

При разработке данного программного комплекса было принято решение об использовании модульной архитектуры. Выбранная архитектура позволила как изменять параметры этапов обработки изображения, так модифицировать последовательность описанных этапов. Эти возможности способствовали модификации рассматриваемого алгоритма, что повлияло на значительное улучшение работы программного комплекса при анализе изображений.

В настоящее время аналогов разработанной бесконтактной системы не имеется, что делает предлагаемый подход к определению разновысотности ТВС ядерного реактора типа ВВЭР-1000 конкурентоспособным.

Внедрение результатов, полученных в проекте, позволит:

- исключить механический контакт с изделием (ТВС);
- повысить точность определения разновысотности головок ТВС;
- повысить безопасность при эксплуатации ядерного реактора;
- накапливать, обрабатывать, сохранять и предоставлять базы изображений ТВС;
- получить экономический эффект не менее 24,0 млн. руб. в год на один реактор [2].

Разработанный метод будет использован при создании систем бесконтактного определения разновысотности головок ТВС на энергоблоках АЭС с реактором типа ВВЭР России, стран СНГ и за рубежом.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Макеев В.В., Поваров В.П., Коробкин В.В., Лебедев О.В.* Система бесконтактного определения разновысотности головок тепловыделяющих сборок в активной зоне реактора // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2006. Прил. № 16. С.37-41.
2. *Каляев И.А., Коробкин В.В., Кухаренко А.П., Макеев В.В., Поваров В.П., Румянцев К.Е.* Инновационные разработки Южного научного центра РАН в области создания систем управления для атомной энергетики // Инновации. – 2006. № 10. С. 62-66.

УДК 621.391

**В.И. Марчук, В.В. Воронин**

#### **ОБРАБОТКА ЧЕРНО-БЕЛЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДВУХМЕРНОГО МЕТОДА РАЗМНОЖЕНИЯ ОЦЕНОК ПОЛЕЗНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ**

В работе разработан метод двумерной обработки черно-белых изображений с градацией серого при ограниченном объеме априорных данных. Показана возможность обработки изображений при наличии аддитивной шумовой составляющей, а так же представлен сравнительный анализ результатов обработки с известными методами.

Наличие аддитивной шумовой составляющей при обработке черно-белых изображении приводит к ухудшению резкости, и как следствие, размытию его границ. Наряду с ухудшением резкости, наблюдается появление ложных точек, отсутствующих на исходном изображении. Для ослабления аддитивной шумовой составляющей используются пространственные (частотные) методы обработки. Пространственная фильтрация основана на перемещении маски фильтра по каждой

точке изображения. Общим недостатком присущим пространственным методам является неспособность обрабатывать строки или столбцы изображения, находящиеся на границах маски в случае, если центр фильтра приближается к границам изображения [1]. Использование оптимальных методов ограничено необходимостью наличия априорной информации о выделяемом изображении и статистических характеристиках аддитивного шума. Для использования методов сглаживания так же необходима априорная информация с целью выбора их оптимальных параметров [1]. Отсутствие априорной информации о статистических характеристиках аддитивного шума и функции двумерного полезного сигнала существенно усложняет процесс обработки изображений, и в ряде случаев делает его невозможным без наличия визуального контроля. Наличие на практике большого числа информационно-измерительных систем, реализующих известные методы обработки изображений, не делают эту задачу менее актуальной.

На основании вышеизложенного следует, что задача пространственной обработки изображения при ограниченном объеме априорных данных является весьма актуальной, и ее решение имеет как теоретическую, так и практическую ценность.

Целью данной работы является исследование разработанного двумерного метода обработки черно-белых изображений при ограниченном объеме априорных данных об исходном изображении и статистических свойствах аддитивной шумовой составляющей.

В общем случае, упрощенная математическая модель исходного черно-белого изображения представляет собой двумерную дискретную последовательность  $Y_{i,j}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$  вида:

$$Y_{i,j} = S_{i,j} + \eta_{i,j}, \quad i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M},$$

где  $S_{i,j}$  - низкочастотная, медленно меняющаяся полезная составляющая;

$\eta_{i,j}$  - аддитивная шумовая составляющая, распределенная по гауссовскому закону с нулевым математическим ожиданием и постоянной дисперсией;

$N$  - количество строк,  $M$  - количество столбцов двумерного массива изображения.

В работе [2] для ослабления шума при обработке одномерных реализаций предлагается использовать метод размножения оценок (РАЗОЦ), который является эффективным методом обработки в условиях непараметрической априорной неопределенности. Суть метода состоит в размножении оценок полезной составляющей путем многократного разбиения исходной реализации на интервалы случайной длины и оценивании на них полезной составляющей с помощью аппроксимации линейной или квадратичной функции методом наименьших квадратов с последующим усреднением в каждый момент времени.

В данной работе на основе метода размножения оценок предлагается двумерный метод обработки изображений. При этом рассматриваются разбиения исходного изображения по строкам  $N$  и столбцам  $M$  на интервалы случайной длины. Разбиения формируются путем деления промежутка  $(1, N)$  случайными числами  $\alpha_{t,1}^1, \alpha_{t,2}^1, \dots, \alpha_{t,m-1}^1$  и промежутка  $(1, M)$  случайными числами  $\alpha_{t,1}^2, \alpha_{t,2}^2, \dots, \alpha_{t,m-1}^2$  на  $t$  интервалов (рис.1):

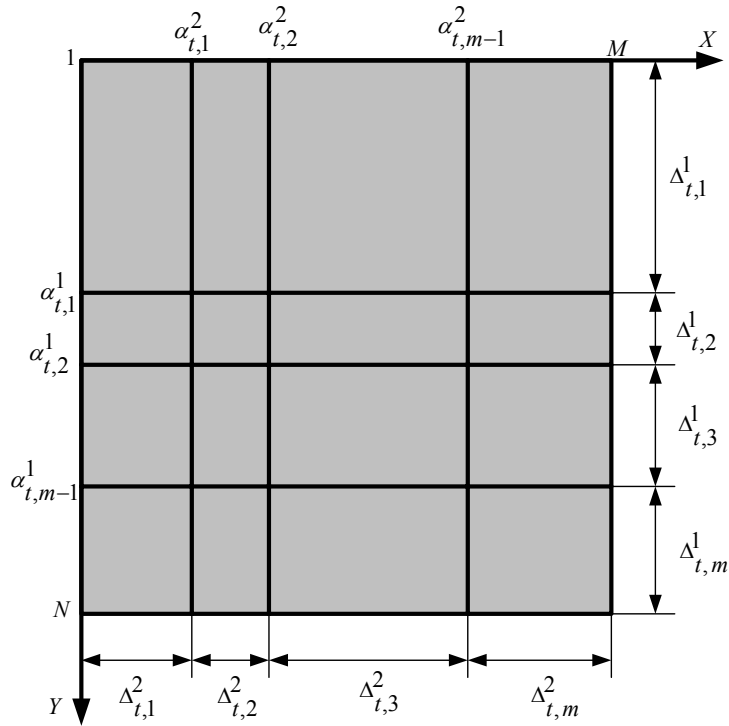


Рис. 1. Пример разбиения изображения на прямоугольные области

$$\Delta_{t,1}^1 = [1; \alpha_{t,1}^1], \Delta_{t,2}^1 = [\alpha_{t,1}^1; \alpha_{t,2}^1], \dots, \Delta_{t,m}^1 = [\alpha_{t,m-1}^1; N],$$

где верхний индекс 1 обозначает разбиение по строкам;  $\Delta$  - случайная длина интервала разбиения;  $t = \overline{1, K}$  - текущее размножение;  $K$  - число размножений.

Разбиение по столбцам формируется путем разбиения промежутка  $(1, M)$  числами  $\alpha_{t,1}^2, \alpha_{t,2}^2, \dots, \alpha_{t,m-1}^2$  на  $m$  интервалов:

$$\Delta_{t,1}^2 = [1; \alpha_{t,1}^2], \Delta_{t,2}^2 = [\alpha_{t,1}^2; \alpha_{t,2}^2], \dots, \Delta_{t,m}^2 = [\alpha_{t,m-1}^2; M],$$

где верхний индекс 2 обозначает разбиение по столбцам.

Разбиение по строкам и столбцам делит двухмерный сигнал на массивы с различным количеством элементов по ширине и длине. Для каждого полученного массива, с помощью аппроксимации значений исходного изображения плоскостью, описывающейся уравнением первой степени вида  $\tilde{S}_{i,j} = A \cdot i + B \cdot j + C$ , получается набор оценок  $\{\tilde{S}_{i,j}^t\}$ ,  $t = \overline{1, K}$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, M}$ .

Значения коэффициентов  $A$ ,  $B$  и  $C$  определяются с помощью метода наименьших квадратов, для нахождения которых минимизируется целевая функция вида:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (Y_{i,j} - \tilde{S}_{i,j}) \rightarrow \min,$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (Y_{i,j} - A \cdot i - B \cdot j - C) \rightarrow \min.$$

Дифференцируя последнее выражение по  $A$ ,  $B$  и  $C$  и приравняв к нулю, получаем систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial \left( \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (Y_{i,j} - A \cdot i - B \cdot j - C) \right)}{\partial A} = 0, \\ \frac{\partial \left( \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (Y_{i,j} - A \cdot i - B \cdot j - C) \right)}{\partial B} = 0, \\ \frac{\partial \left( \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (Y_{i,j} - A \cdot i - B \cdot j - C) \right)}{\partial C} = 0; \end{cases}$$

$$\begin{cases} M \cdot N \cdot A \cdot \left( \frac{2}{3} \cdot N + \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{2} \cdot M \cdot N \cdot B \cdot (M+1) \cdot (N+1) + M \cdot N \cdot C \cdot (N+1) - 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (Y_{i,j} \cdot i) = 0, \\ M \cdot N \cdot B \cdot \left( \frac{2}{3} \cdot M + \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{2} \cdot M \cdot N \cdot A \cdot (M+1) \cdot (N+1) + M \cdot N \cdot C \cdot (M+1) - 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (Y_{i,j} \cdot j) = 0, \\ M \cdot N \cdot A \cdot (N+1) + M \cdot N \cdot B \cdot (M+1) + 2 \cdot M \cdot N \cdot C - 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M Y_{i,j} = 0. \end{cases}$$

Решением системы является:

$$A = \frac{6 \cdot \left( \sum_{j=1}^M \left( \sum_{i=1}^N Y_{i,j} (2 \cdot i - N - 1) \right) \right)}{M \cdot N \cdot (N^2 - 1)},$$

$$B = - \frac{6 \cdot \left( \sum_{j=1}^M \left( \sum_{i=1}^N Y_{i,j} (-2 \cdot j + M + 1) \right) \right)}{M \cdot N \cdot (M^2 - 1)},$$

$$C = - \frac{\sum_{j=1}^M \left( \sum_{i=1}^N Y_{i,j} \cdot (-7 \cdot N \cdot M + M + 6 \cdot M \cdot i - 6 \cdot i + N + 5 + 6 \cdot N \cdot j - 6 \cdot j) \right)}{M \cdot N \cdot (M - 1) \cdot (N - 1)}.$$

Процедура разбиения строк и столбцов  $(1, N)$  и  $(1, M)$  на  $t$  интервалов случайной длины повторяется  $K$  раз. При этом для каждого разбиения формируется

двумерная оценка с помощью метода наименьших квадратов. Результирующая оценка  $\bar{S}_{i,j}$ , определяется как среднее арифметическое размноженных оценок

$$\bar{S}_{i,j} = \frac{\sum_{t=1}^K \tilde{S}_{i,j}^t}{K}, \quad i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}.$$



Рис. 2. Тестовое изображение

При исследовании эффективности обработки предложенного двумерного метода, в качестве тестового выбрано изображение представленное на рис.2а. На исходное изображение накладывается аддитивная шумовая составляющая со среднеквадратическим отклонением  $\sigma = 0,2$  при нормированной амплитуде двумерного сигнала исходного изображения (рис. 2б). Для сравнения эффективности обработки изображения предлагаемым методом использовалась фильтрация с помощью фильтра Винера, метода скользящего среднего и медианного фильтра. На рис.3 представлены результаты обработки тестового изображения (а – двумерный метод размножения оценок, б – метод скользящего среднего, в - медианный фильтр, г – фильтр Винера) [3].

В качестве критерия оценки эффективности используется значение среднеквадратической ошибки:  $\sigma_{ou} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (\bar{S}_{i,j} - S_{i,j})^2 / (N-1)^2}$ , где  $\bar{S}_{i,j}$  - оценка обработанного изображения,  $S_{i,j}$  - исходное тестовое изображение.

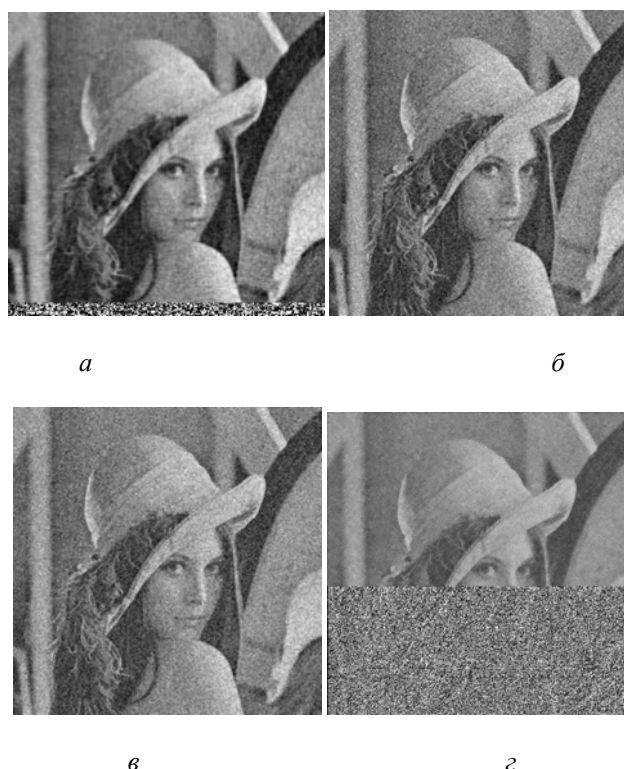


Рис. 3. Результат обработки тестового изображения различными методами

Визуальный анализ полученных различными методами оценок показывает, что эффективность обработки изображения двухмерным методом размножения оценок выше. При этом следует отметить, что оценка изображения является размытой, а на некоторых участках частично потеряны мелкие детали. Полученный результат связан с тем, что двухмерная полезная составляющая описывается сложной функциональной зависимостью, которую не удаётся полностью выделить из аддитивной смеси. Наличие ошибки в оценке полезной составляющей приводит к потере мелких деталей изображения, что проявляется в уменьшении резкости так же и при обработке фильтром Винера. Медианная фильтрация и метод скользящего среднего, в меньшей степени сглаживают границы изображения, но при этом появляется “зернистость” структуры. Сравнительный анализ с использованием нормированной среднеквадратической ошибкой показывает, что величина  $\sigma_{ош}$  в случае обработки двухмерным методом РАЗОЦ составляет 0,051, скользящим средним - 0,071, медианным фильтром – 0,084, фильтром Винера – 0,104.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующий основной вывод:

- предлагается двухмерный метод обработки черно-белых изображений на основе метода размножения оценок, который позволяет уменьшить аддитивную шумовую составляющую и частично восстановить четкость изображения при ограниченном объеме априорных данных об исходном изображении и статистических свойствах аддитивной шумовой составляющей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гонсалес, Р.* Цифровая обработка изображений/ Р. Гонсалес, Р. Вудс.-М.: Техносфера.- 2005.- 1072 с.
2. *Марчук В.И.* Первичная обработка результатов измерений при ограниченном объеме априорной информации: Монография / Под ред. К.Е. Румянцева. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003. – 160 с.
3. *Марчук В.И., Воронин В.В., Шерстобитов А.И.* Исследование метода обработки черно-белых изображений при априорной неопределенности// Международная научная конференция: Статистические методы в естественных, гуманитарных и технических науках, Таганрог: ТРТУ.- 2006.- С.30 – 32.

УДК 621.396

**А.В. Помазанов, С.А. Помазанов****РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ  
ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ  
АКУСТООПТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ**

Радиоконтроль является одним из главных элементов системы управления использованием радиочастотного спектра (РЧС) и от технической оснащенности государственной службы радиоконтроля современными комплексами во многом зависит эффективность всей системы управления [1]. Развитие радио и радиотехнических систем как гражданского, так и специального назначения идет по пути освоения более высокочастотных диапазонов, применения сигналов со сложными законами модуляции, в том числе с перестройкой несущей частоты. В этих условиях требования к аппаратуре радиоконтроля существенно повышаются, прежде всего, к таким характеристикам, как пропускная способность, точность определения координат источников радиоизлучений и параметров сигналов.

Оценка параметров сигналов радиотехнических средств, работающих в широкой полосе частот (сотни МГц), в режиме быстрой перестройки несущей частоты, при существенной априорной параметрической неопределенности, является актуальной задачей. Среди большого числа способов решения данной задачи наиболее перспективным является акустооптический способ измерения параметров сигналов, особенно в диапазоне частот от 500 МГц и выше. В условиях большой интенсивности входного потока сигналов станция радиоконтроля должна работать в автоматическом режиме, в реальном масштабе времени, при большой вероятности синхронного приема (перекрывающихся во времени) нескольких сигналов.

Лабораторией оптоэлектроники Технологического института Южного федерального университета разработан акустооптический измеритель параметров сигналов (АОИПС), позволяющий в широкой полосе частот (до 500 МГц) с высокой точностью измерять такие параметры импульсных сигналов, как длительность, амплитуда радиоимпульса, несущая частота, параметры внутриимпульсной модуляции, относительное время прихода радиоимпульса (рис. 1).

Высокая точность измерения АОИПС времени прихода радиоимпульса позволяет построить на его основе многопозиционную разностно-дальномерную систему (РДС), определяющую географические координаты (долгота, широта) источника радиоизлучений. Состав РДС, особенности ее функционирования изложены в настоящей статье.