На правах рукописи

Лыонг Куанг Туан

# МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБРАБОТКОЙ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ В ОПТО-ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

Специальность 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации »

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва 2007

# Работа выполнена в Московском физико-техническом институте (государственный университет)

Научный руководитель: доктор физико-математических наук доктор технических наук

Лебедев Д.Г. Нгуен Куанг Тхыонг

Официальные оппоненты: доктор технических наук Дивеев А.И. кандидат физико-математических наук Андреев В.П.

Ведущая организация: Научно-исследовательский институт микроприборов

Защита диссертации состоится «\_\_\_\_» \_\_\_\_ 2007 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д. 002.017.03 в Вычислительном центре им. А.А. Дородницына РАН (119333, г. Москва, ул. Вавилова, д.40)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН.

Автореферат разослан «\_\_\_\_» \_\_\_\_2007 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 002.017.03

кандидат физико-математических наук

Мухин А.В.

Актуальность темы. В первых поколениях тепловизоров применялись одноэлементные ИК фотодатчики (и соответствующие сканеры), В последующих однорядные, затем многорядные линейки (сканирующие матрицы) наконец, были разработаны «смотрящие» И. матрицы, перекрывающие сразу всю площадь кадра.

Увеличение числа элементов это увеличение времени, в течение которого элемент матрицы "смотрит" на один элемент изображения, и, следовательно, имеет возможность принять большое число фотонов. В идеале в «смотрящей» матрице ее элемент «смотрит» максимально возможное время – все заданное время кадра. К сожалению, в оптимальном для тепловидения спектральном диапазоне 8 ÷ 14 мкм при высоком квантовом выходе фотоприемника идеал еще не достигнут: слишком велик фоновый ток, генерированный тепловым потоком, электрическая емкость ячейки переполняется, она не может копить в течение всего времени кадра. По указанной причине «смотрящие» матрицы не вытеснили сканирующих, в тепловизионных системах находят применение оба типа матриц.

Основным спектральным диапазоном тепловидения является диапазон 8 ÷ 14 мкм, так как именно на этот диапазон приходится максимум собственного излучения тел с температурой ~ 300К. Большинство твердотельных приемников ИК-диапазона используют теллурид кадмия и ртути GdHgTe (КРТ, кадмийртуть-теллур). КРТ чувствителен не только в области 8 ÷ 14 мкм, но и во всех практически важных ИК-диапазонах. Поэтому работа направлена на моделирование и улучшение работы приборов ИК-диапазона 8 ÷ 14 мкм, основанных на использовании КРТ приемников.

Улучшение направлено на устранение влияния так называемого «геометрического шума», в частности с КРТ приемниками сигнала.

В настоящее время добиваются некоторого снижения геометрического шума многоэлементных фотоприемников путем процессорной обработки видеосигнала. При этом используются 3 пути:

**1.** Метод временной задержки и накопления (ВЗН). Метод реализуется на специальных приборах (сканирующих матрицах), занимающих промежуточное положение между линейными и матричными приемниками.

2. Метод выравнивания параметров, основанный на предварительном однократном или многократном облучении приемника от эталонного источника и запоминания значений коэффициентов передачи видеотракта.

3. Адаптивные методы выравнивания параметров, где роль эталонного источника играют сами сканируемые изображения.

Наибольшее распространение получил метод выравнивания параметров, основанный на облучении эталонным источником. Практически, в каждом тепловизоре со сканирующей матрицей или линейкой на базе КРТ имеется встроенные источники эталонного облучения. Однако, по указанным выше причинам, полного устранения геометрического шума достичь не удается. Поэтому вопрос снижения и подавления геометрического шума при обработке видеоинформации является актуальным.

Целью работы является разработка методов и алгоритмов эффективного обработкой видеоинформации В приборах, управления использующих сканирующие матрицы ИК-диапазона, с микросканированием, направленные остаточного геометрического подавление шума. Остаточный на геометрический шум зрительно воспринимается оператором как помеха при обнаружении малоконтрастных объектов. Таким образом, повышая надежность обнаружения объектов, повышаем эффективность работы системы темпловизор-оператор в целом.

Для достижения поставленной цели были решены следующие основные задачи:

**1.** Разработан метод и алгоритмы адаптивного выравнивания значений параметров в системах использующих сканирующую матрицу ИК-диапазона с микросканированием.

2. Разработана методика оценки эффективности методов выравнивания значений параметров, согласованная со свойствами зрительной системы человека (оператора).

3. Проведен компьютерный эксперимент на нескольких изображениях и модели линейки фотодатчиков с заданным разбросом значений параметров для визуальной оценки качества выравнивания без использования микросканирования предложенной методике И ПО с использованием микросканирования.

**4.** Разработан метод и алгоритмы системы управления обработкой видеосигнала направленные на фильтрацию остаточного геометрического шума в изображениях определенного класса после эталонного облучения и выравнивания значений параметров сканирующей матрицы в реальном приборе.

5. Разработан метод оценки остаточного геометрического шума в изображении, согласованный со свойствами зрительной системы человека (оператора).

**6.** Проведено компьютерное моделирование предложенной системы управления обработкой видеоинформации, полученной в реальном тепловизоре для визуальной оценки качества фильтрации остаточного геометрического шума в выходном изображении.

**Методы исследования.** При решении поставленных задач были использованы методы системного анализа, методы вычислительной математики, методы проверки моделей и алгоритмов проведением компьютерного эксперимента, результаты психофизических исследований зрения человека и конструктивные данные современных приборов ИК-диапазона.

## <u>Научная новизна</u>.

1. Обращение к системам развертки с микросканированием позволило сделать качественный скачок – в методах адаптивного выравнивания отпала необходимость корреляционной связи между соседними строками сканируемого изображения. Методы выведены из разряда статистических, что позволило сократить число изображений, необходимых для качественного выравнивания до одного.

2. В разработанном методе фильтрации остаточного геометрического шума применен новый подход, а именно отказ от выяснения причин неполного

выравнивания параметров при эталонной засветке и вообще отказ от детерминированной во времени модели геометрического шума. Остаточный геометрический шум рассматривается как возмущение, действующее на систему обработки видеоинформации. Система управления вырабатывает для строк каждого кадра корректирующие сигналы. Как показал компьютерный эксперимент, предложенная методика обеспечивает эффективное подавление остаточного геометрического шума.

**3.** Предложенные методы оценки геометрического шума на изображении, считанном линейкой фотодатчиков, и оценки качества самой линейки, отличаются от стандартной оценки неоднородности (например, по дисперсии), они основаны на известных из психофизики свойствах зрения человека и, поэтому, ближе к субъективной оценке.

#### Положения, выносимые на защиту.

1. Адаптивные методы выравнивания, значений параметров линейки фотодатчиков в системах развертки с микросканированием.

2. Методика объективной оценки эффективности выравнивания, согласованная со свойствами зрительной системы человека.

**3.** Методы и алгоритмы системы управления обработкой видеоинформации, полученной в реальном тепловизоре, направленные на фильтрацию остаточного геометрического шума и аппаратурных шумов.

4. Пакет программ для моделирования адаптивных методов выравнивания параметров в приборах с линейками фотодатчиков и разверткой с микросканированием.

Достоверность. Все методы и алгоритмы прошли экспериментальную проверку либо путем компьютерного моделирования (методы выравнивания параметров), либо путем управления обработкой видеоинформации, полученной от реального прибора ИК-диапазона (фильтрация остаточного геометрического шума). В обоих случаях, результат обработки в виде выходного изображения предявлялся наблюдателно для визуальной оценки.

## Практическая значимость работы.

**1.** Предложен новый подход к проблеме выравнивания параметров линейки фотодатчиков или сканирующей матрицы фотодатчиков заключающийся в использовании микросканирования. Показано, что он позволяет использовать, практически, любое из сканируемых изображений для алгоритмов выравнивания, использующих линейную модель фотодатчика.

2. Предложен новый подход к проблеме фильтрации остаточного геометрического шума с использованием системы управления обработкой видеоинформации. Обработка видеосигнала, полученного от реального тепловизионного прибора, показала его высокую эффективность.

**3.** Предложенные методы оценки геометрического шума на изображении, считанном линейкой фотодатчиков, и оценка качества самой линейки, основаны на свойствах зрения человека и дают оценку близкую к субъективной оценке наблюдателя.

4. Имеются 2 обстоятельства, характерные для современных приборов ИК-диапазона со сканирующими линейками или матрицами:

5

а. Микросканирование перестало быть технической проблемой и широко применяется (как правило, для увеличения формата сканируемого изображения).

б. Цифровая обработка видеосигнала повсеместно используется практически во всех упомянутых приборах.

Поскольку требования в разработанных методах, касающиеся микросканирования и цифровой обработки не превышают обычных, то перспектива их внедрения представляется реальной.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на научных семинарах Института Проблем Информации РАН, на секции N4 НТС ФГУГ НПО «Орион» (2006-2007), а также на Международной конференции по фундаментальным проблемам системной безопасности (Москва, 17 октября 2007г).

**Публикации.** Основное содержание диссертационной работы в двух статьях и тезисе доклада, указанных в конце автореферата.

Структура и объем работ. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, приложения и списка литературы. Работа изложена на 144 страницах, содержит 42 рисунков. Библиография включает 90 наименования.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована ее цель, определена научная новизна и практическая ценность работы, сформулированы основные положения

**В первой главе** обоснованы и изложены поколения тепловизионных систем и проблема снижения геометрических шумов у многоэлементных, фотоприемников, принципы получения тепловизионного изображения и классификация тепловизионных приборов, модельное представление тепловизоров.

**В второй главе** решается задача адаптивного выравнивания параметров линейки фотоприемников без микросканирования, с помощью статистических методов. Путём компьютерного эксперимента оцениваются возможности известных методов выравнивания, основанных на статистических свойствах изображений. Производится оценка "остаточной" неоднородности и предлагаются алгоритмы её фильтрации.

В модели приемного устройства использован видеосигнал вида:

Пусть формируемый фотодатчиком видеосигнал определяется зависимостью:

$$U_i(x) = S_i \cdot E_i(x) + C_i, \quad для \quad i = 1, 2, \dots, N;$$
 (1)

где:

 $U_i(x) = S_i \cdot E_i(x) + C_i, \quad \text{JIS } 1 - 1, 2, \dots, N; \qquad (0 - 2 - 1)$ 

 $S_i$  - чувствительность і-го фотодатчика ( $0 < S_i \le 1$ );  $C_i$  - аддитивная составляющая видеосигнала, обусловл

- аддитивная составляющая видеосигнала, обусловленная темновым током i-го фотодатчика (C<sub>i</sub> ≥ 0);
- $E_i(x)$  функция яркости оптического изображения, сканируемого по оси x і-м фотодатчиком ( $E_i(x) \ge 0$ );
- N число фотодатчиков линейке.

Вследствие разброса значений чувствительности  $S_i$  и значений темновой составляющей  $C_i$  фотоприемников, возникает несоответствие выходного

сигнала  $U_i(x)$  изображению  $E_i(x)$ . В данной работе ставилась задача разработки эффективных алгоритмов фильтрации указанной неоднородности.

В работе разработан адаптивный способ выравнивания по чувствительности и темновым составляющим сигнала.

Исходным предположением о свойствах обрабатываемого изображения является предположение о том, что соседние строки (отвечающие близким участкам местности) имеют сходную яркость. В качестве меры близости имеется ввиду среднеквадратическое отклонение соседних строк друг от друга.

Предлагается использовать простой алгоритм вычисления параметров  $\{S_i, C_i\}$ исходной линейки фотодатчика.

Алгоритм реализуется по следующий схеме:



1) 
$$D_i(U) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} (U_{i,j} - \overline{U}_i)^2, \quad i = 1, 2, ..., N,$$
 (2)

$$\overline{U}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N U_{i,j} \quad . \tag{3}$$

$$G_{i,i+1} = \sqrt{\frac{D_i(U)}{D_{i+1}(U)}} , \qquad (4)$$

$$Q_{i,i+1} = \overline{U}_i - \overline{U}_{i+1} \times G_{i,i+1} .$$
(5)

3) *1 этап*: вычисление коэффициентов чувствительности.

 $S_{N}^{'} = 1$ , остальные значения последовательно расчитываются:

$$S'_{i} = S'_{i+1} \times G_{i,i+1}, \quad i = N-1, N-2, \dots, 1;$$
 (6)

Затем производится нормировка массива S<sub>i</sub> чтобы выполнялось условие

$$0 < S_i \le 1$$

2)

2 этап: вычисление аддитивных составляющих.

*C*<sub>N</sub> - устанавливается произвольно, остальные параметры последовательно рассчитываются:

$$C'_{i} = Q_{i,i+1} + G_{i,i+1} \times C'_{i+1}, i = N - 1, N - 2, ..., 1;$$
 (7)

Затем производится нормировка массива С<sub>i</sub> по условию:

 $\min_{i} C_{i} = 0$ 

Параметры линейки  $\{(S_i, C_i)\}$  полученные с помощью описанного алгоритма выравнивания используются для получения коэффициентов  $\{K_i\}$  усиления и аддитивной поправки  $\{R_i\}$  для каждого из N-каналов.

$$K_i = \frac{1}{S_i} \quad ; \quad R_i = -C_i \tag{8}$$

Тогда получим следующие выражения для выравнивания значений видеосигнала:

$$U_{i,j} = K_i \cdot (U_{i,j} + R_i) , \quad i = 1, 2, \dots, N.$$
(9)

Проведена оценка эффективности методов выравнивания параметров линейки фотодатчика.

Геометрический шум проявляется в возникновении полос, повторяющих строчную структуру изображения. К подобным искажениям глаз человека очень чувствителен. Даже слабый, в 1÷2 градации яркости, протяженный контраст легко обнаруживается наблюдателем. Поэтому, представляется целесообразным судить о качестве читающей линейки по некоторой оценке геометрического шума, связанного с ее использованием.

В настоящей работе введена оценка качества (δ) линейки суммирующая среднюю величину контраста, между смежными строками, возникающего как от разброса по чувствительности, так и разброса по темновому току приемников линейки.

$$\delta = 256 \times \Delta S + \Delta C \tag{10}$$

где:

$$\Delta S = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |S_i - S_{i+1}|$$
(11)

$$\Delta C = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |C_i - C_{i+1}|; \quad i = 1, 2, \dots, N-1$$
(12)

По поводу оценки (10) можно дать следующий комментарий: Она использует особенности формирования кадра линейкой фотоприемников и может быть использована именно в этом случае. Кроме того, оценка основана на реализации некоторых свойств зрительной системы человека и, поэтому пригодна для оценки качества изображения при визуального наблюдении.

На основе полученных алгоритмов обработки разработан модель тепловизионного прибора.

Эксперименты выполнены на модели тепловизионного прибора, имеющего следующие технические характеристики:

- 1. Количество каналов фотоприемного устройства 256.
- 2. Формат изображения 512 × 512 пикселов.

N7 1

- 3. Способ формирования кадра комбинированный (2 последовательных сканирования соответственно нечетных и четных строк изображения).
- 4. Количество уровней квантования исходного изображения 256.

- 5. Модель линейки (L1) со случайным разбросом значений чувствительности (S) в диапазоне 0,5 ÷ 1,0 и случайной аддитивной добавкой от 0 до 180 уровней. Закон распределения случайных значений в обоих случаях-равномерный.
- 6. Количество уровней квантования значений видеосигнала с выхода линейки 512.

Проведено моделирование метода адаптивного выравнивания параметров фотолинейки без применения дополнительного микросканирования:

Это способ выравнивания использует корреляционные связи смежных строк изображения. Поскольку изображения-оригиналы при компьютерном моделировании доступны, то можно проверить, насколько выбранные изображения обладают указанным свойством. Для этого используем оценку неодинаковости смежных строк изображения с помощью переходных коэффициентов:

$$\tilde{G}_{i,i+1} = \sqrt{\frac{D_i[E]}{D_{i+1}[E]}}$$
(13)

Графики  $\tilde{G}_{i,i+1}$  приведены на рис.1 соответственно для каждого изображения. Видно, Что условие  $\tilde{G} \rightarrow 1$  выполняется почти для всех пар смежных строк за исключением тех, что прорисовывают границу неба на горизонте. В этом месте значения дисперсий смежных строк существенно различны. Несмотря на то, что отклонение от нормы носит локальный характер, оно не позволяет провести точное выравнивание из-за последовательной процедуры вычисления переходных коэффициентов (G). И это касается значительного числа фотоприемников.





Рис. 1. I,II,III - изображения (оригиналы) используемые при моделирования.

 $\bar{G}_{i,i+1}^{I}, \bar{G}_{i,i+1}^{II}, \bar{G}_{i,i+1}^{III}$  - графики переходных коэффициентов по формуле (13).

9



Рис. 2. Схема формирования корректированной линейки L<sup>(I)</sup> с использованием оригинала I.

При использовании для корректировки линейки оригиналов II или III получим  $\delta_1^{(II)}$  = 15,6 и  $\delta_1^{(III)}$  = 41,8 со ответственно.





В третьей главе исследуются возможности адаптивного выравнивания параметров фотоприёмной линейки методами, использующими микросканирование.

Адаптивное выравнивание с использованием микросканирования состоит в следующем:

Линейка фотоприемников расположена вдоль оси у. Она содержит р приемников с шагом Ду. При этом приемники имеют z-нумерацию.

При первом проходе линейка читает только нечетные строки изображения. Затем линейка сдвигается на величину  $\Delta y$  и считываются только четные строки.

Предложение состоит в том, чтобы к 2-м сканированиям добавить третье со сдвигом  $\Delta y$  относительно субкадра, полученного после 2-го сканирования.

Сигнал от (z+1)-го приемника линейки при 1-м сканировании сравнивается с сигналом от z-го приемника при 3-м сканировании:

$$\begin{cases} U_{z+1,j}^{(1)} = E_{2z+1,j} \cdot S_{z+1} + C_{z+1} \\ U_{z,j}^{(3)} = E_{2z+1,j} \cdot S_{z} + C_{z} \end{cases}$$
(14)

Видно, что одна и та же строка изображения  $E_{2z+1}$  читается при 1-м сканировании (z +1)-м приемником, а при 3-м сканировании *l*-м приемником. Это можно с успехом использовать для более точного определения переходных коэффициентов  $G_{z,z+1}$  при выравнивании.

$$G_{z,z+1} = \sqrt{\frac{D_z[U^{(3)}]}{D_{z+1}[U^{(1)}]}}$$
(15)

Вычисленные подобным образом (с дополнительным микросканированием) переходные коэффициенты (G) практически не зависят от статистических характеристик изображения, использованного для выравнивания. Действительно, в качестве эталона используется одна и та же строка и отпадает необходимость корреляционной связи между соседними строками, как это было при вычислении значений G согласно.

Моделирование метода адаптивного выравнивания параметров фотолинейки с использованием дополнительного микросканирования:

При моделировании метода адаптивного выравнивания, использующего дополнительное микросканирование, выравнивание проводилось по одному из изображений I,II,III причём во всех 3<sup>х</sup> случаях получалось одинаково высокое качество выравнивания.

В качестве примера на рис.4 приведены схема самой "плохой" коррекции линейки  $L_1$  по новому методу с участием изображения III и, прочитанные ею изображения I,II,III. При визуальном сравнении с оригиналами (рис.1) отмечается их полная идентичность.





б)

Рис. 4. а. Формирование скорректированной линейки L<sup>(III)</sup> с использованием микросканирования.

б. Примеры чтение оригиналов скорректированной линейкой  $L_{1M}^{(III)}$ .

На основе полученных алгоритмов была составлена программа на языке Visual C++ 6.0.

Система предназначена для проведения научных исследований в области цифровой обработки изображений и не требует от специалистов знания языков программирования. Система допускает изменение своей конфигурации в зависимости от решаемой задачи и позволяет осуществлять обработку изображений двух форматов: 512\*512 элементов дискретного растра (ЭДР) при числе уровней квантования сигнала яркости до 32767 (15 разрядное представление отсчетов яркости).

Система состоит из корневого сегмента, карманов для хранения изображений и набора подпрограмм, осуществляющих обработку изображений.

Корневой сегмент graph.exe представляет собой программный модуль, в задачу которого входит формирование соответствующей структуры Системы, организация экранный режима работы, выполнение набора основных функций обработки изображений. Входным параметром корневого сегмента является указание размера обрабатываемых изображений формата 512\*512.

Карманы представляют собой блоки (двухбайтовых слов) оперативной предназначенные хранения исходных изображений, памяти, для промежуточных данных и выходных результатов. Карманы имеют тип в зависимости от вида хранящихся данных: для обычного изображения, представленного неотрицательными целыми значениями яркости (0-32767) тип разностного изображения (например, полученного кармана img; для вычитанием двух обычных изображений) тип кармана dif. Для других данных пользователем. Количество кармана устанавливается карманов ТИП определяется наличием свободной оперативной памяти.

Специальные функции, например, F15, F22, F26, D3 и д.р. Функция F15: Операция свёртки изображения типа **img** или **dif** с матрицей (M), выберем от файла:  $U_{i,i}^{(B)} = M.U_{i,i}^{(A)}$ . Функция F15: Формирование линейки  $\{k_i, c_i\}$  (i = 1,256), потом сохранить в карман 35. Функция F22: Наложение на экранное изображение его гистограммы. Функция D3: Вычисление выравненных коэффициентов параметров фотоприёмных линеек ( $\{\tilde{k}_i, \tilde{c}_i\}$ , i = 1, 2, ..., 256) из линейки и фонового изображения с использованием микросканирования.

**В** четвертой главе проведен эксперимент на реальном приборе с линейкой фотоприемников. В приборе использовалось микросканирование. Формирование кадра производилось за 2 прохода линейки: сначала сканировались все (288) нечетных строк, затем все (288) четных. В результате был получен формат 576 × 768 пикселов. Также в приборе предусмотрено выравнивание геометрического шума путем эталонного облучения, замера значений сигнала и его корректировки.

Здесь нет моделирования преобразования оптического изображения в электрический сигнал, как это было в 1-й части работы все это делал реальный прибор. Производилась обработка цифрового массива, полученного с выхода прибора. Изначально не известно какую обработку вообще следует делать. Мы постарались найти ответ на этом вопрос, не вдаваясь в подробности технической реализации (например, обработки в реальном времени).

### Проведен 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.5 приведен пример контрастированого изображения.



Рис. 5. Исходное изображение (контрастировано  $\kappa = 4$ )

Визуальный осмотр позволил составить 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.
- С. Остаточный геометрический шум заметен на изображении в виде сдвоенных горизонтальных полос вследствие формирования пары строк изображения одним приемным каналом.
- D. В изображении имеется небольшая доля "плохих" строк. Это смежные строки с неисправным приемным каналом, а также строки с интенсивной аппаратной помехой.
- Е. Аппаратурные помехи (наводки) носят импульсный характер и заметны на изображении в виде одиночных (чёрных или белых) точек или локализованной последовательности таких точек, расположенных вдоль строки.При микросканировании каждый z-й приемник последовательно формирует 2 соседние строки изображения U<sub>2z</sub> и U<sub>2z+1</sub> (парные строки).

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

$$H(z) = \frac{1}{200} \sum_{j=1}^{767} (a(z, j) + b(z, j))$$
(16)  

$$cde: a(z, j) = |U(2z, j) - U(2z, j - 1)|$$
  

$$b(z, j) = |U(2z + 1, j) - U(2z + 1, j - 1)|$$
  

$$cde: z = 0, 1, ..., 287 \text{ номер приемного канала}$$
  

$$j = 0, 1, ..., 767 \text{ номер пиксела в строке.}$$

Если накопленное значение H(z) меньше заданного порога (q = 4) то парные строки считались "плохими".

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

$$\begin{aligned} a(z,j) > \delta &=> n = n + 1 \\ b(z,j) > \delta &=> m = m + 1 \end{aligned} \tag{17}$$

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

Если n или m > p<sub>1</sub>, 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<sub>2</sub> = 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. Из них 7 пар оказались "плохими" по причине неисправности приемных каналов, а 5 пар изза концентрации аппаратной помехи. Все 12 пар строк были удалены. На место каждой удаленней пары строк вставлялись "хорошие", но обязательно парные строки из ближайшего окружения.

#### Фильтрация остаточного геометрического шума

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

- А. Большую часть (площадь) изображения занимает ровный фон. Некоторая часть каждой строки изображения занята ровным фоном.
- В. Изображения объектов имеют, как правило, небольшой контраст с фоном. Допускается наличие нескольких объектов с сильным контрастом относительно фона.

Предложение состоят в том, чтобы использовать фон как эталонное облучение. Яркость этого облучения легко определяется по максимуму ординаты на гистограмме яркости всего изображения. Геометрический шум изза усреднения максимум не сдвигает (рис.6)



Рис. 6. Гистограмма яркости всего изображения

Трудность заключается в том, чтобы найти фоновые пиксели строки в условиях остаточного геометрического шума-ведь они в этом случае, как правило, отличаются по яркости от строки к строке и, кроме того, могут располагаться на различных участках вдоль строки. Однако, 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.

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

$$\overline{U}(z,j) = \frac{U(2z,j) + U(2z+1,j)}{2}$$

$$\partial_{\mathcal{I}\mathcal{R}}: \begin{cases} z = 0, 1, ..., 287 \\ j = 0, 1, ..., 767 \end{cases}$$
(18)

содержащее столько строк, сколько имеется приемных каналов.

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.

$$\Delta U(z) = \bar{U}_{\Phi} - \bar{U}_{\Phi}(z) \tag{19}$$

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

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

$$\partial_{\mathcal{I}\mathcal{R}}: \begin{cases} i = 0, 1, 2, ..., 575 \\ j = 0, 1, 2, ..., 767. \end{cases}$$
(20)

Можно сказать, что адаптивное выравнивание по фону, в данном классе ИК-изображений фильтрует остаточный геометрический шум достаточно эффективно.

#### Фильтрация аппаратурных помех.

Предварительный визуальный анализ с использованием средств упомянутых в начале статьи, позволил выделить следующие особенности аппаратурных 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 "а" на рис. ).
- 2. В серии могут быть импульсы одной полярности ("а" на рис.7) либо 2<sup>×</sup> полярностей ("b" на рис. 7).
- 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 ("с" на рис.7).
- 4. Четные и нечетные строки изображения считываются в различное время. Это свойство изображений, полученных ФПУ с микросканированием. Поэтому корреляционная связь в отношении аппаратурных помех соседних строк-практически отсутствует.



Рис. 7. Аппаратурные шумы на диаграммах яркости 4<sup> х</sup> строк выбранного фрагмента изображения.

а, b - серии импульсов аппаратурной помехи.

с - яркостной контраст, принадлежащий объекту.

Крутизна фронтов аппаратурной 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.

Далее используется свойство (n.4) 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.

Выделенные фильтрами значения яркости, принадлежащие аппаратурной помехе, заменяются соответствующими (т.е имеющими ту же координату вдоль строки) значениями яркости, взятыми из той соседней строки, которая составляет с данной пару.

Эффективность фильтрации аппаратурной помехи с помощью разработанных алгоритмов иллюстрируется сравнением рис.7 (до фильтрации) и рис.8 (после фильтрации) для одного и того же фрагмента изображения. Аппаратурная помеха практически подавлена и в тоже время сравнимый с амплитудой помехи контраст, отмеченный индексом "с" на рис.8, относящий к объекту полностью сохранен.



Рис. 8. Диаграммы яркостей 4<sup>*x*</sup> строк выбранного фрагмента изображения после фильтрации аппаратурных помех. с – яркостной контраст, принадлежащий объекту.

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 1÷2 градации яркости, протяженный контраст легко обнаруживается наблюдателем. В первой части работы уже предлагалась объективная оценка качества выравнивания. При моделировании параметры исходной линейки фотоприемников были известны. В данном случае параметры линейки, вмонтированной в прибор неизвестны.

Предлагается использовать известные корректирующие добавки яркости  $\Delta U(z).$ 

$$\begin{aligned} |\Delta U(z)| 
$$\tag{21}$$$$

Оценку ( $\theta$ ) остаточного геометрического шума в изображении до коррекции определим как:

$$\theta = \frac{1}{n} \sum_{z=1}^{N} \left| \Delta \tilde{U}(z) \right| \tag{22}$$

где: n – число случаев превышения порога р.

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



Рис. 9. Выходное изображение после замены "плохих" строк на "хорошие", фильтрации геометрического шума и аппаратурных помех (контрастировано к = 4).

Выходное изображение после всех видов фильтрации представлено на рис.9. Сравнение рис.9 с рис.5 дает визуальное представление от эффективности предложенных методов фильтрации помех, характерных для исследуемого класса ИК-изображений.

Оценка остаточного геометрического шума в исходном изображении после замены "плохих" строк на "хорошие" дает значение  $\theta_{14} = 8,54$ . После коррекции оценка остаточного геометрического шума в изображении (рис.9) дает значение  $\theta_{26} = 0$ . Это значит, что геометрический шум стал ниже порога зрительного обнаружения.

#### Основные выводы и результаты работы

1. Установлено, что адаптивное выравнивание избавляет от необходимости встраивать в прибор эталонный источник равномерного облучения фотоприемников, что обычно встречает затруднение, особенно в приборах ИКдиапазона.

2. Известные методы адаптивного выравнивания параметров фотоприемной линейки требуют для составления "эталона" значительного количества

разносюжетных изображений. Предложенный метод адаптивного выравнивания с микросканированием использует в качестве эталона единственное изображение реальной сцены.

3. Предложенная оценка неоднородности параметров фотоприемной линейки, согласованная со свойствами зрения человека, более близка к визуальной оценке качества считанного линейкой изображения, чем, например, оценка разброса параметров по стандартному отклонению их значений.

**4.** 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.

**5.** Предложен метод фильтрации аппаратурных помех реального ФПУ использующий особенности формирования растра разверткой с микросканированием.

6. 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.

**7.** Путем компьютерного эксперимента с использованием реальных ИК-изображений и субъективной оценки показана высокая эффективность предложенных методов.

# Основное содержание диссертационной работы опубликовано в работах

1. Лебедев Д.Г., Лыонг К.Т. Моделирование адаптивного выравнивания параметров линейки фотоприемников с использованием микросканирования". Информационные процессы, 2007, том 7, № 2, стр. 124.

2. Лебедев Д.Г., Льюнг К.Т. Фильтрация остаточного геометрического и аппаратурного шумов сканирующей матрицы ИК-диапазоне с микросканированием. Информационные процессы, 2007, том 7, № 3, стр. 369.

3. Лыонг К.Т., Нгуен К.Т., Лебедев Д.Г. Методы эффективного управления обработкой видеосигнала в опто-электронных устройствах направленные на устранение геометрического шума // Тез. докл. Международной конференции по фундаментальным проблемам системной безопасности. - М.,2007г.