

**КОРРЕКЦИЯ ДЕФЕКТОВ В ИЗОБРАЖЕНИЯХ,  
ПОЛУЧАЕМЫХ СИСТЕМОЙ НАБЛЮДЕНИЯ  
СО СКАНИРУЮЩЕЙ ЛИНЕЙКОЙ**

**Г. И. Громилин, В. А. Иванов**

*Институт автоматки и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск*

*E-mail: gromilin@iae.nsk.su*

*vaivanov@iae.nsk.su*

Для автономной системы наблюдения с неустойчивой связью по радиоканалу проведен анализ дефектов (сбоев, выбросов, мощной аддитивной периодической помехи) в ИК-изображениях. Обоснован выбор статистических характеристик, позволяющих обнаруживать сбои и выбросы для их маскирования или коррекции. Показана возможность выявления и фильтрации мощной аддитивной периодической помехи с сохранением исходной информации.

**Введение.** При дистанционных наблюдениях с помощью фотоприемных устройств (ФПУ) на сканирующих ИК-линейках (недоступных для калибровки и ремонта) и передаче данных по радиоканалу в получаемых изображениях практически всегда присутствуют дефекты (сбои, выбросы, мощная аддитивная периодическая помеха). Наличие дефектов в изображениях делает неработоспособными алгоритмы обнаружения малоразмерных объектов в последовательностях изображений, поэтому требуется их выявление для маскирования или коррекции.

Цель проведенного в данной работе исследования заключается в создании алгоритма коррекции различных видов дефектов на основе анализа их статистических характеристик.

**Анализ информации, получаемой системой наблюдения.** Физические причины появления дефектов в изображениях здесь не рассматриваются, а анализируются их характеристики в конечном результате работы систем наблюдения – последовательностях изображений.

Дефекты в изображениях условно относятся к строкам или столбцам. Сбои и выбросы в строках в основном порождаются элементами ФПУ, а в столбцах – видеотрактом и каналом связи. Мощная аддитивная периодическая помеха обусловлена, как правило, наводками от сильноточных устройств.

На основе проведенного анализа были выделены дефекты, присутствующие в изображениях. Изображение размером  $500 \times 650$  элементов с дефектами и периодической помехой представлено на рис. 1. На каждом из рис. 2,  $a-h$  приведено по три графика яркостей ( $D_x, D_y, D_z$ ) соседних строк  $x, y, z$

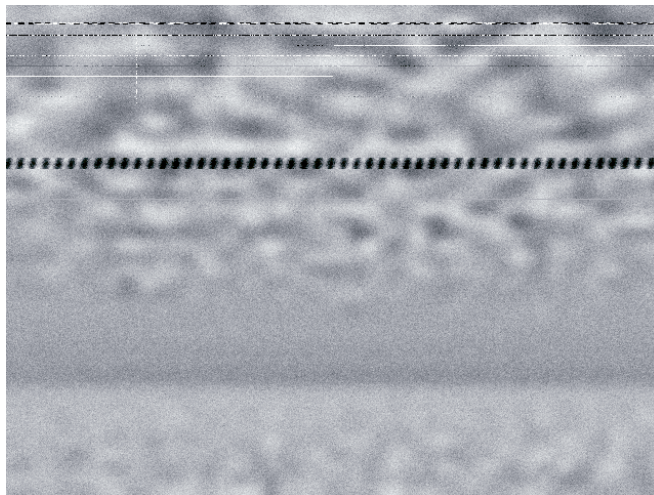


Рис. 1

в зависимости от номера точки строки  $n$  и  $w$ . Строка  $y$  является дефектной. Яркости соседних строк приведены для сравнения (графики  $D_x$  и  $D_z$ ).

На рис. 2, *a* график яркости  $D_y$  представляет 190-ю строку с постоянной яркостью («залипли» все биты или неисправен элемент линейки).

На рис. 2, *b* показан график яркости  $D_y$  60-й строки с «залипанием» младших бит, а график  $D_z$  имеет выброс в 128-м столбце.

На рис. 2, *c* представлена  $D_y$  сбойной 70-й строки, в которой четвертый бит до половины строки равен 0 и до конца строки равен 1, а график  $D_x$  содержит выброс в 128-м столбце.

Яркость  $D_y$  30-й строки, имеющей случайный шум, представлена на рис. 2, *d*.

Яркость  $D_y$  50-й строки содержит случайно шумящий четвертый бит (рис. 2, *e*).

На рис. 2, *f* график  $D_y$  90-й строки показывает случайно инвертированные первые четыре бита.

График яркости  $D_y$  19-й строки, состоящий из бинарного шума, приведен на рис. 2, *g*.

На рис. 2, *h* приведена яркость  $D_y$  150-й строки с периодической помехой, которая на рис. 1 составляет несколько строк.

**Выбор статистических характеристик для обнаружения сбоев.** При выборе статистик для обнаружения сбоев были сделаны следующие допущения:

- отсутствие подряд идущих сбойных строк или столбцов;
- наличие значимых корреляционных связей между соседними строками и соседними столбцами.

Были проанализированы статистические характеристики яркостей строк и столбцов изображений:

- выборочные среднее ( $\hat{m}$ ) и дисперсия ( $\hat{S}$ );
- автокорреляционная функция (интервал корреляции);
- оценка длин интервалов, превышающих среднее значение яркости в строке;

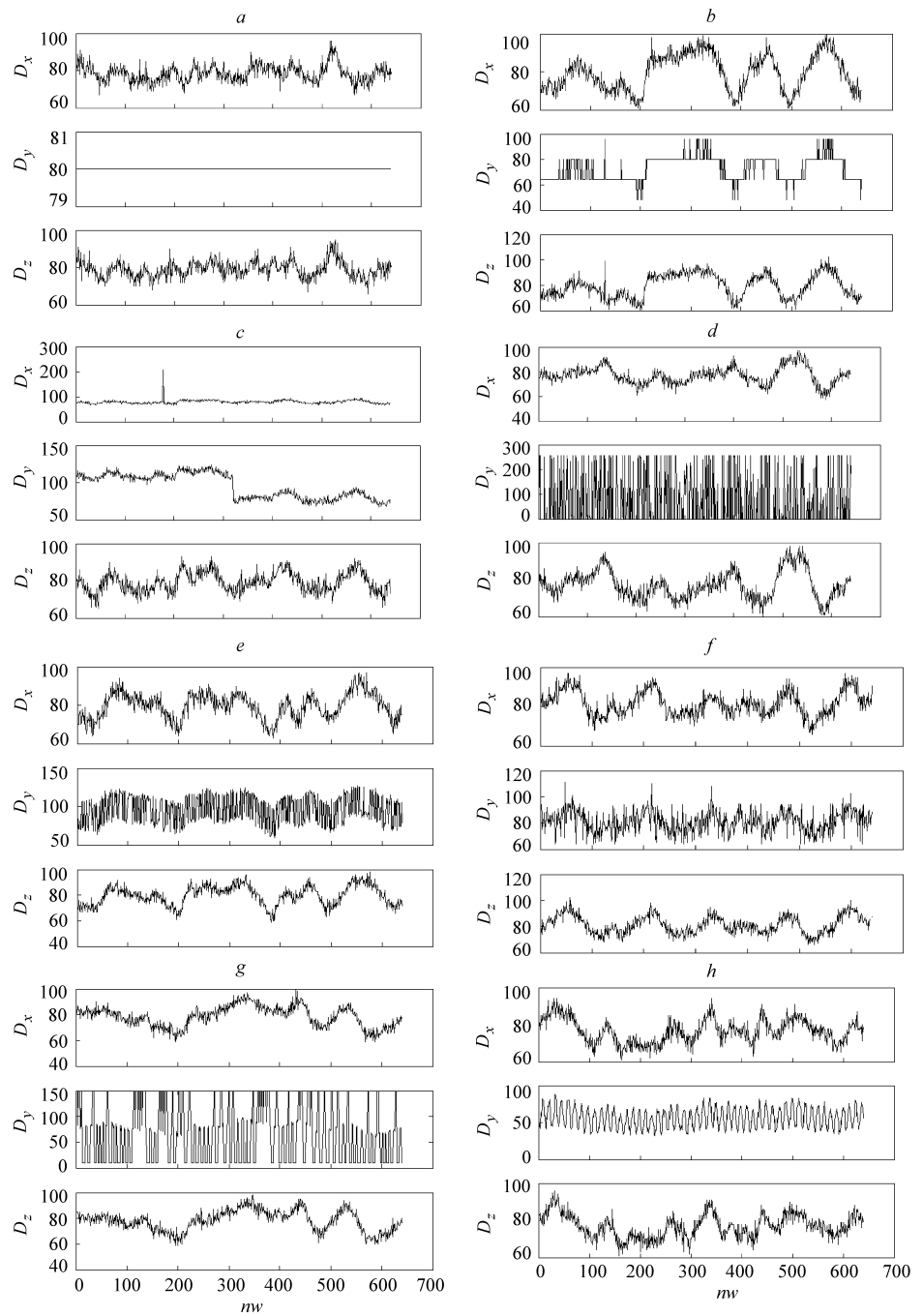


Рис. 2

- оценка коэффициента корреляции между двумя (тремя) строками;
- оценка параметров линейного прогноза между строками;
- критерий согласия  $\chi^2$  между выборочными распределениями яркости строк.

После проведенного анализа из дальнейшего рассмотрения были исключены: автокорреляционная функция, интервальные оценки, оценки выборочных распределений яркости строк, которые оказались неработоспособными.

Графики значений различных статистик, полученных для строк (верхний график) и столбцов ( $nh$  – номер точки в столбце) изображения (см. рис. 1), даны на рис. 3, *a–c*.

На рис. 3, *a* приведены графики выборочных дисперсий строк и столбцов. Данная статистика позволяет выявить сбои, содержащие шум в старших битах пикселей, который приводит к увеличению выборочной дисперсии строки или столбца по сравнению с выборочной дисперсией всего изображения. Из рисунка видно, что выделяются строки 19, 30, 50 (верхний график) и столбец 128 (нижний график). На верхнем графике есть точка (строка 190) с нулевой дисперсией, что свидетельствует о постоянном значении яркости в строке и возможной неисправности соответствующего элемента линейки.

На рис. 3, *b* представлен график (верхний) значений выборочной дисперсии  $std\_e$  для разности

$$e = D_y - \hat{D}_y = D_y - c_1 D_x - c_2 D_z,$$

где  $D_y$  – яркость анализируемой строки;  $\hat{D}_y$  – ее оценка по двум соседним строкам ( $x$  и  $z$ );  $c_1, c_2$  – МНК оценки параметров. Данная статистика показывает степень линейной зависимости анализируемой строки от двух соседних. При отсутствии такой связи считаем, что строка сбойная. Эта статистика выделяет строки 19, 30, 40, 50, 90 и 150–160. Аналогичная статистика для столбцов приведена на нижнем графике, но она не выделяет столбец 128.

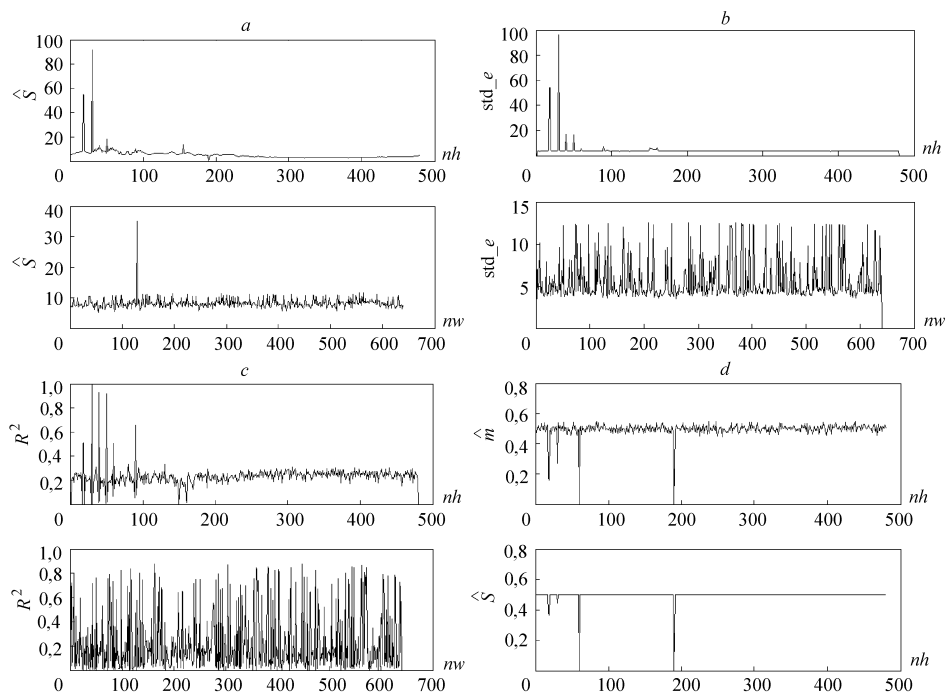


Рис. 3

На рис. 3, *c* приведен график (верхний) коэффициента корреляции разностей яркостей соседних строк  $R^2(D_y - D_x, D_y - D_z)$ . Высокое значение  $R^2$  соответствует сбойной строке. Как и в предыдущем случае, видно, что выделяются строки 19, 30, 40, 50, 60. Значения коэффициента корреляции для столбцов приведены на нижнем графике.

Графики  $\hat{m}$  (верхний график) и  $\hat{S}$  первого бита пикселей строк (нижний график) показаны на рис. 3, *d*. Анализ этих статистик необходим для выявления сбоев, связанных с младшими битами, например в 60-й строке (яркость строки приведена на рис. 2, *b*), которые не выявляются другими статистиками. Статистики  $\hat{m}$  и  $\hat{S}$  подтверждают постоянство значений яркости в 190-й строке.

Для анализа разрядов в значениях яркости точек строки применимы те же статистические характеристики, что и для всей строки.

Приведенные статистические характеристики строк позволяют выделить широкий класс дефектов, но ни одна характеристика не выделяет все виды дефектов.

**Обнаружение выбросов.** Приведем пример обнаружения выбросов (одиночных сбоев) с помощью медианной фильтрации [1].

Графики яркости строки  $D$ , результата медианной фильтрации  $\text{median}_D$  и разности  $e = D - \text{median}_D$  даны на рис. 4. Выбросы на нижнем графике соответствуют выбросам в 128-м и 178-м столбцах, которые могут быть легко выделены. Этот подход является традиционным и используется при подавлении импульсных помех, но требует значительных вычислительных затрат.

**Алгоритм обнаружения сбоев в строке.** Предлагаемый алгоритм состоит из следующих шагов:

1. Вычисляется выборочная дисперсия  $\text{std}_s$  строки. Если  $\text{std}_s \leq \varepsilon$  ( $\varepsilon \ll \sigma_0$ ), то элемент линейки потерял чувствительность или разряды данных в видеотракте не меняются в зависимости от сигнала, поэтому требуется кор-

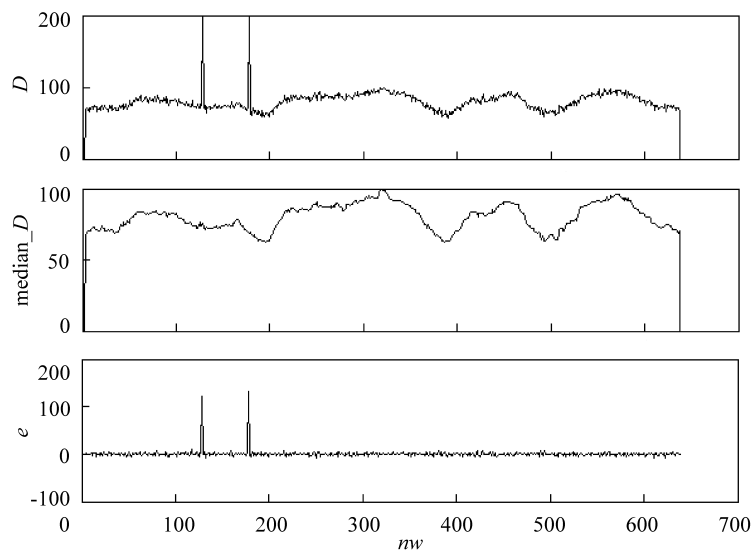


Рис. 4

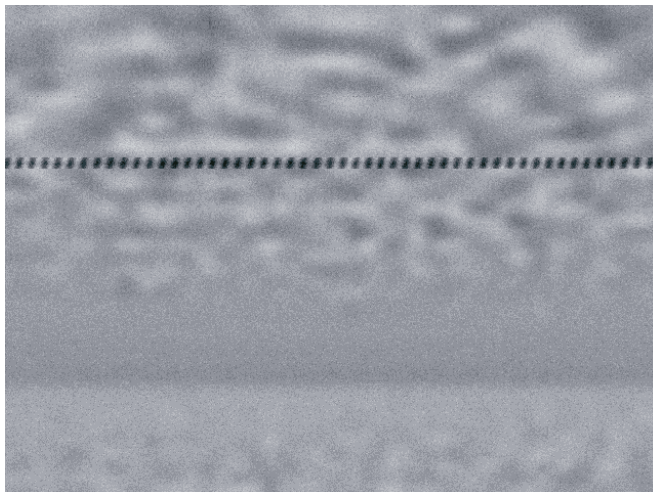


Рис. 5

рекция строки по соседним строкам или ее маскирование. Выборочная дисперсия  $\sigma_0$  вычисляется по всему изображению.

2. Если  $\text{std}_s > \varepsilon$ , то проверяется условие

$$\text{std}_s > \alpha \sigma_0 \quad \text{или} \quad R^2 > \gamma \quad \text{или} \quad \text{std}_e > \beta \sigma_0,$$

при выполнении которого принимается решение о том, что строка сбойная. Параметры  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  определяют значения пороговых величин, которые могут выбираться эмпирически или на основе критериев проверки гипотез для величин  $\text{std}_s$ ,  $R^2$ ,  $\text{std}_e$  [2].

3. Если условия 1 и 2 не выполняются, то на основе выборочных среднего и дисперсии проверяем постоянство младших разрядов.

4. Если условия 1–3 не обнаружили, что строка сбойная, то она подвергается проверке на наличие импульсных помех (выбросов). Для каждого элемента строки  $D_y(j)$ ,  $j=1, mw$ , применяем условие

$$\text{abs}(D_y(j) - \text{median}_D_y(j)) > 5\sigma_0.$$

Выполнение условия означает возможное наличие выброса, который заменяется величиной  $\text{median}_D_y(j)$ . Реализация данного алгоритма требует значительных вычислительных затрат в части обнаружения одиночных выбросов с помощью медианной фильтрации. Для этого используются более простые, но вполне работоспособные процедуры [3], например проверка условия

$$(D_y(j) - D_y(j-1)) > \alpha \sigma_0 \quad \& \quad (D_y(j) - D_y(j+1)) > \alpha \sigma_0 \quad \text{или}$$

$$(D_y(j-1) - D_y(j)) > \alpha \sigma_0 \quad \& \quad (D_y(j+1) - D_y(j)) > \alpha \sigma_0,$$

если оно выполняется, то считаем элемент строки  $y(j)$  выбросом и заменяем его средним значением соседних элементов

$$D_y(j) = (D_y(j+1) + D_y(j-1))/2.$$

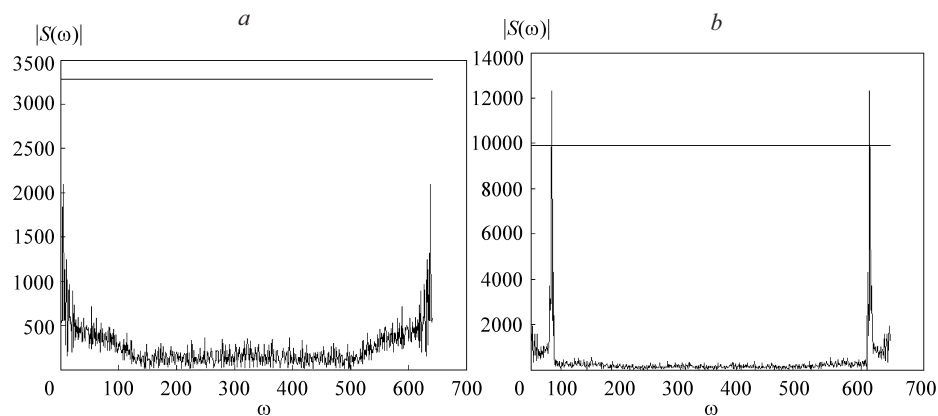


Рис. 6

Аналогичный алгоритм применяется и для обнаружения сбоев в столбце изображения.

На рис. 5 показан результат обнаружения и коррекции сбоев (без коррекции периодической помехи) с параметрами  $\alpha = 3$ ,  $\beta = 3$ ,  $\gamma = 0,8$  для изображения, приведенного на рис. 1.

**Коррекция периодической помехи.** Коррекцию периодической помехи естественно проводить с сигналом, представленным в частотной области, и использовать дискретное преобразование Фурье, имеющее отлаженные алгоритмы с небольшой вычислительной сложностью. На рис. 6 приведены модули спектров Фурье  $|S(\omega)|$  в зависимости от номера гармоники  $\omega$  сигнала по строке без сбоев (*a*) и с периодической помехой (*b*). В спектрах убрана постоянная составляющая сигнала. На спектре рис. 6, *b* присутствуют достаточно мощные пики на частотах, соответствующих средней частоте помехи.

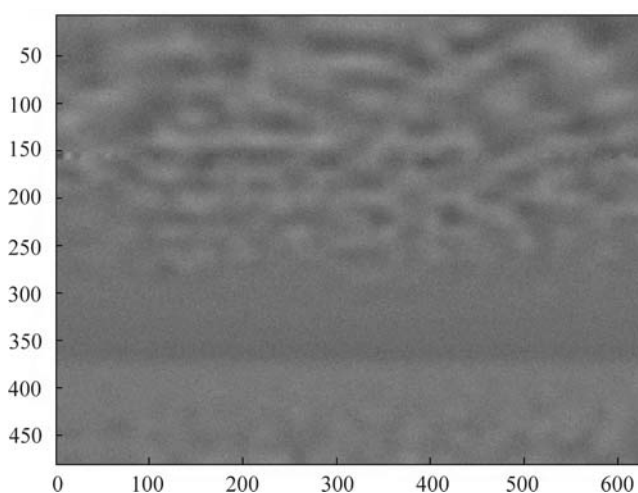


Рис. 7

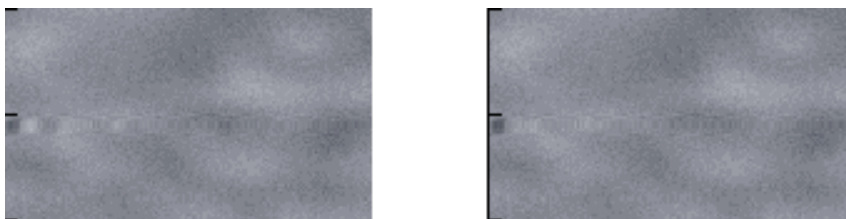


Рис. 8

Ширина пика определяется несколькими факторами:

- некрatностью длины строки и периода помехи;
- нестабильностью частоты помехи;
- ограниченной длиной строки, а следовательно, и выборки помехи.

Для подавления помехи достаточно обнулить компоненты спектра в некоторой области вокруг обнаруженного пика и осуществить обратное преобразование Фурье. Порог обнаружения пика  $L = k\sigma_s$  считается через дисперсию спектра  $\sigma_s$  так, чтобы не захватывать составляющие спектра сигнала ( $k$  – задаваемая константа). На графиках спектров горизонтальными отрезками обозначены пороговые уровни.

Восстановленное изображение при  $k = 10$  и полуширине зоны подавления в 6 точек дано на рис. 7. На уровне строк 150–160 можно увидеть неподдавленные «хвосты» по краям изображения, связанные с разрывом сигнала помехи, а также с некрatностью периода помехи и длины строки изображения. При увеличении ширины зоны подавления пика помехи эти хвосты сокращаются. Фрагменты изображения с полушириной зоны подавления в 6 и 15 точек приведены на рис. 8. На правом фрагменте хвост короче, чем на левом.

Необходимо соблюсти компромисс между уровнем подавления остатка помехи и возможным искажением сигнала. Обычно реальные изображения, получаемые сканирующей ИК-линейкой, имеют значительно большую длину строки, поэтому полученный уровень подавления вполне приемлем.

Для более точного обнаружения и подавления пика помехи в спектре сигнала можно увеличить длину строки, дополняя сигнал изображения нулями [4]. При этом уменьшаются составляющие ширины пика помехи в спектре сигнала, связанные с некрatностью длины строки и периода помехи, ограниченностью длины выборки вследствие увеличения количества отсчетов. Если длину строки сделать кратной степени 2, то возрастет эффективность работы алгоритма быстрого преобразования Фурье. Для более точного вычисления порога и определения пиков можно использовать двумерное преобразование всего изображения. Однако в большинстве случаев для уверенного определения достаточно одномерного преобразования по строке при гораздо меньших вычислительных затратах.

**Заключение.** В данной работе приведено описание встречающихся на практике дефектов изображений, получаемых сканирующей ИК-линейкой. Проведен анализ статистических характеристик для обнаружения дефектов и выбраны те, которые позволяют обнаруживать сбои в строках (столбцах) изображений, одиночные выбросы и аддитивную периодическую помеху. Предложен вариант алгоритма обнаружения рассмотренных видов сбоев и выбросов для их коррекции или маскирования. Показана возможность обна-



ружения и фильтрации мощной периодической помехи с сохранением исходной информации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ким В., Ярославский Л. П.** Ранговые алгоритмы обработки изображений. Адаптивные методы обработки изображений // Сб. науч. тр. Института передачи информации АН СССР. М.: Наука, 1988.
2. **Гайдышев И.** Анализ и обработка данных: специальный справочник. С.-Пб.: Питер, 2001.
3. **Дэйвид Г.** Порядковые статистики. М.: Наука, 1979.
4. **Айфичер Э. С., Джервис Б. У.** Цифровая обработка сигналов: практический подход. Москва – Санкт-Петербург – Киев: Издательский дом «Вильямс», 2004.

*Поступила в редакцию 22 апреля 2008 г.*

---