перемешиванием воды характерно суточное изменение распределения температуры  $T_p(x, y, z, \alpha \cdot t)$  при наличие ярко выраженных слоёв, соответствующих перепадам температуры. Распределение температуры влияет на распространение лучей в водной среде, что в свою очередь приводит к изменению реверберационной картины. Изменение пространственного распределения температуры в водоёме является медленным процессом ( $\alpha \ll 1$ ) по сравнению с периодом зондирования.

Таким образом, для удаления помехового сигнала необходимо выделить постоянную составляющую реверберационной помехи и учесть влияние случайных помех (реверберационной и собственных шумов). Наиболее простым способом является сравнение значений сигнала с некоторым пороговым значением.

Распространяющийся в водной среде сигнал рассеивается и поглощается средой, следовательно, чем дальше находится объект от ГЛ, тем меньше амплитуда отражённого от него сигнала. Таким образом, для каждого отсчёта эхо-сигнала необходимо рассчитывать своё пороговое значение.

Стационарную составляющую реверберационной помехи в каждой точке озвученной ГЛ пространства можно рассчитать путём накопления в течение времени  $T_n$  значений эхо-сигнала и дальнейшего его усреднения по времени. При достаточном большом значении  $T_n$  случайную составляющую эхо-сигнала можно считать равной нулю:

$$S_{\text{рсл}} + S_{\text{св}} \rightarrow 0 \text{ при } T \rightarrow \infty_n.$$

Движущийся объект постоянно изменяет своё положение в пространстве, а, следовательно, при накоплении отражённый от него сигнал не будет существенно влиять на среднее значение амплитуды полученного сигнала.

Таким образом, усреднение массива пороговых значений за время  $T_n$  потребует накопления  $K = \left\lfloor \frac{T_n}{T_z} \right\rfloor$  посылок ГЛ. Расчёт массива значений постоянной составляющей реверберационной помех  $S_{\text{рст}}[0..N-1, 0..M-1]$  и осуществляется следующим образом:

$$s_{\text{рст}}(i, j) = \sum_{k=0}^{K-1} a_k(i, j) / K. \quad (1)$$

Плотность распределения случайных помех после детектирования и построения огибающей подчиняется обобщённому закону Рэля [3]. Математическое ожидание такого сигнала равно  $M_x = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \delta$ , а дисперсия  $D = (2 - \frac{\pi}{2}) \cdot \delta^2$ . Так как полученные ранее значения  $S_{\text{рст}}$  как раз и являются математическим ожиданием помехового сигнала, то определив  $\delta$  можно рассчитать значение среднеквадратичного отклонения  $\sqrt{D}$ . Таким образом, определив  $\sqrt{D} = \sqrt{\frac{4}{\pi} - 1} \cdot M_x$ , можно найти границы доверительного интервала, в пределах которого может меняться значение помехового сигнала:

$$M_x - \sqrt{D} \leq \sum S_{\text{п}} \leq M_x + \sqrt{D},$$

где

$$\sum S_{\text{п}} = S_{\text{рст}} + S_{\text{рсл}} + S_{\text{св}}.$$

Значения верхнего и нижнего значения порога необходимо рассчитывать для каждого значения принятого эхо-сигнала. Следовательно, в результате получается три массива значений размерностью  $[0..N-1, 0..M-1]$ :

- 1)  $S_{\text{рст}}$  – массив значений постоянной составляющей реверберационной помехи;
- 2)  $UL$ – массив значений верхней границы помехового сигнала;
- 3)  $DL$ – массив значений нижней границы помехового сигнала.

Далее необходимо выделить из полученного эхо-сигнала полезный сигнал. Для этого воспользуемся пороговым алгоритмом, по которому каждое значение принимаемого эхо-сигнала  $a(i, j)$  сравнивается с пороговым значением. В нашем случае имеем для каждого отсчёта входного сигнала пару пороговых значений. В результате работы алгоритма формируется массив  $\hat{A}[0 \dots N - 1, 0 \dots M - 1]$ . Для нахождения амплитуды отражённого от объекта сигнала необходимо вычесть из неё амплитуду помехи в данной точке пространства:

$$\hat{a}(i, j) = \begin{cases} a(i, j) - S_{\text{рст}}(i, j), & a(i, j) > UL(i, j) \\ 0, & DL(i, j) \leq a(i, j) \leq UL(i, j) \\ S_{\text{рст}}(i, j) - a(i, j), & a(i, j) < DL(i, j). \end{cases} \quad (2)$$

Для определения пороговых значений  $DL$  и  $UL$  воспользуемся нормированным порогом  $h$  с заданной вероятностью ложной тревоги  $P_{\text{лт}}$ :

$$h = \sqrt{2 \ln \frac{1}{P_{\text{лт}}}}. \quad (3)$$

Тогда,

$$UL(i, j) = UL(i, j) = S_{\text{рст}}(i, j) + h \cdot \sqrt{\left(\frac{4}{\pi} - 1\right)} \cdot S_{\text{рст}}(i, j),$$

упростив получим:

$$S_{\text{рст}}(i, j) \cdot \left(1 + \sqrt{2 \cdot \ln \frac{1}{P_{\text{лт}}} \cdot \left(\frac{4}{\pi} - 1\right)}\right), \quad (4)$$

$$DL(i, j) = S_{\text{рст}}(i, j) \cdot \left(1 - \sqrt{2 \cdot \ln \frac{1}{P_{\text{лт}}} \cdot \left(\frac{4}{\pi} - 1\right)}\right). \quad (5)$$

Опишем полученный алгоритм предварительной обработки эхо-сигналов:

- 1) накопление  $K$  посылок ГЛ в течение времени  $T_n$ ;
- 2) расчёт массива средних значений  $S_{\text{рст}}$  постоянной составляющей реверберационной помехи согласно (1);
- 3) расчёт массивов граничных значений  $UL$  и  $DL$  согласно (4) и (5) соответственно;
- 4) поэлементное сравнение согласно (2) массива полученных от ГЛ эхо-сигналов и расчёт значений массива  $\hat{A}$ ;
- 5) перерасчёт значений массивов  $S_{\text{рст}}$ ,  $UL$  и  $DL$ .

Перерасчёт массива значений  $S_{\text{рст}}$  необходимо осуществлять после каждого нового зондирования. Таким образом, алгоритм автоматически адаптируется к изменяющимся со временем гидролого-акустическим условиям водной среды.

Параметры алгоритма предварительной обработки эхо-сигналов.

Рассмотрим влияние параметров алгоритма предварительной обработки эхо-сигналов на результат его работы.

$K$  – количество посылок ГЛ, по которым осуществляется усреднение и расчёт значений массива  $S_{\text{рст}}$ . Увеличение значения параметра  $K$  повышает точность расчёта среднего значения, но в то же время повышает влияние временного изменения постоянной составляющей реверберационной помехи. Таким образом, необходимо выбирать такие значения параметра  $K$ , при которых гидролого-акустические условия водоёма можно считать постоянными. Также величина  $K$

определяет время выхода ИСМДО в рабочий режим, что может быть в некоторых случаях очень важно.

$P_{лт}$  – вероятность ложной тревоги. Этот параметр напрямую влияет на величину порогового значения. Установка завышенного значения может привести к ложному подавлению полезного сигнала. Слишком заниженное значение вероятности ложной тревоги понизит пороговое значение алгоритма и, как следствие, уменьшит эффективность подавления помех. Следует помнить, что подавление полезного сигнала приведёт к потере ИСМДО движущихся объектов, а недостаточное ослабление помех – к неправильной работе системы и появлению ложных объектов.

*Примечания.*

Периодическое появление импульсных высокоамплитудных помех может существенно завязать пороговые значения алгоритма и, как следствие, привести к подавлению полезного сигнала. Источниками таких помех могут быть, например, движущиеся в водной среде суда, оборудованные двигателями внутреннего сгорания.

Стоит отметить, что если движущийся объект остановится и будет некоторое время дрейфовать, амплитуда отражённого от него сигнала накопится и завязит пороговое значение. Эхо-сигнал от такого объекта будет автоматически подавлен и объект будет потерян. В этом случае целесообразно использовать некоторую задержку  $K_2$ , величина которой выбирается исходя из максимального времени дрейфа объекта. Суть заключается в том, что для усреднения берутся не последние  $K$  посылок ГЛ, а сдвинутые на  $K_2$  посылки данные, но само усреднение осуществляется как и раньше по  $K$  посылкам.

В заключение следует отметить, что представленный алгоритм легко реализуем на ПК. После определённых оптимизаций позволяет достаточно быстро осуществлять подавление помеховых сигналов в принимаемом эхо-сигнале. При правильной настройке параметров обеспечивает хорошие результаты работы, а также автоматически подстраивается под изменяющиеся со временем условия среды.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бакутин П.А., Жулина Ю.В., Иванчук Н.А. Обнаружение движущихся объектов / Под ред. П.А. Бакута. – М.: Сов. Радио, 1980. – 288 с.
2. Яковлев А.Н., Каблов Г.П. Гидролокаторы ближнего действия. – Л.: Судостроение, 1983. – 200 с.
3. Вопросы статистической теории радиолокации в 2-х т. / П.А. Бакут, И.А. Большаков, Б.М. Герасимов и др. / Под ред. Г.П. Тартаковского. – М.: Сон. радио, 1963, 1964.
4. Ольшевский В.В. Статистические методы в гидролокации. – Л.: Судостроение, 1983. – 280 с.
5. Дятлов А.П., Дятлов П.А. Анализ и моделирование обнаружителей сигналов: Методические указания к лабораторно-практическим занятиям. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 82 с.

**Самойличенко Евгений Александрович**

Особое конструкторское бюро “Ритм” Южного федерального университета.

E-mail: main@ritm.tsure.ru.

347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 99.

Тел.: 88634311933.

**Samoylichenko Evgeniy Aleksandrovich**

Southern Federal University Specialized Design Bureau “RITM”.

E-mail: main@ritm.tsure.ru.

99, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia.

Phone: +78634311933.