

Фильтрация остаточного геометрического и аппаратурного шумов сканирующей матрицы ИК-диапазона с микросканированием

Д. Г. Лебедев, К. Т. Льонг

Институт проблем передачи информации, Российская академия наук, Москва, Россия

Поступила в редколлегию 20.09.2007

Аннотация—В работе использовались изображения, полученные реальным приемным устройством ИК-диапазона со сканирующей фотоматрицей и микросканированием в направлении поперек строк. В устройстве проводилось двухточечное эталонное облучение приемников и цифровая коррекция видеосигнала с целью фильтрации геометрического шума. Исследовалась возможность фильтрации остаточного геометрического шума методами адаптивного выравнивания, а также фильтрации аппаратурных шумов. Для объективной и визуальной оценки качества фильтрации проводился компьютерный эксперимент.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе ставилась задача устранения остаточного геометрического шума на изображениях, полученных тепловизионным прибором со сканирующей матрицей приемников.

Практически в каждом приборе подобного типа имеются устройства, осуществляющие время от времени корректировку неоднородности фотоприемников сканирующей матрицы. Целью коррекции является получение от каждого пикселя фотоприемного устройства (ФПУ) сигнала одного и того же уровня при условии их равномерной облученности. Как правило, полностью скомпенсировать влияние неоднородности сканирующей матрицы не удастся. Причиной этого может быть неравномерность облучения при калибровке, отклонение реальных приемников от линейной модели используемой при коррекции видеосигнала, а также уход значений параметров приемников за время, прошедшее после окончания последней калибровки (особенно это относится к приемникам на базе КРТ).

Поэтому проблема фильтрации так называемого остаточного геометрического шума является актуальной.

В качестве исходного материала использовался набор изображений полученных ФПУ на базе КРТ в диапазоне $8 \div 12$ МКМ. В приборе использовалась сканирующая матрица 4×288 элементов [1]. Каждый канал получал усредненный по методу ВЗН [2] сигнал от 4-х приемников. Не меняя сути дела, можно считать, что упомянутый усредненный сигнал получен одним (эквивалентным) приемником и в дальнейшем вместо термина «сканирующая матрица» будем употреблять термин «сканирующая фотолинейка» или просто «линейка». Для увеличения формата изображения, в приборе использовалось микросканирование, т. е. сдвиг изображения относительно линейки фотоприемников в направлении перпендикулярном оптико-механическому сканированию. Таким образом, формирование кадра производилось за 2 прохода линейки: сначала сканировались все 288) нечетных строк, затем все 288 четных. В результате был получен формат 576×768 пикселей. После двухточечного выравнивания параметров с использованием эталонных источников облучения выходной видеосигнал был представлен массивом отсчетов яркости квантованных на 256 уровней.

В данной работе ставилась задача разработки алгоритмов адаптивной фильтрации остаточного геометрического шума, а также подавления аппаратных помех.

2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИК-ИЗОБРАЖЕНИЙ

Для улучшения условий рассматривания, при предварительном визуальном анализе, все изображения были предварительно контрастированы. Для этого в заданное число раз ($k = 4$) была усилена разность между текущим значением яркости и значением средней яркости по всему изображению. На рис. 1 приведен пример контрастированного изображения.

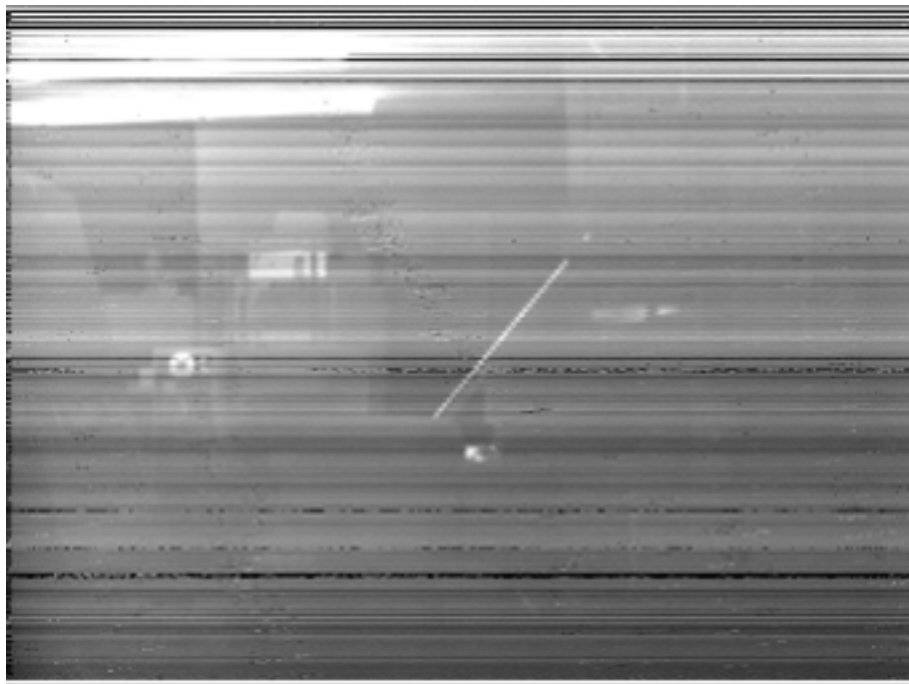


Рис. 1 Исходное изображение (контрастировано, $k = 4$)

Визуальный осмотр контрастированных изображений позволил составить следующую описательную модель изображения.

- А** Большую часть (площадь) изображения занимает ровный фон. В той или иной степени присутствие фона имеется в каждой строке изображения.
- В** Значительное количество объектов мало отличается по яркости от фона, хотя встречаются объекты и высокого контраста (например, светильники в верхней части изображения. См. рис. 1).
- С** Остаточный геометрический шум заметен на изображении в виде сдвоенных горизонтальных полос вследствие формирования пары строк изображения одним приемным каналом.

Была составлена программа просмотра распределения значений яркости для выбранных 4 смежных строк изображения. В верхней части экрана монитора демонстрируется выбранный фрагмент изображения (100 строк), ниже – распределение значений яркости для выбранных 4 последовательных строк. В левой части экрана указываются координаты строк (Y) и пикселей (X) на строке, а также значения яркости (E) для указанных пикселей. Курсором можно перемещать вертикальную (координата пикселей) и горизонтальную (координата верхней из 4 строк) линии по изображению, в пределах выбранного фрагмента.

Анализ распределения значений яркости позволил дополнить модель изображений следующими свойствами.

- D** В изображении имеется небольшая доля «плохих» строк. Это смежные строки с неисправным приемным каналом, а также строки с интенсивной аппаратной помехой. В случае с неисправным приемным каналом значение яркости вдоль строк сохраняется постоянным. Гладкие участки фона, просканированные исправным приемным каналом, такую стабильность значения яркости не дают.
- E** В изображениях, считанных реальным фотоприёмным устройством (ФПУ), некоторые значения яркости объектов с высоким контрастом ограничены на уровне 193–194 градаций. Это создает на изображении области постоянной яркости даже при исправных приемных каналах (в отличие от постоянной яркости строк, см. п. D).
- F** Аппаратные помехи (наводки) носят импульсный характер и заметны на изображении в виде одиночной (чёрной или белой) точки или локализованной последовательности таких точек, расположенных вдоль строки.

Приведенное, довольно общее, описание изображений, полученных с конкретного (ФПУ), позволяет установить следующий порядок действий при обработке изображений.

1. Выделение «плохих» строк, к которым следует отнести строки, сильно пораженные импульсной аппаратной помехой, а также строки с неисправным приемным каналом. Замена «плохих» строк на «хорошие» из ближайшего окружения.
2. Фильтрация остаточного геометрического шума.
3. Фильтрация аппаратных помех.
4. Контрастирование изображения.

3. УДАЛЕНИЕ «ПЛОХИХ» СТРОК ИЗ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Как было сказано выше, исходное изображение $U(i, j)$, где $i = 0, 1, \dots, 575$; $j = 0, 1, \dots, 767$; получено линейкой приемников с использованием микросканирования. Это значит, что каждый z -й приемник последовательно формировал 2 соседние строки изображения $U(2z)$ и $U(2z + 1)$. Назовем эти строки *парными*.

В случае неисправного приемника сигнал в канале будет удерживаться на постоянном уровне, что легко обнаруживается суммированием модуля межпиксельной разности яркостей по всей длине строки.

$$H(z) = \frac{1}{200} \sum_{j=1}^{767} (a(z, j) + b(z, j)), \quad (1)$$

где функции

$$\begin{aligned} a(z, j) &= |U(2z, j) - U(2z, j - 1)|, \\ b(z, j) &= |U(2z + 1, j) - U(2z + 1, j - 1)| \end{aligned}$$

и $z = 0, 1, \dots, 287$ — номер приемного канала, $j = 0, 1, \dots, 767$ — номер пиксела в строке.

Если накопленное значение $H(z)$ меньше заданного порога q (в компьютерном эксперименте устанавливалось $q = 4$ градациям), то парные строки считались «плохими».

Следующая проверка заключалась в подсчете импульсных аппаратных помех в строке изображения. Для этого подсчитывалось число случаев (n, m) , когда межпиксельная разность $a(z, j)$ или $b(z, j)$ превышала заданный порог δ (в эксперименте $\delta = 10$).

$$\begin{aligned} a(z, j) > \delta &\implies n = n + 1, \\ b(z, j) > \delta &\implies m = m + 1. \end{aligned} \quad (2)$$

Подсчитанное таким образом число импульсных помех сравнивалось с порогом p_1 (в эксперименте $p_1 = 50$).

Если $n > p_1$ или $m > p_1$, то пара строк считалась «плохой».

Наконец, если на любом участке строки длиной l (в эксперименте $l = 200$ пикселей) число выделенных по аналогии (2) импульсных помех превышало установленное ограничение ($p_2 = 30$), т. е. имела место локальная концентрация аппаратной помехи, то соответствующая пара строк также считалась «плохой».

В компьютерном эксперименте с указанными выше значениями порогов, на изображении рис. 1 было обнаружено 12 пар «плохих» строк ($\sim 4\%$ от общего количества пар). Из них 7 пар оказались «плохими» по причине неисправности приемных каналов, а 5 пар из-за концентрации аппаратной помехи. Все 12 пар строк были удалены как непригодные для дальнейшего использования. На место каждой удаленной пары строк вставлялись (репродуцировались) «хорошие», но обязательно парные строки из ближайшего окружения. Подготовленное таким образом изображение $U(i, j)$ (используем прежнее обозначение) поступало на вход программы, фильтрации геометрического шума.

4. ФИЛЬТРАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ШУМА

Остаточный геометрический шум мешает выделению слабых контрастов при рассмотрении изображений. Не помогает и усиление контрастов т.к. соответственно увеличивается и геометрический шум (рис. 1).

Выберем из приведенного выше описания изображений положения, имеющие отношение к фильтрации геометрического шума.

Большую часть (площадь) изображения занимает ровный фон. Некоторая часть каждой строки изображения занята ровным фоном.

Изображения объектов имеют, как правило, небольшой контраст с фоном. Допускается наличие нескольких объектов с сильным контрастом относительно фона.

В методах фильтрации геометрического шума используется та или иная модель приемного канала. Модель задает параметры, характеризующие канал и их модельные значения. Эти рекомендации распространяются на все приемные каналы устройства. Отклонение значений параметров канала от модельных считается причиной возникновения геометрического шума на изображении. Методами процессорной обработки видеосигнала в каждом канале, вырабатывается корректирующий сигнал, приближающий значения его параметров к значениям, указанным в модели.

Выравнивание параметров, проведенное с тем или иным успехом, проводится заново по мере изменения значений параметров физических приемных каналов с течением времени.

Следует сделать несколько замечаний относительно выбора метода фильтрации остаточного геометрического шума на изображениях обладающих указанными выше (А,В) свойствами.

Стандартный способ двухточечного выравнивания опирается на линейную модель приемного канала. Отклонение характеристик реальных приемных каналов от линейности, а также возможная неравномерность эталонного облучения линейки не позволяют произвести полную фильтрацию геометрического шума. В какой мере остаточный геометрический шум обязан своим появлением первой причине (нелинейность реальных приемных каналов) или второй

(неравномерное облучение), зависит от конкретного ФПУ. По виду остаточного геометрического шума что-либо сказать по этому поводу трудно.

В работе [3] методами имитационного компьютерного моделирования проанализированы некоторые алгоритмы цифровой обработки сигналов с целью устранения геометрического шума. Изображения, используемые при моделировании (двуградационные штриховые миры на ровном фоне), удовлетворяют свойству А. Что касается свойства В, то оно выполняется частично (отсутствуют объекты с малыми контрастами). Однако это обстоятельство не мешает взять за основу рекомендации по устранению геометрического шума, полученные в работе [3].

Визуальный анализ выходных изображений, полученных путем моделирования в [3] позволяет сделать важный вывод: для эффективной фильтрации геометрического шума в изображениях с преобладающей фоновой составляющей яркости, достаточно произвести выравнивание яркости каждой строки изображения по уровню ее средней яркости. При этом в [3] исследовались 2 способа реализации выравнивания.

1. Алгоритм выравнивания *по значению пикселя*, принадлежащего опорному столбцу, состоящий в том, что яркость каждой строки за счет изменения уровня постоянной составляющей преобразуется таким образом, чтобы яркость пикселя опорного столбца в каждой строке оказалась на едином для всего кадра уровне.
2. Алгоритм выравнивания *по среднему значению сигнала*, состоящий в вычислении средней яркости всего кадра и умножении сигналов каждой строки таким образом, чтобы средние значения яркости строк совпадали со средней яркостью кадра.

Визуальный анализ выходных изображений, представленных в работе [3] показывает, что предпочтение следует отдать алгоритму выравнивания по опорному столбцу (1). Второй алгоритм основан на предположении, что в отсутствие геометрического шума уровень постоянной составляющей у всех строк примерно одинаков. На изображениях используемых в работе [3] имеются объекты (черные квадраты с высоким контрастом относительно фона), занимающие в соответствующих строках значительное число пикселей. Поэтому уровень постоянной составляющей этих строк сильно отличается от уровня постоянной составляющей строк свободных от объектов. Этим объясняются специфические искажения в выходном изображении при использовании в работе [3] алгоритма (2).

В качестве примера неприменимости алгоритма выравнивания по среднему уровню сигнала в строке в нашем случае он был использован для фильтрации остаточного геометрического шума оригинала, показанного (после контрастирования) на рис. 1. Предварительно были заменены «плохие» строки в соответствии с методикой, указанной выше. Результат фильтрации показан на рис. 2 (он также контрастирован для улучшения условий рассматривания). Видно, что наличие протяженных объектов с высоким контрастом при использовании алгоритма (2) влечет за собой появление весьма заметных темных «хвостов» у светлых объектов.

К сожалению, напрямую использовать алгоритм (1) в настоящей работе не представляется возможным. Это следует из условий поставленной задачи — фильтрации остаточного геометрического шума. Остаточного после двухточечного выравнивания параметров, где эталонное облучение фотоприемной линейки уже было использовано. Кроме того, двухточечное выравнивание проводилось с использованием 14-битового представления значений яркости, а выходное изображение после выравнивания (в настоящей работе «оригинал») представлено 8-битовыми значениями яркости. По этим причинам формирование опорного столбца путем эталонной засветки, как это было сделано в работе [3] для реализации алгоритма выравнивания (2), в нашем случае осуществить невозможно.

В настоящей работе предлагается формировать опорный столбец используя имеющуюся засветку ФПУ фоном.

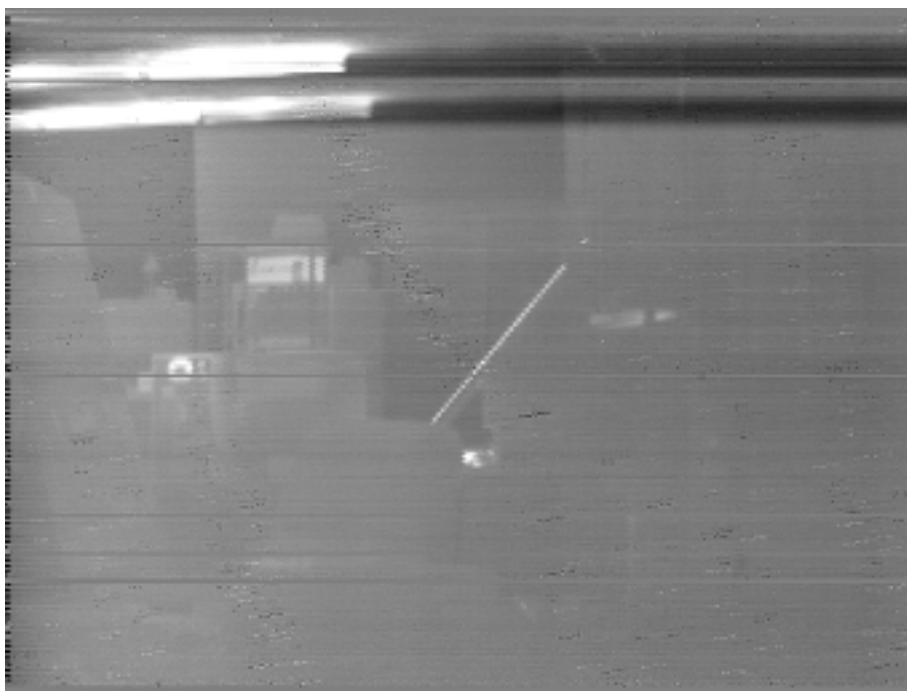


Рис. 2 Выравнивание по среднему уровню сигнала в строке (контрастировано, $k = 4$).

В самом деле, фон достаточно ровный и присутствует в каждой строке (свойство А используемых изображений). Трудность заключается в том, чтобы найти фоновые пиксели строки в условиях остаточного геометрического шума — ведь в этом случае они, как правило, отличаются по яркости от строки к строке и, кроме того, могут располагаться на различных участках вдоль строки. Для определения значения средней яркости фона данной строки представляется целесообразным анализировать гистограмму значений яркости строки. Поскольку фоновые отсчеты яркости строки в совокупности составляют заметную долю пикселей строки и имеют малый разброс значений (свойство «А» — фон ровный), то среднее значение яркости фона данной строки можно определить по максимуму гистограммы значений яркости строки. Как показывает компьютерное моделирование, предлагаемый алгоритм позволяет в большинстве случаев правильно определить среднее значение яркости фона в строке. Однако случаются сбои в некоторых строках, содержащих пиксели с большим значением яркости светлых объектов.

Все дело в том, что яркость светлых объектов может попасть в область, ограниченную на уровне 193–194 градаций, что было замечено при предварительном анализе имеющихся ИК-изображений (свойство «Е»). Стабильность амплитуды яркости значительного числа пикселей строки (светлые объекты на рис. 1 имеют протяженность примерно в $1/3$ длины строки) может привести к тому, что максимальное значение ординаты на гистограмме яркости строки будет относиться не к фоновой яркости, а к ограниченной яркости светлого объекта.

Для того, чтобы избежать фоновое значение яркости строки от «конкурента», заметим, что уровень ограничения яркости (193–194 градаций) не зависит от геометрического шума. Это видно на гистограмме яркости всего изображения (рис. 3). Наряду с «большим» максимумом на уровне 124–125 градаций, что соответствует средней яркости фона на изображении, имеется второй, «маленький», на уровне 193–194 градаций, т. е. на уровне ограничения яркости. Таким образом, установив верхний порог возможных значений яркости фоновых пикселей строки, например, на уровне 180 градаций, можно полностью исключить возможность ошибочного результата при определении средней яркости фона строки.

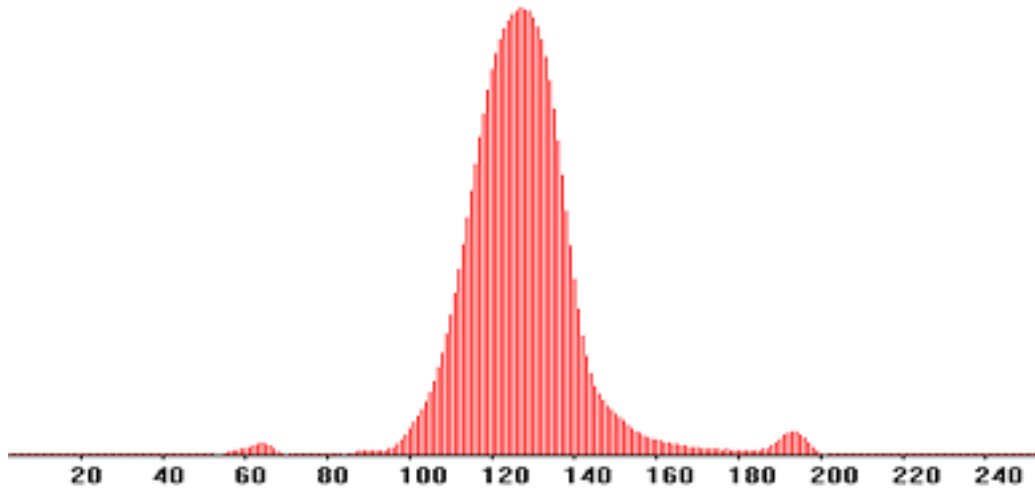


Рис. 3 Гистограмма яркости всего изображения

Практически, с учетом того обстоятельства, что парные строки формируются одним приемным каналом анализировалось изображение $\bar{U}_{(z,j)}$ с усреднением яркости парных строк, содержащее столько строк, сколько имеется приемных каналов:

$$\bar{U}(z, j) = \frac{U(2z, j) + U(2z + 1, j)}{2} \quad (3)$$

для

$$\begin{cases} z = 0, 1, 2, \dots, 287; \\ j = 0, 1, 2, \dots, 767. \end{cases}$$

Сначала по гистограмме яркости всего изображения определялось наиболее часто встречающееся значение яркости. Для рассматриваемого класса изображений это значение яркости фона U_{Φ} . Чтобы уменьшить влияние случайных выбросов на гистограммах, применялось скользящее сглаживание по «окну» длиной 10 пикселей [4]. Далее формировалось изображение $\bar{U}(z, j)$ и определялись средние значения яркости фоновых пикселей $\bar{U}_{\Phi}(z)$ для каждой z -й строки.

Корректирующие добавки $\Delta U(z)$ к каждой паре строк определялись путем сравнения средней яркости фоновых пикселей строки с единой для всего изображения средней яркостью пикселей фона

$$\Delta U(z) = \bar{U}_{\Phi} - \bar{U}_{\Phi}(z). \quad (4)$$

Полученные значения добавок яркости $\Delta U(z)$ использовались для получения скорректированного изображения $\hat{U}(i, j)$ по формуле

$$\hat{U}(i, j) = U(i, j) + \Delta U([i/2]) \quad (5)$$

для

$$\begin{cases} i = 0, 1, 2, \dots, 575; \\ j = 0, 1, 2, \dots, 767. \end{cases}$$

Результат выравнивания показан на рис. 4. Сравнивая рис. 2 и 4 можно сказать, что адаптивное выравнивание по фону в данном случае предпочтительней выравнивания по среднему уровню яркости. Предложенный метод использующий фоновую засветку ФПУ и определение среднего значения яркости фона каждой строки по максимуму ее гистограммы, в данном классе ИК-изображений отфильтровывает остаточный геометрический шум достаточно эффективно.



Рис. 4 Результат выравнивания по гистограммам яркости строк (контрастировано, $k = 4$)

5. ФИЛЬТРАЦИЯ АППАРАТУРНЫХ ПОМЕХ

Характер аппаратных помех всецело зависит от типа используемого ФПУ. Предварительный визуальный анализ с использованием средств, упомянутых в начале статьи, позволил выделить следующие особенности аппаратных помех на обрабатываемых изображениях:

1. Аппаратурная помеха представляет собой либо одиночный импульс, заметный на изображении в виде одиночной (1 пиксель) черной или белой точки. Имеются также локализованные последовательности таких точек, расположенные вдоль строки (например, отмеченная индексом a на рис. 5).
2. В серии могут быть импульсы одной полярности (a на рис. 5) либо двух полярностей (b на рис. 5).
3. Имеется небольшое количество помех в виде короткой черточки на строке, состоящей из 2–3 однополярных импульсов.

Отметим, что индексом c на рис. 5 обозначен срез яркости, относящийся к объекту (наклонная светлая полоса на фрагменте изображения в верхней части экрана монитора).

4. Импульсная помеха попадает непосредственно в приемный канал, как наводка. Она характеризуется высокой крутизной переднего и заднего фронтов в отличие от полезного сигнала, сформированного системой оптико-механического сканирования с неизбежным «завалом» фронтов [5].

5. Четные и нечетные строки изображения считываются в различное время. Это свойство изображений, полученных ФПУ с микросканированием. Поэтому корреляционная связь в отношении аппаратных помех соседних строк-практически отсутствует.

Программа фильтрации аппаратной помехи разработана на основе списка свойств 1–4.

Крутизна фронтов аппаратной помехи дает высокое значение межпиксельной (вдоль строки) разности, превосходящее установленный порог. Контрасты, принадлежащие собственно изображению из-за низкой крутизны фронтов дают небольшое значение межпиксельной разности, остающееся за порогом.

Импульсный характер помехи, вне зависимости от того, принадлежит ли импульс группе (серии) или нет, позволяет выделить аппаратную помеху цифровыми фильтрами, построенными на основе межпиксельных разностей.

Выделенные фильтрами значения яркости, принадлежащие аппаратной помехе, заменяются соответствующими (т.е. имеющими ту же координату вдоль строки) значениями яркости, взятыми из той соседней строки, которая составляет с данной пару. В дальнейшем, межпиксельная разность берется с участием замененного отсчета яркости.

Подавление аппаратной помехи производится в 2 этапа. На первом этапе используется программа подавления помехи типа одиночных импульсов и локализованных серий импульсов произвольной полярности. На этом этапе аппаратная помеха подавляется примерно на 95–97%.

На втором этапе подавляется аппаратная помеха типа «черточек» на изображении, отмеченная в п.3 данного параграфа. Она использует в основном тот же инструментарий, что и предыдущая программа, и работает только после реализации первого этапа фильтрации аппаратного шума.

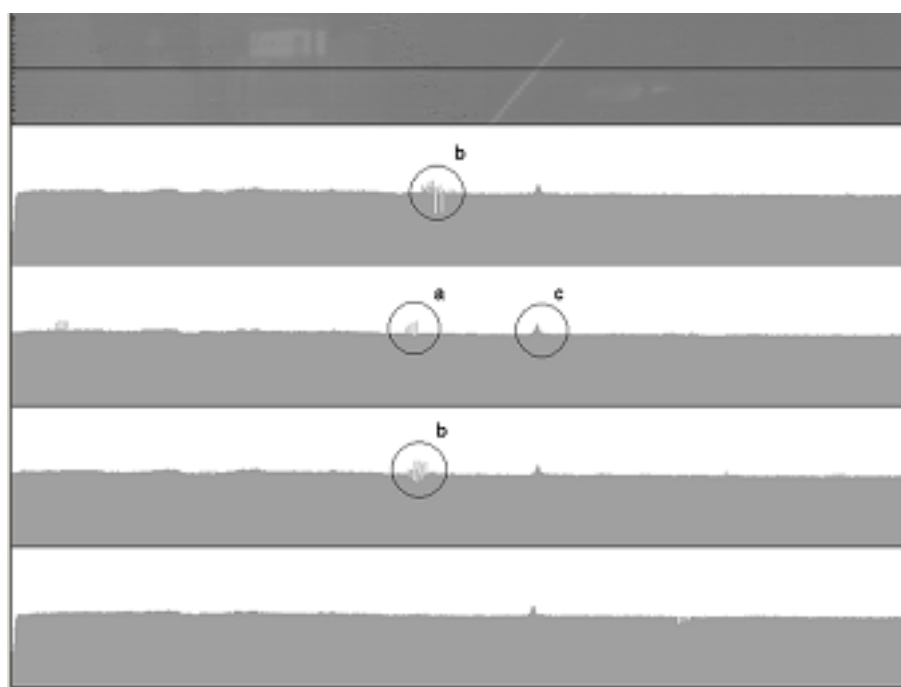


Рис. 5 Аппаратурные шумы на диаграммах яркости 4 строк выбранного фрагмента изображения. *a, b* — серии импульсов аппаратной помехи, *c* — яркостной контраст, принадлежащий объекту.



Рис. 6 Диаграммы яркостей 4 строк выбранного фрагмента изображения после фильтрации аппаратных помех.
с — яркостной контраст, принадлежащий объекту.

Выделенные на втором этапе фильтрами сигналы проходят дополнительную проверку на принадлежность к аппаратурной помехе. Для этого используется свойство (5) — отсутствие межстрочной корреляции. Если фильтр выделил сигнал в данном месте строки, то в случае его принадлежности к аппаратной помехе, в соответствующем месте соседней верхней и нижней строк, выделения сигнала фильтром быть не должно. Другими словами, аппаратурная помеха в строке, как правило, «изолирована» сверху и снизу. Если этого нет, то выделенный фильтром контраст скорее всего принадлежит изображению объекта.

Эффективность фильтрации аппаратурной помехи с помощью разработанных алгоритмов иллюстрируется сравнением рис. 5 (до фильтрации) и рис. 6 (после фильтрации) для одного и того же фрагмента изображения. Аппаратурная помеха практически подавлена и в тоже время сравнимый с амплитудой помехи контраст, отмеченный индексом c на рис. 5, относящий к объекту, полностью сохранен.

Выходное изображение, полученное после замены «плохих» строк, фильтрации геометрического шума и подавления аппаратурных помех представлено в контрастированном виде ($k = 4$) на рис. 7. Сравнение рис. 7 с рис. 1 дает визуальное представление об эффективности предложенных методов фильтрации помех, характерных для исследуемого класса ИК-изображений.

6. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ШУМА

Геометрический шум проявляется в возникновении полос, повторяющих строчную структуру изображения. К подобным искажениям глаз человека очень чувствителен. Даже слабый, в одну–две градации яркости, протяженный контраст легко обнаруживается наблюдателем. В работе [5] была введена оценка качества выравнивания параметров, суммирующая среднюю величину контраста между смежными строками изображения, возникающего вследствие разброса параметров фотоприемной линейки.



Рис. 7 Выходное изображение после замены "плохих" строк на "хорошие", фильтрации геометрического шума и аппаратных помех (контрастировано, $k = 4$).

Следует заметить, что в работе [5] проводилось компьютерное моделирование методов адаптивного выравнивания, причем значения параметров сканирующей линейки были известны.

В данном случае обработки изображений, полученных реальным ФПУ ИК-диапазона, значения параметров линейки, вмонтированной в прибор, неизвестны. Поэтому потребовалась ввести некоторые изменения в алгоритм оценки качества выравнивания [5], не затрачивая при этом основную идею суммирования средних величин контраста между смежными строками, вызванного неоднородностью фотоприемников.

Поскольку известны корректирующие добавки яркости $\Delta U(z)$ определяемые (4), то для оценки остаточного геометрического шума их можно использовать следующим образом:

$$\Delta \tilde{U}(z) = \begin{cases} 0, & \text{если } |\Delta U(z)| < p, \\ \Delta U(z), & \text{если } |\Delta U(z)| \geq p. \end{cases} \quad (6)$$

Оценка S остаточного геометрического шума в изображении до коррекции определим как:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{z=1}^N |\Delta \tilde{U}(z)| \quad (7)$$

где n — число случаев превышения порога p в (6).

Сравнение с порогом p в (6) введено для того, чтобы исключить значения межстрочных контрастов $\Delta \tilde{U}$, которые не могут быть обнаружены зрительной системой человека (в компьютерном эксперименте $p = 1 \div 2$ градации яркости).

По поводу оценки (7) можно сказать, тоже самое что и по поводу оценки, предложенной в работе [5], а именно: оценка (7) использует особенности формирования кадра линейкой

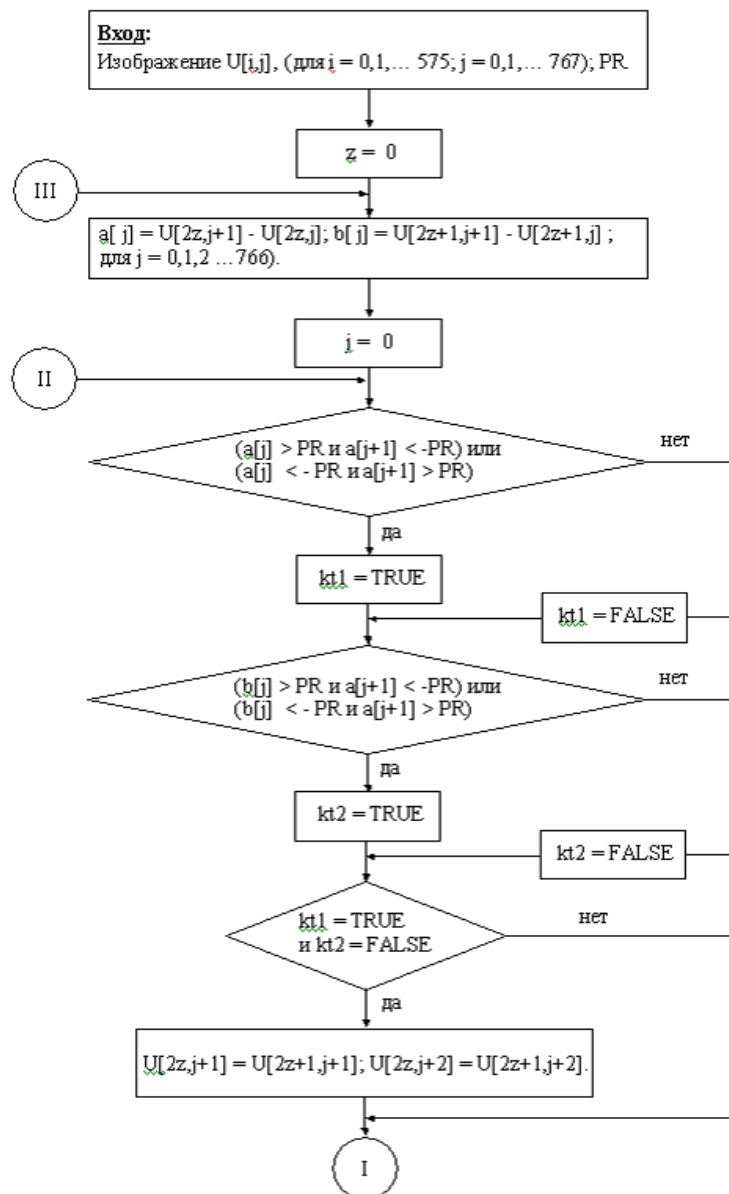
фотоприемников и полезна именно в этом случае. Кроме того, она основана на реализации некоторых свойств зрительной системы человека и поэтому пригодна для оценки качества изображения, считанного линейкой в случае визуального наблюдения. Здесь ее применение более оправдано, чем, например, оценки, основанной на измерении дисперсии геометрического шума. Если же требуется более точная передача значений яркости, то оценка (7) ничем не лучше других.

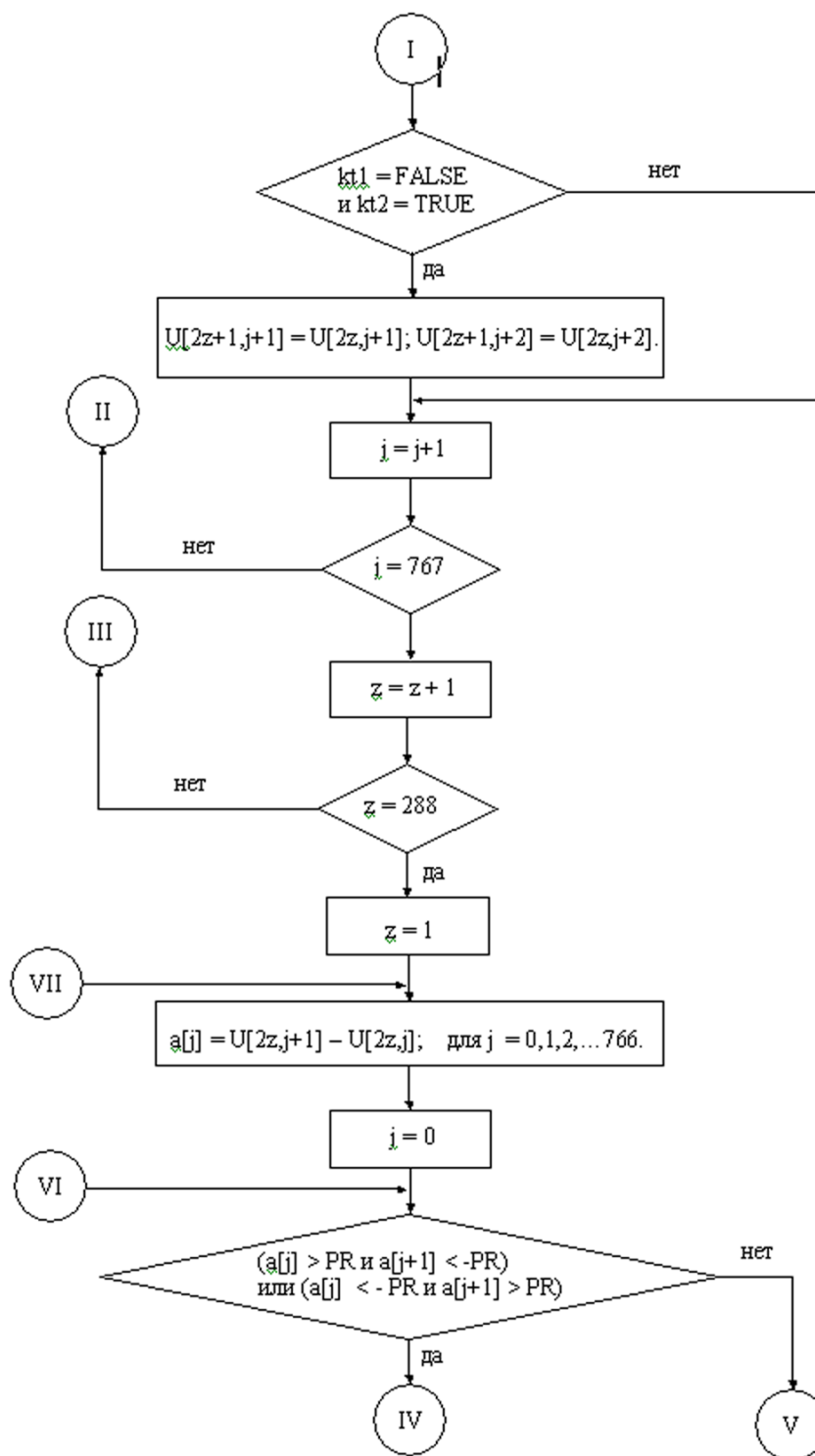
После применения программы фильтрации остаточного геометрического шума, алгоритм которой был описан выше, получено изображение рис. 7. Визуальное сравнение рис. 1 с рис. 7 позволяет получить представление об эффективности предложенного пакета цифровой обработки ИК-изображений со свойствами, описанными выше. Оценка остаточного геометрического шума в исходном изображении (рис. 1) после замены «плохих» строк на «хорошие» согласно (6), (7) дает значение $S_1 = 8,54$. После коррекции (3)–(5), оценка остаточного геометрического шума в изображении (рис. 7) дает значение $S_7 = 0$. Это значит, что геометрический шум стал ниже порога зрительного обнаружения.

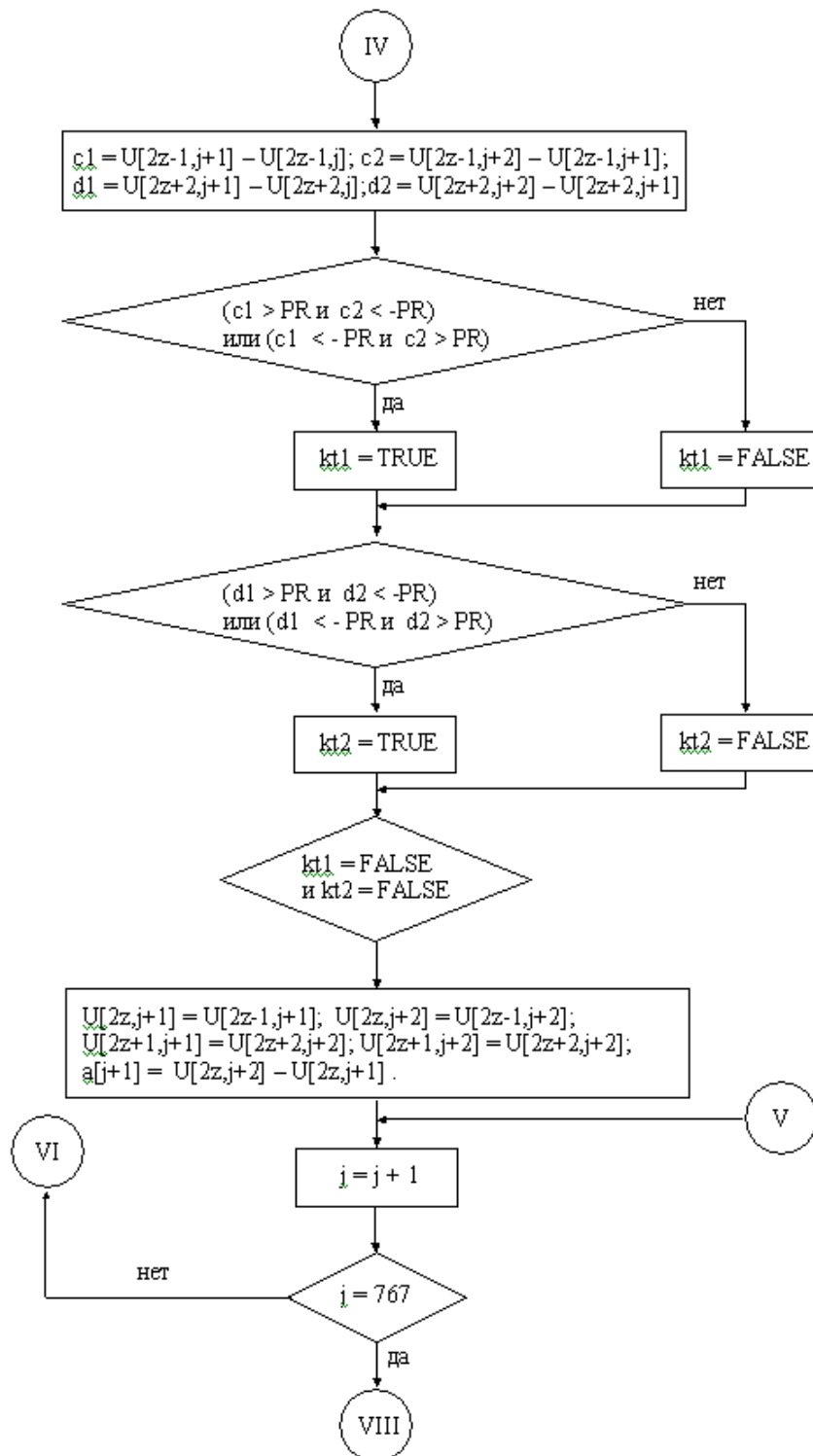
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

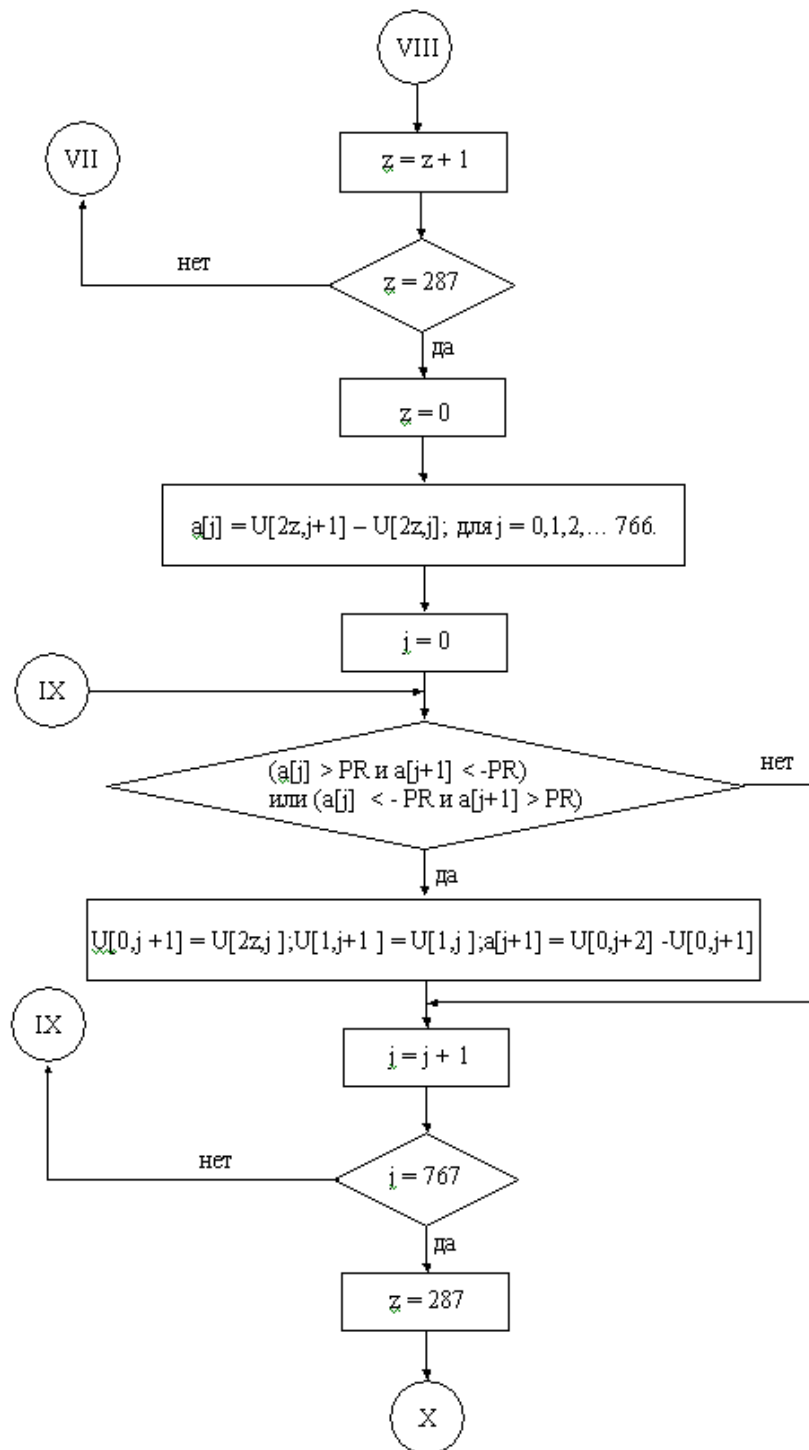
1. В работе исследовалась возможность улучшения качества ИК-изображений, большую часть которых занимает ровный фон. Изображения получены реальным ИК-прибором со сканирующей фотолинейкой. Выравнивание параметров проводилось путем цифровой обработки сигнала после двухточечного облучения линейки эталонными источниками в ИК-приборе. Значения яркости выходных изображений квантованы на 256 уровней.
2. Предложен адаптивный метод фильтрации остаточного геометрического шума, использующий в качестве эталона фоновую засветку на изображении. Среднее значение фоновой засветки на строке в условиях геометрического шума определяется с помощью гистограммы яркости строки.
3. Предложен метод фильтрации аппаратурных помех реального ФПУ, использующий особенности формирования раstra разверткой с микросканированием.
4. Путем компьютерного эксперимента с использованием реальных ИК-изображений и субъективной оценки показана высокая эффективность предложенных (п. 2,3) методов.
5. Предложена объективная оценка остаточного геометрического шума на изображении, полученном фотоприемной линейкой с микросканированием, согласованная со свойствами зрения человека и близкая к субъективной оценке геометрического шума на изображении.
6. Проведенное исследование имеет ориентировочную направленность, показывая, как можно использовать особенности изображений (например, преобладание фона) или ИК-прибора (микросканирование) для улучшения качества изображения. Для практического применения необходима разработка аналогичных алгоритмов на более широком классе изображений, соответствующем некоторой конкретной задаче использования ИК-приемника.

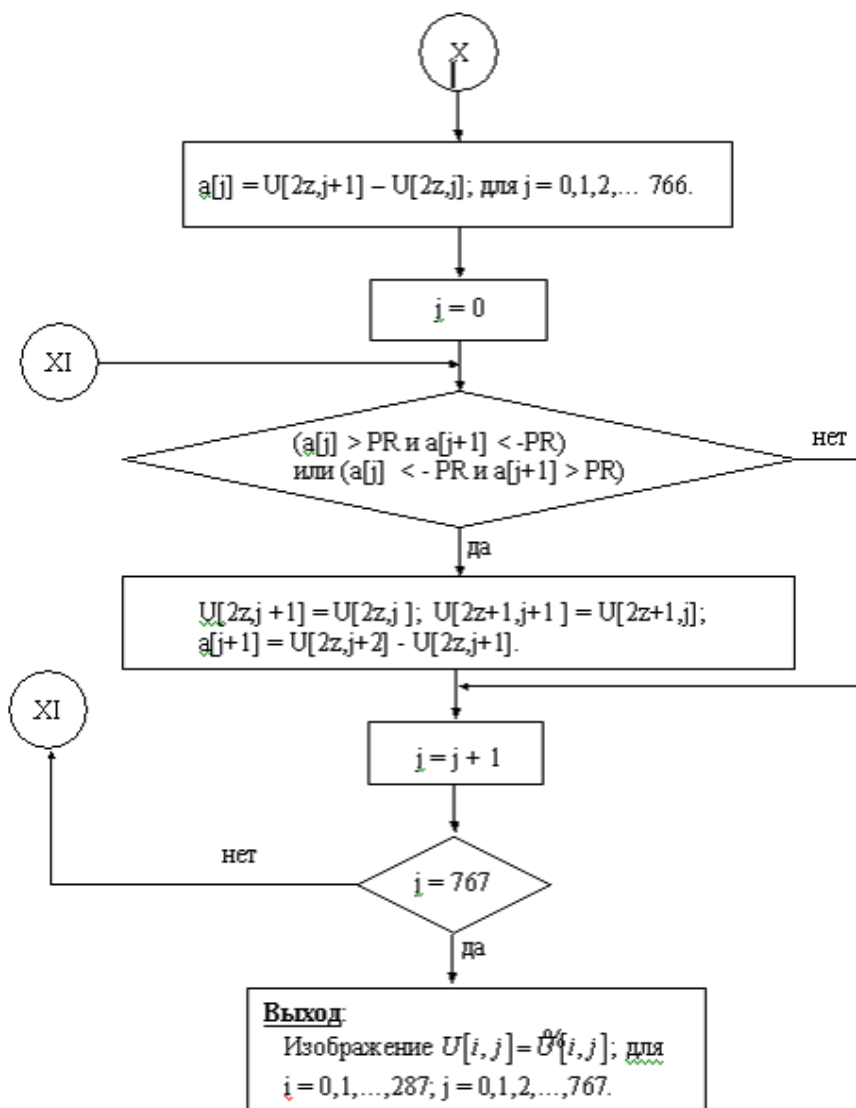
Алгоритм фильтрации аппаратных помех:











СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов В. М., Болтарь К. О., Бурлаков И. Д. и др. «Матричные фотоэлектронные модули среднего и дальнего ИК-диапазонов спектра на основе фотодиодов из $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ для инфракрасной аппаратуры нового поколения. *Прикладная Физика*, 2005, № 2.
2. Филачев А. М., Таубкин И. И., Тришенков М. А. *Твердотельная электроника. Физические основы*. М.: Физматкнига, 2005.
3. Александров В. А, Кремень Н. В. Автоматическая компенсация неоднородностей интегральной чувствительности фотоприемного устройства тепловизионной системы. *Оптический журнал*, 1997, том 64, № 2.
4. Гонзалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений*. М.: Техносфера, 2006.
5. Лебедев Д. Г., Льюнг К. Т. Моделирование адаптивного выравнивания параметров линейки фотоприемников с использованием микросканирования. *Информационные процессы*, 2007, том 2, № 2, стр. 124–137.