

На правах рукописи

САБЛИНА Виктория Александровна

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
АЛГОРИТМОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ
МЕТОДАМИ СЕКВЕНТНОГО АНАЛИЗА**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации (технические системы)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2009

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Рязанский государственный
радиотехнический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Злобин Владимир Константинович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Ларкин Евгений Васильевич

кандидат технических наук
Москвитин Алексей Эдуардович

Ведущая организация: **ОАО «РОССИЙСКИЕ КОСМИЧЕ-
СКИЕ СИСТЕМЫ», г. Москва**

Защита диссертации состоится 23 декабря 2009 года в 12 часов
на заседании диссертационного совета Д 212.211.01 в ГОУ ВПО
«Рязанский государственный радиотехнический университет» по адре-
су: **390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО
«Рязанский государственный радиотехнический университет».

Автореферат разослан __ ноября 2009 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент

Пржегорлинский В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. К началу двадцать первого века резко возросла потребность в средствах обработки цифровых аэрокосмических изображений (АКИ). Стремительный рост объемов памяти современных вычислительных устройств, используемых для хранения информации, привел к возможности накопления в цифровом виде огромного количества изображений земной поверхности, полученных со спутников или атмосферных летательных аппаратов. В настоящее время изображения находят применение во многих отраслях человеческой деятельности: в сельском хозяйстве, геологических и гидрологических исследованиях, лесоводстве, охране окружающей среды, планировке территорий, в образовательных, разведывательных и военных целях. При этом одни виды съемки часто дополняются другими, позволяющими получить качественно новые изображения, имеющие свои особенности. На спутниках, атмосферных летательных аппаратах или наземных наблюдательных станциях устанавливаются различные по принципу действия видеодатчики, осуществляющие наблюдение в видимой, инфракрасной и радиолокационной областях спектра.

Как правило, цифровые изображения непосредственно после съемки оказываются непригодными для использования по назначению в соответствующей отрасли, поскольку во время их регистрации или передачи могут возникать разнообразные искажения, существенно влияющие на качество снимков. В частности, на изображениях, полученных при помощи бортового тепловизионного видеодатчика, наиболее характерными являются искажения, обусловленные работой других электронных средств бортового комплекса, например, устройств электропитания, бортовой РЛС и системы связи. В результате на формируемую матрицу изображения накладываются периодические или случайные помехи, передающиеся по эфиру или по цепям питания. В связи с этим остро стоит проблема восстановления изображений, заключающаяся в необходимости приблизить обрабатываемое изображение к идеальному неискаженному. При этом наибольшую сложность представляет задача подавления несинхронных помех, которые могут проявляться в виде периодических наклонных полос. Сложность решения такой задачи требует поиска наиболее эффективных методов ее решения.

Существующие методы восстановления изображений разделяются на пространственные и спектральные. Последние считаются более удобными для проведения исследований и анализа свойств изображений, подходят для случаев периодических искажений.

Спектральный подход, в традиционном понимании, предполагает использование спектра Фурье для восстановления изображений и, соответственно, методов, унаследованных из классического гармонического анализа. Это связано с тем фактом, что еще в середине двадцатого века обработка изображений была по большей части аналоговой и выполнялась оптическими устройствами. Однако следует иметь в виду, что в современных системах обрабатываемые изображения представляются исключительно в цифровой форме.

Актуальность настоящей работы обусловлена необходимостью поиска спектральных методов цифровой обработки изображений, альтернативных методам классического гармонического анализа и ориентированных на применение в цифровых вычислительных устройствах. Исследование подобных методов закладывает основу для разработки эффективных алгоритмов обработки видеoinформации.

Степень разработанности темы. Проблеме восстановления изображений в последнее время уделяется пристальное внимание как одной из ключевых проблем цифровой обработки изображений. Особое практическое значение эта проблема приобрела в связи с бурным развитием средств получения АКИ. Существенный вклад в развитие методов цифровой обработки изображений внесли Э. Прэтт, Р. Гонзалес, Ярославский Л.П., Сойфер В.А., Злобин В.К., Еремев В.В.

В настоящее время известно достаточно большое количество методов восстановления изображений. Для решения задач восстановления АКИ часто используются методы непосредственной обработки в пространственной области. Вместе с тем в научной литературе показано, что косвенные методы восстановления изображений в спектральной области с применением двумерных унитарных преобразований будут эффективнее, чем непосредственная обработка, если существуют быстрые алгоритмы унитарного преобразования, а ядро пространственного восстанавливающего оператора содержит большое количество ненулевых элементов. Таким образом, открываются возможности для усовершенствования и повышения эффективности имеющихся решений.

Унитарные преобразования представляют собой обратимые линейные ортогональные преобразования. В научной литературе имеются описания унитарных преобразований, основанных на различных ортогональных системах базисных функций. Не подлежит сомнению перспективность развития исследований применений аппарата унитарных преобразований в целях решения задач восстановления изображений. Теоретическая база для проведения исследований заложена

в трудах таких отечественных и зарубежных ученых как Голубов Б.И., Залманзон Л.А., Трахтман А.М., Х. Хармут, Дж.Л. Уолш, Н. Ахмед, Р. Брэйсуэлл.

Особый интерес с точки зрения эффективности вычислений представляют унитарные преобразования, основанные на нетригонометрических ортогональных системах базисных функций, которые практически не используются в современных алгоритмах восстановления изображений. Существующие алгоритмы восстановления в спектральной области ограничиваются, как правило, применением методов классического гармонического анализа.

Настоящая диссертационная работа направлена на решение задач восстановления изображений методами секвентного анализа, использующего нетригонометрические базисные функции.

Цель работы состоит в разработке алгоритмов, построенных на основе секвентного анализа, позволяющих за счет выигрыша в объеме вычислений повысить эффективность процессов восстановления изображений при реализации их на базе современных вычислительных машин.

Для достижения поставленной цели решаются следующие **основные задачи**:

- формирование и анализ секвентных спектров неискаженных и искаженных изображений;
- разработка восстанавливающих операторов и процедур, применяемых к искаженным изображениям, и на их основе алгоритмов восстановления изображений методами секвентного анализа;
- оценка качества разработанных алгоритмов восстановления;
- проектирование программной системы, реализующей разработанные алгоритмы.

Научная новизна работы определяется разработкой моделей описания типовых воздействий, искажающих изображения в процессе их формирования и передачи по каналам связи, и созданием на основе этих моделей эффективных алгоритмов восстановления изображений с учетом особенностей их секвентных спектров.

На защиту выносятся следующие новые научные результаты:

- формальные модели описания характерных типов искажений, позволяющие исследовать особенности их секвентных спектров;
- секвентные алгоритмы восстановления АКИ, искаженных типовыми помехами.

Практическая ценность работы состоит в том, что предложенные алгоритмы позволяют существенно повысить эффективность организации вычислительных процессов восстановления искаженных

изображений. Эти алгоритмы доведены до практической реализации в виде программной системы, которая может быть включена в состав системы обработки цифровых АКИ.

Реализация и внедрение. Диссертация выполнена в Рязанском государственном радиотехническом университете в рамках ОКР 15-06 и НИР 7-08 Г.

Результаты диссертационной работы внедрены в Научно-конструкторском центре видеокомпьютерных технологий (НКЦ ВКТ) ФГУП «Государственный рязанский приборный завод» в виде алгоритмов, позволяющих скорректировать недостатки некоторых датчиков видеоинформации.

Реализованные в процессе работы над диссертацией программные модули вычисления быстрого преобразования Уолша и расчета статистических характеристик секвентных спектров изображений и искажающих их факторов внедрены в учебном процессе кафедры электронных вычислительных машин Рязанского государственного радиотехнического университета и используются студентами направления 010500 «Прикладная математика и информатика» в курсе «Системный анализ», направления 230100 «Информатика и вычислительная техника» в курсе «Теория вероятностей, математическая статистика и случайные процессы» и направления 090000 «Информационная безопасность» в курсе «Теория информации».

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на 15-й международной научно-технической конференции «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань, 2008); 12-й всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании» (Рязань, 2007) и всероссийской научно-технической конференции «Интеллектуальные и информационные системы» (Тула, 2007).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 статей (4 статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ) и 3 тезиса доклада на международной и всероссийских конференциях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы и приложения, которое содержит документы о внедрении и практическом использовании полученных результатов. Основной текст работы содержит 152 с., 68 рисунков, 9 таблиц. Список литературы включает 99 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе выполнен системный анализ проблемы восстановления изображений и исследованы существующие методы и алгоритмы. Выделены преимущества восстановления изображений в спектральной области с использованием секвентного анализа. Обоснована перспективность применения методов секвентного анализа.

В диссертационной работе используется представление цифрового изображения $f(x,y)$ в виде матрицы из M строк и N столбцов, которую можно рассматривать как двумерную дискретную функцию. Под восстановлением изображений понимается построение некоторого приближения $\hat{f}(x,y)$ неискаженного изображения $f(x,y)$ по заданному искаженному изображению $g(x,y)$ и априорной информации о явлении, вызвавшем искажение изображения.

Несмотря на наличие многочисленных публикаций по восстановлению изображений актуальным остается поиск возможностей для усовершенствования и повышения эффективности имеющихся решений, ввиду обширности и многогранности рассматриваемой проблемы.

Наиболее характерные для рассматриваемого в работе тепловизионного видеодатчика типы возникающих яркостных искажений можно условно разделить на три группы: несинхронные помехи в виде периодической «полосатости» со случайным углом наклона, групповые помехи, представляющие собой случайные искажения яркости небольшой последовательности пикселей строки, и синхронные помехи в виде горизонтальной (вертикальной) «полосатости» вдоль строк (столбцов) изображения.

В настоящее время для решения задач восстановления в основном используются пространственные методы, к которым относят линейную свертку изображения с маской, а также нелинейные восстанавливающие операторы. Однако простые пространственные методы не обеспечивают приемлемого качества восстановления, а платой за их усовершенствование является увеличение сложности реализации. Существуют варианты выполнения аналогичных операций в пространственной и в спектральной области, различающиеся объемом необходимых вычислений. Обосновано, что в случаях, когда требуемое подавление искажений сопряжено с использованием массивов большого размера, целесообразно выполнять свертку косвенным образом в спектральной области, так как обычно это дает выигрыш в объеме вычислений. Кроме того, спектральные методы считаются более удобными для проведения исследований и анализа свойств изображений, особен-

но при наличии периодических искажений. В научной литературе для линейного случая приводится следующее условие большей эффективности восстановления в спектральной области, чем в пространственной:

$$k_g < k_d - \frac{4 \log_2 N}{N^2}, \quad (1)$$

где k_g и k_d – коэффициенты заполнения ненулевыми элементами ядра линейного восстанавливающего оператора соответственно в частотной и пространственной областях; $0 \leq k_g \leq 1$; $0 \leq k_d \leq 1$.

В результате проведенного анализа для целей настоящего исследования выбраны спектральные методы восстановления.

Поскольку цифровое изображение представляется двумерной дискретной функцией, к нему может быть применен математический аппарат унитарных преобразований, которые являются частным случаем линейных преобразований, когда линейный оператор точно обратим, а его ядро удовлетворяет условиям ортогональности. Описаны унитарные преобразования, основанные на различных ортогональных системах базисных функций, но существующие алгоритмы восстановления изображений ограничиваются, как правило, использованием преобразования Фурье, унаследованным из классического гармонического анализа. Более перспективным с точки зрения эффективности реализации в цифровых вычислительных устройствах представляется восстановление при помощи унитарного преобразования Уолша, что обусловлено необходимостью выполнения только операций сложения и вычитания, в то время как преобразование Фурье требует выполнения множества операций умножения. Вычислительная сложность двумерного быстрого преобразования Уолша (БПУ) составляет всего лишь $2N^2 \log_2 N$ операций сложения и вычитания.

Система функций Уолша является типичным примером нетригонометрической системы ортогональных базисных функций, на использовании которых основаны методы секвентного анализа. Пара двумерных дискретных преобразований Уолша имеет следующий вид:

$$F(u,v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) wal_{(u,v)} \left(\frac{x}{M}, \frac{y}{N} \right);$$

$$f(x,y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u,v) wal_{(u,v)} \left(\frac{x}{M}, \frac{y}{N} \right). \quad (2)$$

Несмотря на описанные преимущества, преобразование Уолша пока находит применение в основном в области передачи информации ортогональными функциями. Обзор информационных источников указывает на практическое отсутствие конкретных исследований по вопросам использования выбранных методов секвентного анализа для решения рассматриваемой задачи восстановления изображений, что говорит о потребности в проведении подобных исследований.

Во втором разделе представлено формальное описание характерных типов яркостных искажений и проанализированы их секвентные спектры. Также рассмотрены проблемы оценки качества восстановленных изображений и особенности секвентного анализа изображений в сравнении с гармоническим.

Необходимым этапом построения алгоритмов восстановления изображений является моделирование рассматриваемых типов искажений и анализ их свойств. Особенности возникающих помех зависят от условий формирования изображений датчиком. Как правило, можно считать, что значения шумовой составляющей не зависят от значений элементов самого изображения. Среди широкого диапазона искажений, встречающихся на практике, для исследования выбраны наиболее характерные типы помех согласно классификации первого раздела.

Формальное описание модели несинхронных помех в виде наклонных полос можно представить следующим образом:

$$\eta(x,y) = \begin{cases} \mu + A, & (2I - 2)S \leq x \sin \alpha + y \cos \alpha < (2I - 1)S, \\ \mu - A, & (2I - 1)S \leq x \sin \alpha + y \cos \alpha < 2IS, \end{cases} \quad (3)$$

где S – поперечная ширина полосы, A – амплитуда помех, α – угол наклона полос, μ – яркость фона, I – натуральное число.

Изменяя различные параметры, можно получать различные варианты описанных помех. Пример моделирования таких периодических несинхронных помех и их двумерный секвентный спектр представлены на рисунке 1, а,б.

Несинхронные помехи наиболее сложны для анализа среди рассматриваемых типов помех.

Групповые помехи искажают целые строки или части строк изображения. Множество искаженных с вероятностью P_M строк изображения можно описать формулой

$$U_M = \left\{ (x, y) \mid p(x = x_i) = p_M, \quad i = \overline{0, M-1} \right\}. \quad (4)$$

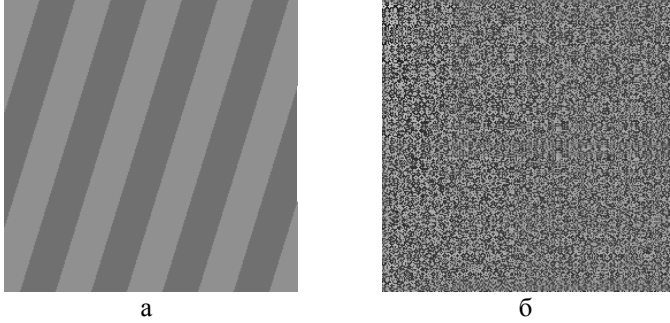


Рисунок 1 – Несинхронные помехи:

а – модель помех; б – двумерный секвентный спектр помех

При искажении P_l -й части строки случайный начальный пиксель сбойной части имеет функцию вероятности

$$p_{X_0}(x_0) = \begin{cases} \frac{1}{\lfloor (1-p_l)N \rfloor + 1}, & x_0 \in X_0, \\ 0, & x_0 \notin X_0, \end{cases} \quad (5)$$

где $\lfloor \cdot \rfloor$ – наибольшее меньшее или равное целое; $X_0 = \{0, 1, \dots, \lfloor (1-p_l)N \rfloor\}$.

Множество пикселей, искаженных такой групповой помехой,

$$U_N = U_M \cap \left\{ (x, y) \mid x_0 \leq x \leq x_0 + \lfloor p_l N \rfloor - 1 \right\}. \quad (6)$$

Значения яркости пикселей из этого множества изменяются помехами, в простейшем случае, представленном на рисунке 2, а, становятся равными нулю. На рисунке 2, б представлен двумерный секвентный спектр групповых помех.

Смоделированы также разновидности синхронных помех, проявляющихся в виде горизонтальной или вертикальной «полосатости». Можно рассмотреть вариант, когда аддитивные помехи $\eta(x, y)$ носят случайный характер, но одинаковым образом искажают каждую строку изображения: $\forall 0 \leq x \leq M-1 : \eta(x, y) = \eta(0, y) = \eta_y$. Для моделирования случайной величины η_y можно воспользоваться различными законами распределения. Пример моделирования таких помех для слу-

чая нормального закона и соответствующий одномерный секвентный спектр в логарифмическом масштабе представлены на рисунке 3, а,б.

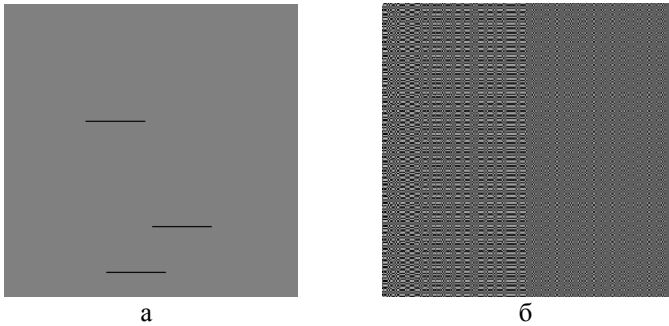


Рисунок 2 – Групповые помехи:

а – модель помех; б – двумерный секвентный спектр помех

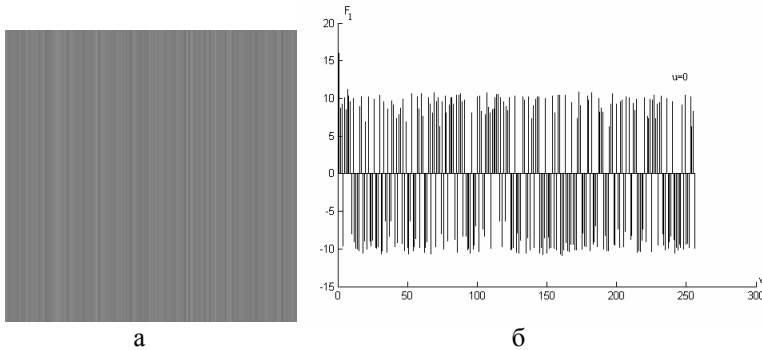


Рисунок 3 – Случайные синхронные помехи:

а – модель помех; б – одномерный секвентный спектр помех

Двумерный секвентный спектр в данном случае не представляет интереса, поскольку все его составляющие, кроме первой строки, равны нулю, так как значения помех постоянны вдоль вертикали.

Другим вариантом синхронных помех можно считать периодические вертикальные полосы, которые можно формально описать следующим образом:

$$\eta(x,y) = \begin{cases} \mu + A, & (2I - 2)S \leq y < (2I - 1)S, \\ \mu - A, & (2I - 1)S \leq y < 2IS. \end{cases} \quad (7)$$

Полученные в этом разделе результаты использовались для построения в секвентной области восстанавливающих операторов, кото-

рые позволили предложить алгоритмы восстановления изображений с исследованными типами искажений. Для оценки качества восстановленных изображений выбраны такие метрики оценки качества, как среднеквадратическая ошибка (СКО), пиковое отношение сигнал/шум (ПОСШ) и универсальный индекс качества (УИК).

Также в разделе исследованы особенности гармонического и секвентного анализа на примере сравнения эффектов, возникающих при ограничении спектров; выявлены преимущества секвентного анализа.

***В третьем разделе** приводятся описания предлагаемых секвентных алгоритмов восстановления изображений с характерными искажениями, рассмотренными во втором разделе.*

Предложены следующие алгоритмы восстановлений:

- для изображений, искаженных синхронными помехами;
- для изображений, искаженных групповыми помехами;
- для изображений, искаженных несинхронными помехами.

Алгоритм восстановления изображений, искаженных синхронными помехами, основан на их подавлении в секвентном спектре. Для случая вертикальных помех секвентный спектр восстановленного изображения формируется следующим образом:

$$\hat{F}(u, v) = G(u, v) \hat{H}(u, v); \quad \hat{H}(u, v) = \begin{cases} 1/k(v) & \text{при } u = 0 \text{ и } v \neq 0, \\ 1 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (8)$$

где $k(v)$ – функция адаптации.

В общем случае функция $k(v)$ может быть подобрана эмпирически, причем для сохранения средней яркости следует брать $k(0) = 1$. В простейшем случае $k(v)$ для $v \neq 0$ постоянна – это параметр, регулирующий степень подавления. Предложен усовершенствованный вариант алгоритма, когда значение этого параметра подбирается в зависимости от значения метрики оценки качества восстановления. Для восстановленных изображений значение СКО лежит в пределах 1,5÷2% при амплитуде помех от 10 до 30 градаций яркости. На рисунке 4, а,б представлен результат работы предложенного алгоритма на примере подавления смоделированных синхронных помех.

Алгоритм восстановления изображений, искаженных групповыми помехами, выполняется в несколько этапов. В алгоритме используется битовая маска, соответствующая размеру изображения, описывающая область локализации групповой помехи

$$R(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{при } (x, y) \in U_N, \\ 0 & \text{при } (x, y) \notin U_N, \end{cases} \quad (9)$$

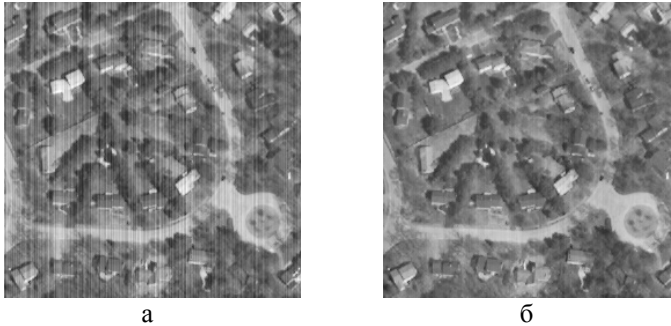


Рисунок 4 – Восстановление изображения с синхронными помехами:
а – искаженное изображение; б – восстановленное изображение

Сначала при помощи методов секвентного анализа осуществляется локализации местонахождения групповых помех. В результате строится оценка битовой маски $\hat{R}(x, y)$, описывающая помехи, по которой производится окончательная процедура восстановления. Результат восстановления представлен на рисунке 5, а,б (УИК = 0,9998).

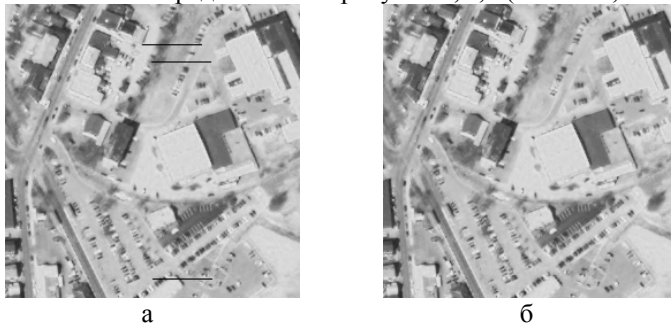


Рисунок 5 – Восстановление изображения с групповыми помехами:
а – искаженное изображение; б – восстановленное изображение

Алгоритм восстановления изображений, искаженных несинхронными помехами, также выполняется в несколько этапов. Для выделения составляющих помех в секвентной области используются пороговые значения, представленные на рисунке 6, а, полученные из усредненного амплитудного секвентного спектра типичных неискажен-

ных изображений рассматриваемого вида. После сравнения секвентного спектра искаженного изображения с указанными пороговыми значениями формируется битовая маска, описывающая составляющие, предположительно отнесенные к помехам. Эти составляющие сравниваются с образцами секвентных спектров несинхронных помех, как показано на рисунке 6, б. Таким образом, окончательно определяются параметры помех, что позволяет сформировать восстановленное изображение в секвентной области

$$\hat{F}(u, v) = G(u, v) - N_{opt}(u, v). \quad (10)$$

Пример результата работы предложенного алгоритма восстановления изображения с несинхронными помехами приводится на рисунке 7 (УИК = 0,9936).

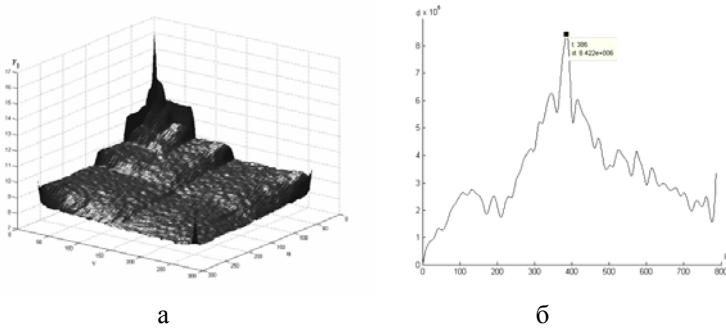


Рисунок 6 – Определение параметров помех:

- а – пороговые значения секвентных спектральных составляющих;
б – метрика степени соответствия имеющихся помех образцам

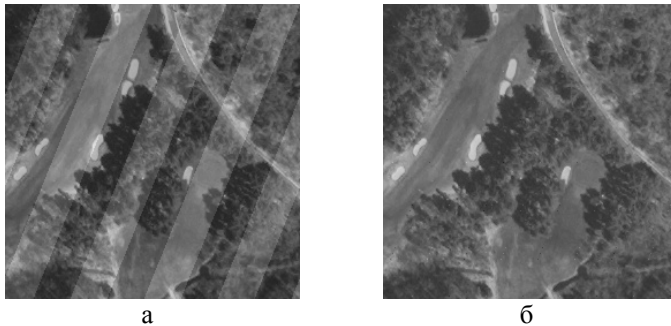


Рисунок 7 – Восстановление изображения с несинхронными помехами:

- а – искаженное изображение; б – восстановленное изображение

Четвертый раздел посвящен оценке эффективности предлагаемых алгоритмов, описанию их программной реализации и практического применения.

Выигрыш в объеме вычислений, получающийся при переходе от быстрого преобразования Фурье (БПФ) к БПУ, можно количественно оценить следующим соотношением:

$$\xi = 1 + 2k_2 (t_{\text{умн}} + t_{\text{сл}}) / t_{\text{сл}} \quad (11)$$

Графики зависимости этого выигрыша от размера преобразуемой последовательности для процессоров различного типа представлены на рисунке 8.

Экспериментальный выигрыш в объеме вычислений БПУ с помощью разработанного на С++ программного модуля по сравнению со встроенной функцией БПФ среды MATLAB 7.7 достигает в среднем 3,2 раза на компьютере с $t_{\text{умн}} = t_{\text{сл}}$.

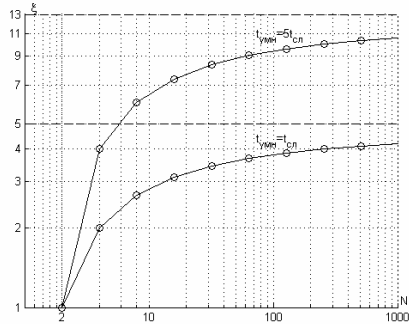
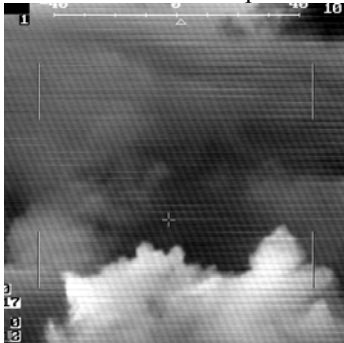
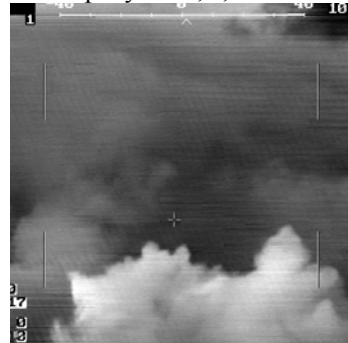


Рисунок 8 – Выигрыш в объеме вычислений при переходе от БПФ к БПУ

Пример практического восстановления реального искаженного тепловизионного изображения представлен на рисунке 9, а,б.



а



б

Рисунок 9 – Восстановление изображения с несинхронными помехами: а – искаженное изображение; б – восстановленное изображение

Предлагаемые алгоритмы реализованы в составе программного комплекса, который использован на практике для восстановления изображений, полученных при помощи тепловизионного видеодатчика.

Для обеспечения адекватности моделей помех имеющимся на реальном изображении конкретным типам помех потребовалось внести уточнения в описания соответствующих моделей, представленных во втором разделе диссертационной работы, что в свою очередь привело к необходимости уточнения предлагаемых алгоритмов восстановления изображений согласно уточненным моделям помех. Полученные модифицированные алгоритмы применялись для практического восстановления искаженных изображений.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Основные результаты диссертационного исследования состоят в следующем.

1. Выполнен системный анализ проблемы восстановления изображений. Исследованы существующие методы и алгоритмы восстановления. Выделены преимущества методов восстановления в частотной области перед пространственными, обосновано новое направление повышения эффективности восстановления изображений за счет использования методов секвентного анализа. Показана необходимость развития исследований с целью разработки алгоритмов восстановления изображений указанными методами.

2. Построены формальные пространственные модели, описывающие характерные для тепловизионного датчика типы искажений:

- синхронные помехи с различными интенсивностью и вероятностным распределением;
- случайные групповые помехи с различными вероятностью появления строки с помехой и длиной части строки, затронутой помехой;
- аддитивные периодические синхронные помехи в виде вертикальных полос с различными шириной и амплитудой;
- аддитивные периодические несинхронные помехи в виде наклонных полос с различными шириной, углом наклона и амплитудой.

3. Получены секвентные спектры для анализа рассмотренных типов искажений. Показано, что анализ двумерных секвентных спектров для случаев синхронных помех и сбойных строк можно свести к анализу одномерного случая. Определены направления разработки алгоритмов восстановления изображений на основе анализа секвентных спектров.

4. Предложены секвентные алгоритмы восстановления изображений с типовыми искажениями:

- алгоритм восстановления изображений, искаженных синхронными помехами (разработан восстанавливающий оператор, применяемый к секвентному спектру искаженного изображения, представлена методика подбора оптимального коэффициента адаптации разработанного оператора с учетом оценки качества работы алгоритма);

- алгоритм восстановления изображений, искаженных групповыми помехами, основанный на локализации местонахождения помехи методом секвентного анализа;

- алгоритм восстановления изображений с периодическими несинхронными помехами (выявлены особенности типичных секвентных спектров неискаженных изображений, используемые для выделения шумовой составляющей секвентных спектров искаженных изображений).

5. Исследованы существующие подходы к проблеме оценки качества восстановленных изображений. Выполнена количественная оценка качества работы предлагаемых алгоритмов восстановления с помощью наиболее широко используемых в настоящее время объективных метрик СКО и ПОСШ, а также с помощью метрики УИК, обеспечивающей получение более близких к субъективному восприятию значений.

6. Исследована зависимость выигрыша в объеме вычислений при переходе от БПФ к БПУ от размера матрицы преобразования и типа процессора. Показано, что использование БПУ позволяет теоретически сократить временные затраты в пределе до пяти раз при реализации на CISC-процессорах и в несколько раз больше при реализации на RISC-процессорах.

7. На базе предлагаемых алгоритмов создан программный комплекс восстановления изображений методами секвентного анализа, в основе эффективности функционирования которого лежит быстроедействие выполнения программного модуля реализации алгоритма БПУ. Проведена оптимизация указанного модуля.

8. Экспериментально установлено, что разработанный программный модуль реализации БПУ на текущем этапе оптимизации при выполнении на вычислительной машине с CISC-процессором позволяет получить выигрыш в быстроедействии до 3,2 раза по сравнению с профессиональной реализацией БПФ. Получены оценки временных затрат и обоснована высокая эффективность функционирования предлагаемых алгоритмов восстановления изображений методами секвент-

ного анализа при реализации на базе современных вычислительных устройств.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Костров Б.В., Саблина В.А. Особенности формулировки теоремы о свертке для некоторых ортогональных систем базисных функций // Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании. Тез. докл. 12-й всеросс. науч.-техн. конф. – Рязань: Рязан. госуд. радиотехн. универ., 2007. – С. 82-84.

2. Костров Б.В., Саблина В.А., Пашенцев Д.Ю. К вопросу выбора способа упорядочивания функций Уолша при использовании его в целях обработки изображений // Интеллектуальные и информационные системы. Тез. докл. всеросс. науч.-техн. конф. – Тула: Тул. госуд. универ., 2007. – С. 71-73.

3. Саблина В.А., Сухов В.Е. Каталог подполугрупп симметрической полугруппы третьей степени // Деп. в ВИНТИ № 20. – Рязань: Рязан. го-суд. радиотехн. универ., 2008. – 22 с.

4. Костров Б.В., Саблина В.А. О возможностях использования преобразования Уолша для спектрального анализа изображений // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций. Тез. докл. 15-й междунар. науч.-техн. конф. – Рязань: Рязан. госуд. радиотехн. универ., 2008. – С. 129-132.

5. Саблина В.А. О порядках замкнутых классов в трехзначной логике, I // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета № 2 (Вып. 24). – Рязань, 2008. – С. 121-124.

6. Костров Б.В., Саблина В.А. Исследование перспектив применения нетригонометрических ортогональных систем базисных функций в области восстановления изображений // Информатика и математика. Межвуз. сб. науч. тр. – Рязань: Рязан. госуд. универ., 2008. – С. 73-82.

7. Саблина В.А. О порядках замкнутых классов в трехзначной логи-ке, II // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета № 4 (Вып. 26). – Рязань, 2008. – С. 84-87.

8. Костров Б.В., Саблина В.А. Адаптивная фильтрация изображений со структурными искажениями // Цифровая обработка сигналов № 4. – 2008. – С. 49-53.

9. Злобин В.К., Костров Б.В., Саблина В.А. Алгоритм секвентной фильтрации групповых помех на изображении // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета №4 (Вып. 30). – 2009. – С. 3-7.

10. Костров Б.В., Саблина В.А. Применение критериев оценки качества восстановленных изображений // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем. Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. А.Н. Пылькина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – С. 140-145.

11. Саблина В.А. Оценка выигрыша в объеме вычислений при переходе от быстрого преобразования Фурье к быстрому преобразованию Уолша // Информатика и математика. Межвуз. сб. науч. тр. – Рязань: Рязан. госуд. универ., 2009. – С. 106-114.

12. Злобин В.К., Колесенков А.Н., Костров Б.В., Саблина В.А. Сравнение особенностей гармонического и секвентного анализа на примере эффектов ограничения спектров // Информатика и математика. Межвуз. сб. науч. тр. – Рязань: Рязан. госуд. универ., 2009. – С. 67-74.

Саблина Виктория Александровна

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
АЛГОРИТМОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ
МЕТОДАМИ СЕКВЕНТНОГО АНАЛИЗА**

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать