

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 004.932

АЛЬ-ФУРАЙДЖИ
Одай Джасим Мохаммед

**СЕКТОРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЕПЕРОВ В ЭФФЕКТИВНОМ
КОДИРОВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.12.13 -- Системы, сети
и устройства телекоммуникаций

Минск 2012

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель **Конопелько Валерий Константинович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сетей и устройств телекоммуникаций учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: **Чердынцев Валерий Аркадьевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры радиотехнических систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Шалапин Сергей Валентинович, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник ОАО «Алевкурп»

Оппонирующая организация Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко» Белорусского государственного университета

Защита состоится 6 декабря 2012 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.02 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, e-mail: dissovet@bsuir.by

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Эффективное кодирование широко применяется в телекоммуникациях для сжатия информации, в том числе видеоизображений. В мобильных системах, использующих для передачи изображений радиоканалы, сжатие обеспечивает согласование объема передаваемых видеоданных с ограниченной пропускной способностью канала. Используемые в настоящее время методы эффективного кодирования видеоданных ориентированы на сжатие отдельных кадров (JPEG, Motion JPEG) или видеопоследовательностей (MPEG-2, MPEG-4, H.264), формируемых одной видеокамерой, и обеспечивают коэффициенты сжатия с потерями до сотен раз. Однако данные методы не учитывают особенности эффективного кодирования перекрывающихся изображений, формируемых несколькими разнесенными в пространстве видеокамерами. Поэтому при передаче и совмещении изображений, формируемых в мобильной сети несколькими видеокамерами, эффективность известных методов сжатия видеоизображений снижается из-за повторного кодирования и передачи областей перекрытия изображений. В условиях ограниченной полосы передачи это приводит к резкому ухудшению качества восстановления и совмещения перекрывающихся изображений. Необходимость получения высокого коэффициента сжатия перекрывающихся изображений и быстрой идентификации реперов в условиях параллакса для определения области перекрытия изображений обуславливает актуальность темы диссертации. В работе исследуются методы и средства эффективного кодирования перекрывающихся изображений и быстрой идентификации реперов для совмещения перекрывающихся изображений в условиях параллакса.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами

Исследования проводились в рамках выполненной на кафедре сетей и устройств телекоммуникаций учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» научно-исследовательской госбюджетной темы ГБ 06-2033 «Разработка методов обработки, передачи и распределения мультимедийной информации» (этап «Разработать и исследовать высокоскоростные методы передачи мультимедийной информации по различным каналам связи»).

Цель и задачи исследования

Цель настоящей работы состоит в разработке методов и средств секторной идентификации реперов для быстрого поиска областей соответствия и эффективного

кодирования перекрывающихся изображений в мобильных системах.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать метод и алгоритмы секторной локализации, параметризации и идентификации реперов, обеспечивающие выделение и уточнение контурных реперов на изображениях;
- разработать метод эффективного кодирования перекрывающихся изображений, использующий контурные реперы для определения областей соответствия на изображениях.

Объектами исследования диссертационной работы являются методы и средства идентификации реперов и эффективного кодирования изображений. Выбор данных объектов исследования обусловлен актуальностью проблемы повышения пропускной способности мобильных систем передачи изображений, эффективным подходом к решению которой является сокращение объема передаваемой информации за счет исключения повторной передачи областей перекрытия изображений. Предметом исследования являются методы и средства секторной идентификации областей соответствия и эффективного кодирования перекрывающихся изображений в мобильных системах.

Положения, выносимые на защиту

1. Алгоритм выделения реперов на основе контурной бинаризации изображений, обеспечивающий уменьшение вычислительной сложности выделения реперов и повышение устойчивости реперных образов к изменению яркости в 5 и 6 раз по сравнению с методами SURF и SIFT соответственно за счет использования фильтров с малоразмерным ядром и контурных точек с максимальным контрастом.

2. Метод секторной идентификации реперов на основе библиотеки угловых контурных масок, обеспечивающий уменьшение вычислительной сложности локализации реперов и повышение устойчивости реперов к изменению масштаба изображения в 5 и 2 раза по сравнению с методами SURF и SIFT соответственно за счет минимизации состояний поискового графа и учета соответствий реперов на смежных уровнях кратномасштабного представления изображения.

3. Алгоритм секторной параметризации реперов на основе угловых коэффициентов, обеспечивающий уменьшение вычислительной сложности параметризации реперов и повышение устойчивости реперных идентификаторов к параллаксу в 18 и 4,5 раза по сравнению с методами SIFT и SURF соответственно за счет разделения окрестности репера на секторы и вычисления угловых коэффициентов для небольшого числа контурных точек в каждом из этих секторов отдельно.

4. Метод эффективного кодирования перекрывающихся изображений на основе секторной идентификации реперов, позволяющий повысить коэффициент сжатия на 30 % и более по сравнению с методом JPEG за счет исключения повторного кодирования областей соответствия перекрывающихся изображений.

Личный вклад соискателя

Содержание диссертации отражает личный вклад автора. Он заключается в научном обосновании алгоритмов и методов секторной идентификации реперов и эффективного кодирования перекрывающихся изображений, постановке и проведении экспериментов по исследованию характеристик, оценке эффективности разработанных алгоритмов и методов, обработке и анализе полученных результатов, формулировке выводов.

Определение целей и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводились совместно с научным руководителем, д-м техн. наук В.К. Конопелько и канд. техн. наук В.Ю. Цветковым.

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Международная научно-техническая конференция, посвященная 45-летию МРТИ-БГУИР (Минск, Беларусь, 2009 г.); First Computer Science Conference (Baghdad, Iraq, 2010 г.); Second Scientific conference for information technology «Applications and Horizons» (Baghdad, Iraq, 2010 г.); VIII, X Белорусско-российская научно-техническая конференция «Технические средства защиты информации» (Минск, Беларусь, 2010 г., 2012 г.); Международный научно-технический семинар «Телекоммуникации: Сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных» (Минск, Беларусь, 2010 г., 2011 г.).

Опубликованность результатов диссертации

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 14 печатных работ, в том числе 5 статей в научных журналах общим объемом 2,1 авторских листа; 8 статей и тезисов в сборниках и материалах конференций. Получен 1 патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка и шести приложений. В первой главе рассмотрены проблемы передачи и

совмещения изображений от нескольких камер в мобильных системах, представлен анализ методов эффективного кодирования и поиска областей соответствия на перекрывающихся изображениях с использованием локализации, параметризации и идентификации реперов. Во второй главе предложены и исследованы алгоритмы быстрого выделения и секторной параметризации угловых контурных реперов в условиях изменения яркости, поворота изображения и параллакса. В третьей главе предложены и исследованы метод и алгоритм секторной идентификации для быстрой локализации угловых контурных реперов в условиях масштабирования изображения. В четвертой главе представлены результаты исследований влияния сжатия перекрывающихся изображений на качество их совмещения, на основании которых предложен метод эффективного кодирования перекрывающихся изображений на основе секторной идентификации реперов. В пятой главе предложена структура кодека для сжатия перекрывающихся изображений с использованием секторной идентификации реперов, разработаны рекомендации по его использованию в мобильных системах, произведена оценка характеристик сжатия перекрывающихся изображений.

Общий объем диссертационной работы составляет 134 страницы, из них 75 страниц основного текста, 66 рисунков на 24 страницах, 6 таблиц на 2 страницах, 6 приложений на 22 страницах, библиография из 126 источников на 11 страницах, включая 14 собственных публикаций автора.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во *введении* определены основные направления исследований, обоснована актуальность темы диссертации, показана необходимость разработки и исследования методов эффективного кодирования перекрывающихся изображений в мобильных системах и идентификации реперов для быстрого совмещения изображений в условиях параллакса.

В *первой главе* проведен анализ особенностей эффективного кодирования и передачи изображений в мобильных системах; рассмотрены методы локализации, параметризации и идентификации реперов для поиска областей соответствия и совмещения перекрывающихся изображений.

Установлено, что известные методы эффективного кодирования неподвижных (JPEG, JPEG 2000 и т.д.) и подвижных (Motion JPEG, Cinepak, MPEG-4, H.264 и т.д.) изображений ориентированы на сжатие видеоданных от одной видеокамеры и не учитывают корреляцию между перекрывающимися изображениями, формируемыми несколькими разнесенными в пространстве видеокамерами. Они не учитывают параллакс, поворот, масштабирование и изменение яркости изображений, возникающие при перемещении видеокамеры.

Это приводит к снижению эффективности использования данных методов для сжатия перекрывающихся изображений и ограничивает их использование в мобильных системах (рисунок 1), где для передачи видеоизображений применяются радиоканалы с малой пропускной способностью.

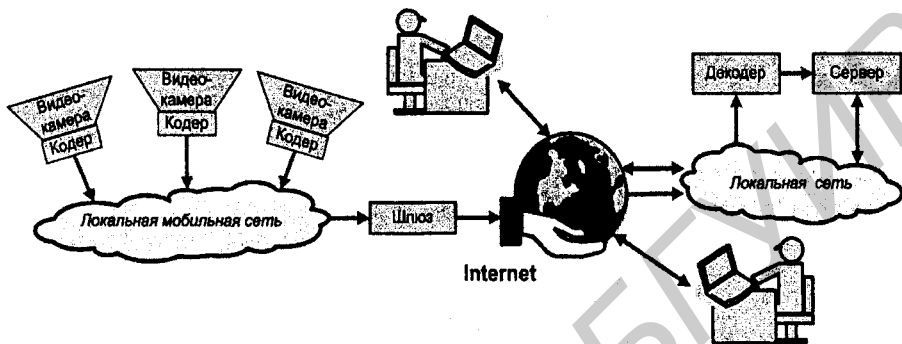


Рисунок 1 – Формирование и передача изображений в мобильных системах

Показано, что при решении задачи совмещения изображений, формируемых в мобильных системах множеством разнесенных в пространстве видеокамер, коэффициент сжатия перекрывающихся изображений может быть увеличен за счет исключения повторного кодирования и передачи областей соответствия этих изображений. В результате возникает необходимость разработки методов эффективного кодирования перекрывающихся изображений на основе определения областей соответствия этих изображений. Установлено, что решение данной задачи требует исследования методов быстрой локализации, параметризации и идентификации реперов на совмещаемых изображениях.

Известные методы локализации и параметризации реперов, такие как SIFT и SURF, формируют идентификаторы реперов с учетом поворота, масштабирования и изменения яркости изображений. Показано, что для обеспечения инвариантности к изменению масштаба изображений методы локализации и параметризации реперов используют множество аппроксимированных образов, формирование и обработка которых приводит к высокой вычислительной сложности алгоритмов. Кроме того, градиентные идентификаторы, формируемые в результате параметризации реперов, не учитывают параллакс, проявляющийся на перекрывающихся изображениях, что приводит к ошибкам идентификации реперов при совмещении изображений. Устранение данных недостатков возможно за счет использования угловых контурных реперов и соответствующих секторных идентификаторов, описывающих контурную структуру в окрестности репера с учетом параллакса.

Во второй главе предложены алгоритмы выделения и секторной параметризации угловых контурных реперов [2–А, 3–А, 5–А].

Алгоритм HRT (Haar Roberts Transform) выделения реперов [5–А] основан на контурной бинаризации и использует вейвлет-преобразование Хаара и фильтр Робертса для формирования множества кратномасштабных аппроксимированных контурных вейвлет-образов исходного изображения (рисунок 2). Алгоритм состоит из следующих шагов.

1. С помощью двухмерного дискретного вейвлет-преобразования Хаара формируется множество кратномасштабных аппроксимированных вейвлет-образов исходного изображения с одним уровнем аппроксимации на каждом уровне кратномасштабного представления.

2. С использованием фильтра Робертса осуществляется контурная фильтрация аппроксимированных образов.

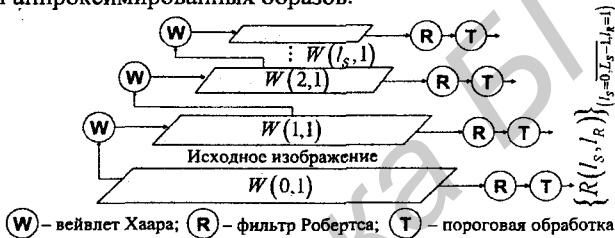


Рисунок 2 – Выделение реперов на основе контурной бинаризации

3. В результате пороговой обработки отфильтрованных аппроксимированных образов и исходного изображения формируется множество $\{R(l_s, l_r)\}_{(l_s=0, l_s-1, l_r=1)}$ бинарных реперных образов.

Показано, что предложенный алгоритм HRT обеспечивает уменьшение вычислительной сложности выделения реперов на изображении в 5 раз по сравнению с методом SURF и повышение устойчивости выделяемых реперов к изменению яркости изображения в 6 раз по сравнению с методом SIFT.

Алгоритм SPRIT (Scale Parallax Rotation Invariant Transform) секторной параметризации реперов основан на вычислении угловых коэффициентов для контурных точек в окрестности репера и обеспечивает инвариантность идентификации реперов к параллаксу [5–А]. Алгоритм SPRIT состоит из следующих 3-х шагов (рисунок 3).

1. Для каждого репера с координатами (y_{MP}, x_{MP}) формируется вектор, в котором значению i_{CP} -го элемента соответствует расстояние от этого репера до i_{CP} -й контурной точки, находящейся в его окрестности радиусом R_{MP} , где $N_{CP}(y_{MP}, x_{MP}, R_{MP})$ – число контурных точек в окрестности репера радиусом R_{MP} .

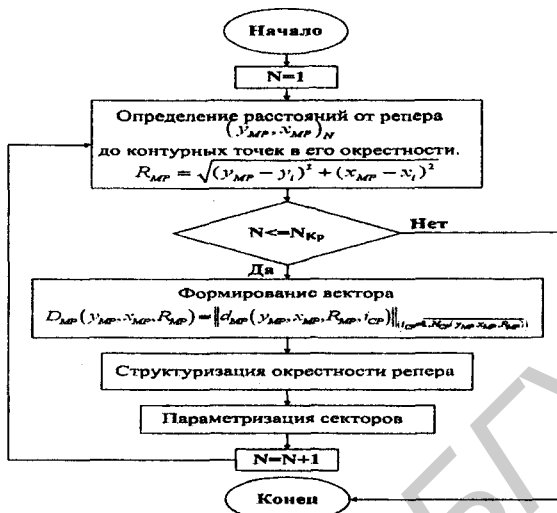


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма SPRIT параметризации реперов

2. В окрестности каждого репера выделяются ядро радиусом $R_{MP}/2$ пикселей; $R_{MP}/2$ орбит шириной в 1 пиксель на расстояниях $R_{MP}/2+1, R_{MP}$ пикселей от репера; внутренний S_{In} и внешний S_{Out} секторы, размеры и ориентация которых определяются по одному из 24 угловых шаблонов, которому соответствует репер. Эти секторы делятся на три части (на $S_{In}^{(M)}, S_{In}^{(B)}, S_{In}^{(E)}$ – для S_{In} ; на $S_{Out}^{(M)}, S_{Out}^{(B)}, S_{Out}^{(E)}$ – для S_{Out}) в результате выделения по краям секторов размером $\pi/8$ (рисунок 4).

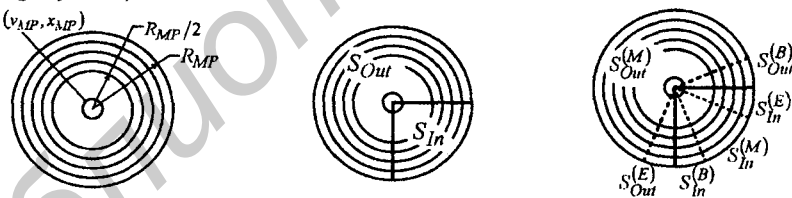


Рисунок 4 – Выделение секторов в окрестности репера

3. Рассматриваются пары секторов: S_{In} и S_{Out} (пара 1); $(S_{Out}^{(E)} \cup S_{In}^{(B)} \cup S_{In}^{(M)})$ и $(S_{In}^{(E)} \cup S_{Out}^{(B)} \cup S_{Out}^{(M)})$ (пара 2); $(S_{In}^{(M)} \cup S_{In}^{(E)} \cup S_{In}^{(B)})$ и $(S_{Out}^{(M)} \cup S_{Out}^{(E)} \cup S_{Out}^{(B)})$ (пара 3) (символом \cup обозначена операция получения составных секторов). Для каждого сектора строится гистограмма, представляющая взвешенную статистику углов между прямыми, проходящими через репер и пары контурных пикселей, которые удалены друг от друга на угловое расстояние не более S_w и от репера на расстояние $d_{MP}(y_{MP}, x_{MP}, R_{MP}, i_{CP})$, удовлетворяющее условию

$$d - 1 < d_{MP}(y_{MP}, x_{MP}, R_{MP}, i_{CP}) < d + 1 \text{ при } d = \overline{2, R_{MP} - 1}, \quad (1)$$

где CT и ST – индексы, указывающие на принадлежность гистограммы к конкретному сектору $S_{CT}^{(ST)}$ и принимающие значения $\{In, Out\}$ и $\{B, M, E\}$ соответственно.

Показано, что предложенный алгоритм SPRIT обеспечивает уменьшение вычислительной сложности параметризации реперов в 18 раз по сравнению с методом SIFT и повышение устойчивости реперных идентификаторов в условиях параллакса в 4,5 раза по сравнению с методом SURF.

В *третьей главе* предложены метод и алгоритм секторной идентификации угловых контурных реперов [5–А, 12–А].

Метод АСМА (Angle Contour Mask Algorithm) секторной идентификации реперов основан на использовании библиотеки угловых контурных масок для выделения углов, образованных контурными линиями, и определении их угловых размеров и ориентации [4–А]. Библиотека состоит из 24-х угловых контурных масок, представляющих все возможные повороты на угол $45d^\circ$ трех базовых угловых контурных масок размером 4×4 пикселей (рисунок 5), где $d = \overline{0, 7}$ – ориентация базовой угловой контурной маски. Каждая базовая маска содержит контурный угол, размер которого составляет $\alpha = \{45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\}$. Библиотека применяется для поиска угловых реперов на множестве $\{R(l_S, l_R)\}_{(l_S=\overline{0, l_S-1}, l_R=1)}$ реперных образов, полученных с помощью алгоритма HRT контурной бинаризации.



Рисунок 5 – Базовые бинарные угловые контурные маски: 45° ; 90° ; 135°

Алгоритм, реализующий метод АСМА, состоит из следующих шагов.

1. Окрестность каждого бинарного репера из множества $\{R(l_S, l_R)\}_{(l_S=\overline{0, l_S-1}, l_R=1)}$ проверяется на соответствие одной из 24 угловых контурных масок. При непосредственном использовании библиотеки это требует $24 \times 4 \times 4 = 384$ бинарные операции сложения. В [12–А] показано, что за счет минимизации состояний поискового графа количество бинарных операций может быть сокращено до 52. В результате данного шага формируется множество $\{C(l_S, l_R)\}_{(l_S=\overline{0, l_S-1}, l_R=1)}$ угловых реперных образов. Для каждого углового контурного репера $c(l_S, l_R, n_{l_S})$ из углового реперного образа $C(l_S, l_R)$ фиксируется набор параметров $\{y(n_{l_S}), x(n_{l_S}), \alpha(n_{l_S}), d(n_{l_S}), l_S(n_{l_S})\}_{(n_{l_S}=\overline{0, N_C(l_S)})}$, где $N_C(l_S)$ – число угловых контурных реперов на уровне l_S .

2. Отыскиваются пары соответствующих угловых контурных реперов $c(l_S, l_R, i)$ и $c(l_S - 1, l_R, j)$, удовлетворяющих условию

$$\forall l_S (l_S = \overline{L_S, 1}) \forall i (i = \overline{0, N_C(l_S)})$$

$$\exists j (j \in [0, N_C(l_S - 1)]) \left[\begin{aligned} & \left((2y(i) \approx y(j)) \wedge (2x(i) \approx x(j)) \wedge \right. \\ & \left. \wedge (\alpha(i) \approx \alpha(j)) \wedge (d(i) \approx d(j)) \right) \rightarrow \end{aligned} \right. \quad (2)$$

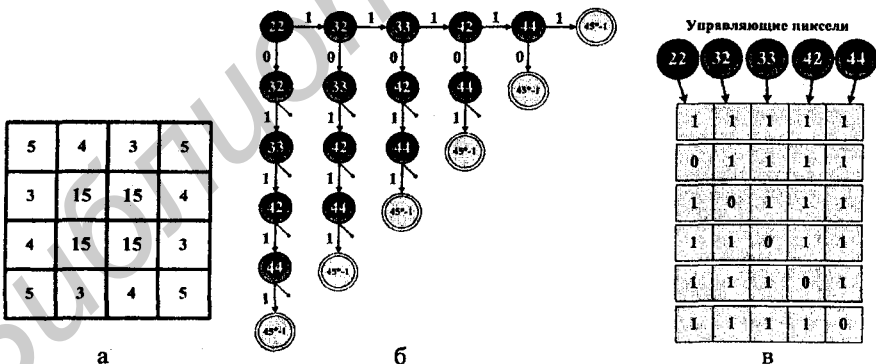
$$\rightarrow (c(l_S, l_R, i) \Leftrightarrow c(l_S - 1, l_R, j)),$$

где \Leftrightarrow – символ соответствия угловых контурных реперов на соседних вейвлет-уровнях.

Показано, что предложенный метод АСМА обеспечивает уменьшение вычислительной сложности локализации реперов в 5 раз по сравнению с методом SURF и повышение устойчивости реперов к изменению масштаба изображения в 2 раза по сравнению с методом SIFT.

Для быстрой локализации угловых контурных реперов разработан алгоритм прогрессивной секторной идентификации реперов на основе вероятностей появления пикселей в контурных масках [12–А], состоящий из следующих 6 шагов.

1. Инициализация матриц вероятностей появления пикселей в угловых контурных масках. Для каждого класса угловых контурных масок, определяемого угловым размером, формируется матрица вероятностей появления пикселей в угловых контурных масках данного класса. На рисунке 6, а представлена сводная матрица вероятностей появления пикселей в угловых контурных масках трех классов: 45° , 90° , 135° .



а – сводная матрица вероятностей появления пикселей в угловых контурных масках;

б – фрагмент графа прогрессивной идентификации угловых контурных реперов;

в – матрица идентификационных векторов

Рисунок 6 – Матрицы и графы прогрессивной идентификации

2. На основе матриц вероятностей появления пикселей в угловых контурных масках для каждого класса формируются два графа прогрессивной идентификации угловых контурных реперов, описывающих процесс идентификации реперов на основе двух конечных автоматов. Начальные состояния автомата соответствуют пикселям, которые имеют максимальную вероятность появления в шаблоне (рисунок 6, б).

3. Инициализация управляющих пикселей. На рисунке 6, б элементы, имеющие одинарную границу, соответствуют управляющим пикселям в матрице вероятностей и контурной маске, значения которых определяют ветвление по графу прогрессивной идентификации угловых контурных реперов.

4. Инициализация идентификационных векторов в соответствии с матрицей. Согласно матрице, представленной на рисунке 6, в, автомат принимает лишь один ноль, соответствующий ошибочному пикселю.

5. Начальная приближительная идентификация угловых контурных реперов с использованием пикселей окрестности реперов, имеющих наибольшую вероятность появления в библиотеке угловых контурных масок.

6. Цикл прогрессивной идентификации угловых контурных реперов. Осуществляется уточнение первичной идентификации угловых контурных реперов в результате постепенного учета значений других пикселей в окрестности репера в порядке уменьшения вероятности их появления.

Показано, что предложенный алгоритм обеспечивает сокращение вычислительной сложности секторной идентификации и локализации реперов в 6 раз по сравнению с секторной идентификацией и локализацией на основе полного перебора.

В *четвертой главе* проведен анализ влияния сжатия на качество совмещения перекрывающихся изображений и предложен метод эффективного кодирования перекрывающихся изображений на основе секторной идентификации реперов [2–А, 4–А, 5–А].

Для оценки влияния сжатия на качество совмещения перекрывающихся изображений схема, представленная на рисунке 7, а, сопоставлена с аналогичной схемой передачи несжатых изображений на сервер. В схеме на рисунке 7, а изображения сжимаются с потерями; передаются по каналу связи; восстанавливаются с потерями качества; совмещаются. В схеме без сжатия предполагается, что каналы передачи имеют достаточную пропускную способность для передачи видеoinформации без потерь. В обеих схемах совмещение перекрывающихся изображений осуществляется в четыре этапа: выделение, локализация и параметризация реперов (этап 1); поиск пар соответствующих реперов на изображениях (этап 2); совмещение перекрывающихся изображений (этап 3); улучшение качества, полученного в результате совмещения изображения (этап 4).

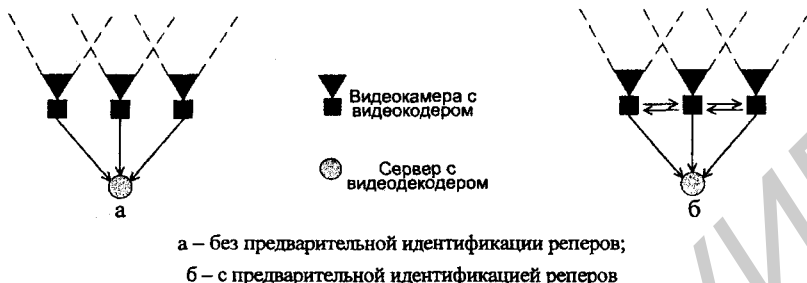


Рисунок 7 – Схемы передачи перекрывающихся изображений

В таблице 1 приведены значения пикового отношения сигнал–шум для совмещенных изображений, полученных из несжатых и сжатых перекрывающихся изображений на базе методов SIFT, SURF и предложенных алгоритмов HAS (HRT выделения, АСМА секторной идентификации и SPRIT секторной параметризации реперов). Из таблицы следует, что с увеличением коэффициента сжатия увеличивается ошибка совмещения изображений.

Таблица 1 – Ошибка совмещения перекрывающихся изображений без предварительной идентификации реперов

Коэффициент сжатия изображений	Пиковое отношение сигнал–шум (PSNR), дБ		
	для метода SIFT	для метода SURF	для алгоритмов HAS
2	35.21	50.43	34.49
5	32.91	38.83	33.04
10	35.87	29.58	39.01
50	–	48.91	–
100	–	34.37	–

Для устранения данного недостатка разработан метод эффективного кодирования перекрывающихся изображений на основе секторной идентификации реперов [2–А, 4–А, 5–А], обеспечивающий выполнение до сжатия операций, влияющих на качество совмещения изображений. К этим операциям относятся выделение, локализация и параметризация реперов; поиск пар соответствующих реперов на изображениях; проекционные преобразования и обрезка перекрывающихся изображений. Преобразованные и обрезанные изображения сжимаются и передаются по каналам связи (рисунок 7, б). В функции сервера входят декодирование обрезанных сжатых изображений, их совмещение и улучшение качества в области совмещения. Алгоритм, реализующий данный метод, состоит из следующих шагов.

1. Выделение реперов с использованием алгоритма HRT [2–А, 3–А, 5–А].

2. Секторная идентификация и локализация реперов с использованием метода АСМА [5–А].

3. Секторная параметризация реперов с использованием алгоритма SPRIT [5–А].

4. Поиск уникальных реперов в пределах каждого изображения. Идентификаторы $M_D(i) = \|M_D(i, n)\|_{(n=0, N(i)-1)}$ уникальных реперов i -го изображения должны удовлетворять условию

$$-\exists M_D(i, n_1) - \exists M_D(i, n_2) (\forall m_D(i, n_1, p_1) \exists m_D(i, n_2, p_2) (m_D(i, n_1, p_1) = m_D(i, n_2, p_2))) \quad (3)$$

при $n_1 \in [0, N(i)]$, $n_2 \in [0, N(i)]$, $p_1 = \overline{0, P-1}$, $p_2 \in [0, P]$,

где $m_D(i, n, p)$ – p -й элемент идентификатора n -го уникального репера;

$N(i)$ – число уникальных реперов i -го изображения.

5. Обмен реперными идентификаторами между кодерами.

6. Поиск соответствий на изображениях. Уникальный репер i -го изображения с номером n_i ($n_i = \overline{0, N(i)-1}$), координатами и идентификатором $\{m_Y(i, n_i), m_X(i, n_i), M_D(i, n_i)\}$ и уникальный репер k -го изображения с номером n_k ($n_k = \overline{0, N(k)-1}$), координатами и идентификатором $\{m_Y(k, n_k), m_X(k, n_k), M_D(k, n_k)\}$ считаются соответствующими, если выполняется условие

$$\forall m_D(i, n_i, p_i) \exists m_D(k, n_k, p_k) (m_D(i, n_i, p_i) = m_D(k, n_k, p_k)), \quad (4)$$

где $p_i = \overline{0, P-1}$, $p_k \in [0, P]$.

7. Проекционные преобразования и обрезка изображений.

8. Эффективное кодирование обрезанных изображений. Каждый i -й кодер осуществляет эффективное кодирование i -го обрезанного изображения $\tilde{M}_F(i)$ с коэффициентом $CR_C(i)$ сжатия, в результате чего формируется сжатое изображение $M_C(i) = \|m_C(i, l)\|_{(l=0, L_D(i)-1)}$, где $L_D(i)$ – длина кода (число бит), представляющего сжатое i -го изображение. Значения коэффициента $CR_C(i)$ сжатия и длины $L_D(i)$ сжатого i -го изображения связаны между собой выражением

$$L_D(i) = \frac{BD_P \cdot (Y \cdot X - S_o/2)}{CR_C(i)}, \quad (5)$$

где $S_o = K_o \cdot Y \cdot X$ – площадь перекрытия изображений;

K_o – коэффициент перекрытия изображений.

Полный коэффициент $CR_D(i)$ сжатия i -го изображения с учетом координатных и идентификационных параметров реперов вычисляется с помощью выражения

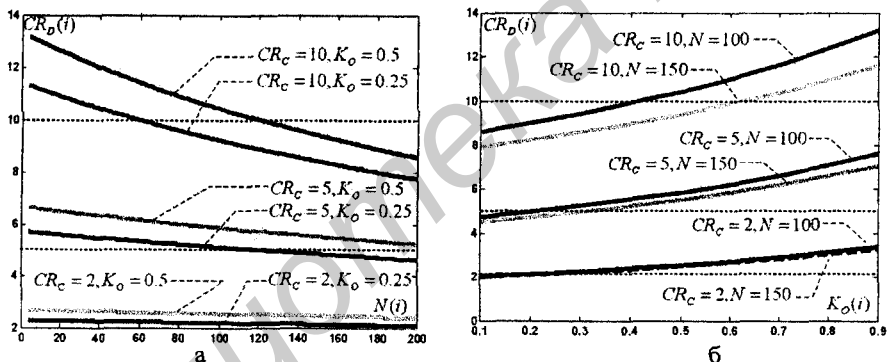
$$CR_D(i) = \frac{BD_p \cdot Y \cdot X}{L_D(i) + BD_D \cdot P \cdot N(i)}, \quad (6)$$

где BD_p – битовая глубина изображения;

BD_D – битовая глубина идентификаторов.

9. Передача сжатых фрагментов на сервер.

В результате выполнения данных шагов на декодер поступают сжатые обрезанные изображения, которые совмещаются после декодирования. На рисунке 8 представлены зависимости полного коэффициента $CR_D(i)$ сжатия обрезанного изображения от числа $N(i)$ уникальных реперов и коэффициента K_o перекрытия.



а – зависимости $CR_D(i)$ от числа $N(i)$ уникальных реперов;

б – зависимости $CR_D(i)$ от коэффициента K_o перекрытия изображений

Рисунок 8 – Характеристики сжатия перекрывающихся изображений

Из рисунка 8 следует, что за счет устранения пространственной и статистической избыточности областей соответствия при перекрытии изображений на 50 % и более предложенный метод эффективного кодирования позволяет повысить коэффициент сжатия более чем на 30 % по сравнению с методом кодирования JPEG и другими методами, не учитывающими перекрытие.

В пятой главе рассматривается структура и характеристики видеокodeка перекрывающихся изображений, рекомендации по реализации секторной идентификации реперов [4–А, 5–А, 14–А].

Видеокodeк перекрывающихся изображений позволяет повысить коэффициент сжатия и качество совмещения изображений при повороте, масштабировании, изменении яркости и параллаксе за счет секторной идентификации реперов и исключения повторного кодирования областей соответствия. Кодер включает блоки приема реперных идентификаторов от других кодеров (рисунок 9). В процессе кодирования изображения в кодовую последовательность добавляются указатели на изображения, с которыми обнаружено перекрытие, и параметры проекционных преобразований.

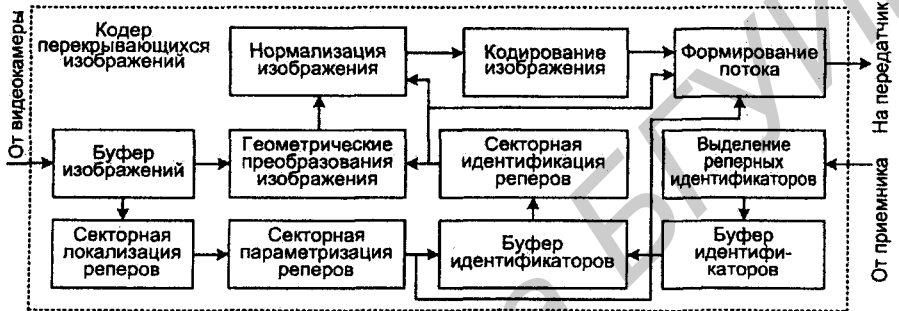


Рисунок 9 – Кодер перекрывающихся изображений

Задачей декодера (рисунок 10) является выделение из кодовой последовательности информации, необходимой для совмещения перекрывающихся изображений, и декомпрессия сжатого изображения.

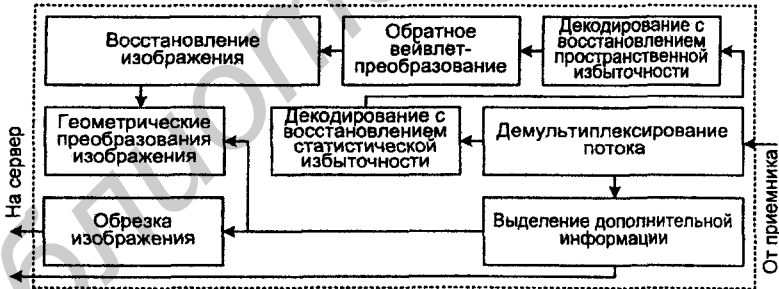


Рисунок 10 – Декодер перекрывающихся изображений

В таблице 2 приведены значения пикового отношения сигнал-шум для совмещенных изображений, полученных из несжатых и сжатых перекрывающихся изображений с предварительной идентификацией реперов на базе методов SIFT, SURF и предложенных алгоритмов HAS. Из сопоставления таблиц 1 и 2 следует, что разработанный кодек перекрывающихся изображений на основе секторной идентификации угловых контурных реперов позволяет увеличить пиковое

отношение сигнал–шум совмещения перекрывающихся изображений на 30 дБ и более в зависимости от коэффициента сжатия за счет исключения повторного кодирования и передачи областей соответствия перекрывающихся изображений.

Таблица 2 – Ошибка совмещения перекрывающихся изображений с предварительной идентификацией реперов

Коэффициент сжатия изображений	Пиковое отношение сигнал–шум (PSNR), дБ		
	для метода SIFT	для метода SURF	для алгоритмов HAS
2	108.972	108.94	108.34
5	81.62	81.30	81.27
10	69.71	69.61	69.49
50	53.47	53.44	53.14
100	49.23	49.21	48.49

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

Разработаны алгоритмы, методы и средства эффективного кодирования перекрывающихся изображений в мобильных системах, основанные на поиске областей соответствия изображений с использованием секторной идентификации угловых контурных реперов.

1 Разработан алгоритм выделения реперов на основе контурной бинаризации, позволяющий сформировать множество контурных вейвлет-образов исходного изображения с использованием вейвлет-преобразования Хаара и фильтра Робертса. Установлено, что алгоритм обеспечивает уменьшение вычислительной сложности выделения реперов на изображении в 5 раз по сравнению с методом SURF и повышение устойчивости выделяемых реперов к изменению яркости изображения в 6 раз по сравнению с методом SIFT [1–А, 2–А, 3–А].

2 Предложен метод секторной идентификации реперов на основе библиотеки угловых контурных масок для инвариантной к масштабированию и изменению яркости изображения локализации реперов. Показано, что данный метод обеспечивает уменьшение вычислительной сложности локализации реперов в 5 раз по сравнению с методом SURF и повышение устойчивости реперов к изменению масштаба изображения в 2 раза по сравнению с методом SIFT [4–А, 5–А, 9–А].

3 Разработан алгоритм инвариантной к параллаксу секторной параметризации реперов на основе угловых коэффициентов. Установлено, что алгоритм обеспечивает уменьшение вычислительной сложности

параметризации реперов в 18 раз по сравнению с методом SIFT и повышение устойчивости реперных идентификаторов к параллаксу в 4,5 раза по сравнению с методом SURF [5–А].

4 Предложен метод эффективного кодирования перекрывающихся изображений на основе секторной идентификации реперов. Установлено, что за счет устранения избыточности областей соответствия при перекрытии изображений на 50 % и более метод позволяет повысить коэффициент их сжатия более чем на 30 % по сравнению с методом JPEG [1–А, 4–А, 5–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1 Разработанные методы и алгоритмы эффективного кодирования перекрывающихся изображений и секторной идентификации реперов использованы при разработке структуры и программных средств кодека для сжатия перекрывающихся изображений в мобильных системах, включающих множество видеокамер с перекрывающимися секторами обзора. Показано, что в данных условиях применения за счет исключения повторного кодирования и передачи областей соответствия перекрывающихся изображений разработанный кодек на основе секторной идентификации реперов позволяет увеличить пиковое отношение сигнал–шум на 30 дБ и более в зависимости от степени перекрытия и коэффициента сжатия изображений [4–А].

2 Показано, что для ускорения процесса секторной локализации реперов необходимо использовать дискретное вейвлет-преобразование с адаптацией к размеру изображения, обеспечивающее уменьшение вычислительной сложности вейвлет-преобразования до 3 раз [11–А], и алгоритм статистической пороговой обработки на основе модифицированного фильтра Робертса, обеспечивающий уменьшение вычислительной сложности выделения контурных реперов в 2 раза и более [2–А, 3–А].

3 Установлено, что для повышения эффективности секторной идентификации реперов следует использовать бинарные маски с угловым размером 90°, которые обеспечивают в 4,2 раза меньшую неопределенность идентификации угловых контурных реперов по сравнению с бинарными масками с другими угловыми размерами [5–А].

4 Показано, что предложенные алгоритмы секторной идентификации реперов эффективны в условиях параллакса. При смещении видеокамеры на 40 см они обеспечивают уменьшение среднеквадратической ошибки идентификации реперов в 33 и 7,4 раза по сравнению с методами SIFT и SURF соответственно [5–А].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах

1–А. Борискевич, А.А. Вейвлет-сжатие полутоновых изображений на основе одномерных комбинированных древесных структур / А.А. Борискевич, В.Ю. Цветков, Т.М. Аль-Джубури, О.Дж. Аль-Фурайджи // Доклады БГУИР. – 2008. – № 7(37). – С. 59–66.

2–А. Аль-Фурайджи, О.Дж. Контурное позиционирование полутоновых изображений на основе модифицированного фильтра Робертса / О.Дж. Аль-Фурайджи, В.Ю. Цветков // Доклады БГУИР. – 2009. – № 5(43). – С. 30–37.

3–А. Аль-Фурайджи, О.Дж. Прогрессивный поиск схожести двух изображений на основе сопоставления угловых контурных точек / О.Дж. Аль-Фурайджи, В.Ю. Цветков // Доклады БГУИР. – 2010. – № 5(51). – С. 66–71.

4–А. Аль-Фурайджи, О.Дж. Эффективное кодирование изображений от распределенных в пространстве видеокамер с устранением межкаурсной избыточности / О.Дж. Аль-Фурайджи, В.К. Конопелько, В.Ю. Цветков // Доклады БГУИР. – 2011. – № 8(62). – С. 87–94.

5–А. Аль-Фурайджи, О.Дж. Секторная локализация, параметризация и идентификация реперов на основе угловых коэффициентов для совмещения перекрывающихся изображений / О.Дж. Аль-Фурайджи, В.К. Конопелько, В.Ю. Цветков // Доклады БГУИР. – 2012. – № 6(68). – С. 122–128.

Статьи в сборниках и материалах конференций

6–А. Цветков, В.Ю. Алгоритм шивки полутоновых изображений на основе контурных масок / В.Ю. Цветков, О.Дж. Аль-Фурайджи // Международная научно-техническая конференция, посвященная 45-летию МРТИ–БГУИР, Минск, 19 марта 2009 г.: тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – Минск: БГУИР, 2009. – С. 42–43.

7–А. Аль-Фурайджи, О.Дж. Шифрование круговых панорамных изображений на основе циклических перестановок / О.Дж. Аль-Фурайджи, В.К. Конопелько // Технические средства защиты информации: тез. докл. VIII Белорус.-российск. науч.-техн. конф. (Браслав, Беларусь 24–28 мая 2010 г.). – Минск, БГУИР, 2010. – С. 38–39.

8–А. Аль-Фурайджи, О.Дж. Прогрессивный поиск соответствий аппроксимированных вейвлет-образов на основе контурного сопоставления /

О.Дж. Аль-Фурайджи, В.Ю. Цветков // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: тез. докл. науч.-техн. семинара (Браслав, Беларусь 22–24 сент. 2010 г.). – Минск, БГУИР, 2010. – С. 50–51.

9–А. Al-Furajji, O.J. A method of contour positioning of images based on their multiresolution representation / O.J. Al-Furajji, V.K. Kanapelko, V.Yu. Tsviatkou // Computer sciences are the base for society information: 1st computer science conference proceedings, Iraq, Baghdad, 2010 / University Of Technology. – Baghdad, 2010. – P. 78–89.

10–А. Al-Furajji, O.J. Object-oriented positioning of images in the wavelet-domain / O.J. Al-Furajji, V.K. Kanapelko, V.Yu. Tsviatkou // 2nd scientific conference for information technology: Applications and Horizons, UOT, Iraq-Baghdad, Part 4, 20–22 April 2010. – P. 237–258.

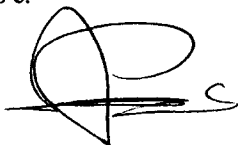
11–А. Boriskevich, A.A. An adaptive discrete wavelet transform method of grayscale images / A.A. Boriskevich, V.Yu. Tsviatkou, O.J. Al-Furajji // Journal of Basrah researches (sciences), Basrah-Iraq, – 2010. –Vol. 36A, № 5. – P. 24–35.

12–А. Аль-Фурайджи, О.Дж. Алгоритм быстрого поиска угловых реперных точек на основе контурных масок / О.Дж. Аль-Фурайджи, Н.В. Спичекова // Телекоммуникации: сети и технологи, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы междунар. науч.-техн. семинара (Минск, январь–декабрь 2011 г.). Минск: БГУИР, 2011. – С. 51–56.

13–А. Аль-Фурайджи, О.Дж. Инвариантная к параллаксу параметризация реперов для эффективного кодирования многоракурсных изображений в системе видеомониторинга / О.Дж. Аль-Фурайджи, К.Т. Аль-Шамери, В.Ю. Цветков // Технические средства защиты информации: тез. докл. X Белорус.-российск. науч.-техн. конф. (Минск, Беларусь 29–30 мая 2012 г.). – Минск, БГУИР, 2012. – С. 78.

Патенты

14–А. Видеокодек с объектной компенсацией движения видеокамеры для сжатия видеоданных: пат. 8206 Респ. Беларусь / В.К. Конопелько, В.Ю. Цветков, Т.М.С. Аль-Джубури, О.Дж.М. Аль-Фурайджи; заявитель: Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – № u 20110853; заявл. 31.10.2011; опубли. 01.02.2012 // афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 1. – 18 с.



РЭЗІЮМЭ

Аль-Фурайджі Одай Джасім Махамед СЕКТАРНАЯ ІДЭНТЫФІКАЦЫЯ РЭПЕРАЎ У ЭФЕКТЫЎНЫМ КАДАВАННІ МАЛЮНКАЎ

Ключавыя словы: эфектыўнае кадаванне малюнкаў, сектарная ідэнтыфікацыя рэпераў, спіск малюнкаў, сумяшчэнне малюнкаў, кутнія контурныя рэперы.

Мэтай працы з'яўляецца распрацоўка метадаў і сродкаў сектарнай ідэнтыфікацыі рэпераў для хуткага пошуку абласцей адпаведнасці і эфектыўнага кадавання малюнкаў, якія перакрываюцца, у мабільных сістэмах.

Даследаваныя метады эфектыўнага кадавання малюнкаў і ўплыў спіску на якасць іх сумяшчэння ва ўмовах перакрыцця. Паказана, што эфектыўнасць вядомых метадаў зніжаецца пры спіску малюнкаў, якія перакрываюцца, з-за паўторнага кадавання абласцей перакрыцця. Усталявана, што памылка сумяшчэння малюнкаў, якія перакрываюцца, узнікае з-за хібнасці ідэнтыфікацыі рэпераў і ўзрастае з павелічэннем каэфіцыента спіску. Для падвышэння каэфіцыента спіску і якасці сумяшчэння малюнкаў, якія перакрываюцца, распрацаваны метады эфектыўнага кадавання на аснове сектарнай ідэнтыфікацыі рэпераў. Іста метад складзецца ў выкарыстанні сектарных ідэнтыфікатараў кутніх контурных рэпераў для азначэння меж абласцей адпаведнасці на малюнках, якія перакрываюцца, і выключэнні паўторнага кадавання гэтых абласцей. У адрозненне ад градыентнай ідэнтыфікацыі, выкарыстоўванай у вядомых метадах супастаўлення рэпераў, сектарная ідэнтыфікацыя забяспечвае ўстойлівасць лакалізацыі і супастаўленні рэпераў ва ўмовах паралаксу, змены яркасці, маштаванні і павароту малюнка за рахунак падзелу наваколля рэпера на сектары і паасобнага вылічэння кутніх каэфіцыентаў для контурных кропак у кожным з гэтых сектараў. Паказана, што за рахунак выкарыстання сектарнай ідэнтыфікацыі рэпераў для пошуку абласцей адпаведнасці распрацаваны метады эфектыўнага кадавання малюнкаў, якія перакрываюцца, забяспечвае падвышэнне каэфіцыента спіску на 30 % і якасці сумяшчэння малюнкаў на 30 дБ і болей ў параўнанні метадамі эфектыўнага кадавання, што не ўлічваюць перакрыцце малюнкаў.

На аснове прапанаваных метадаў і алгарытмаў эфектыўнага кадавання і сектарнай ідэнтыфікацыі рэпераў распрацаваны праграмныя модулі відзакодэка для спіску малюнкаў, якія перакрываюцца, у мабільных сістэмах і падвышэнні за рахунак гэтага іх прапускной здольнасці. Вынікі дысертацыйнай працы выкарыстаныя ў КБ «Дысплей» і ўкаранёныя ў вучэбны працэс у Беларускай дзяржаўнай універсітэце інфарматыкі і радыёэлектронікі.

РЕЗЮМЕ

Аль-Фурайджи Одай Джасим Мохаммед

СЕКТОРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЕПЕРОВ В ЭФФЕКТИВНОМ КОДИРОВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Ключевые слова: эффективное кодирование изображений, секторная идентификация реперов, сжатие изображений, совмещение перекрывающихся изображений, угловые контурные реперы.

Целью работы является разработка методов и средств секторной идентификации реперов для быстрого поиска областей соответствия и эффективного кодирования перекрывающихся изображений в мобильных системах.

Исследованы методы эффективного кодирования изображений и влияние сжатия на качество их совмещения в условиях перекрытия. Показано, что эффективность известных методов снижается при сжатии перекрывающихся изображений из-за повторного кодирования областей перекрытия. Установлено, что ошибка совмещения перекрывающихся изображений возникает из-за погрешности идентификации реперов и возрастает с увеличением коэффициента сжатия. Для повышения коэффициента сжатия и качества совмещения перекрывающихся изображений разработан метод эффективного кодирования на основе секторной идентификации реперов. Суть метода заключается в использовании секторных идентификаторов угловых контурных реперов для определения границ областей соответствия на перекрывающихся изображениях и исключения повторного кодирования этих областей. В отличие от градиентной идентификации, используемой в известных методах сопоставления реперов, секторная идентификация обеспечивает устойчивость локализации и сопоставления реперов в условиях параллакса, изменения яркости, масштабирования и поворота изображения за счет разделения окрестности репера на секторы и раздельного вычисления угловых коэффициентов для контурных точек в каждом из этих секторов. Показано, что за счет использования секторной идентификации реперов для поиска областей соответствия разработанный метод эффективного кодирования перекрывающихся изображений обеспечивает повышение коэффициента сжатия на 30 % и качества совмещения изображений на 30 дБ и более по сравнению методами эффективного кодирования, не учитывающими перекрытие изображений.

На основе предложенных методов и алгоритмов эффективного кодирования и секторной идентификации реперов разработаны программные модули видеокodeка для сжатия перекрывающихся изображений в мобильных системах и повышения за счет этого их пропускной способности. Результаты диссертационной работы использованы в КБ «Дисплей» и внедрены в учебный процесс в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники.

SUMMARY
Al-Furajji Oday Jasim Mohammed
SECTOR IDENTIFICATION OF INTEREST POINTS IN THE
EFFECTIVE CODING OF IMAGES

Keywords: effective coding of images, interest points sector identification, image compression, stitching of overlapping images, corner contour points.

The aim of this work is to develop methods and software for sector identification of interest points to quickly find areas of overlap and effective coding of overlapping images in the mobile systems.

Methods have been examined for the effective image coding and compression effect on the image stitching quality. It is shown that the efficiency of the well-known compression methods is decreased when compressing the overlapping images due to re-encoding the overlapping areas. It is found that the error of combining overlapping images occurs due to the misidentification of interest points, and this is increased as the compression ratio rises. To increase the compression ratio and the quality of combining overlapping images, a sector identification based effective coding method is developed for interest points. The essence of this method consists in using the sector identifiers of corner contour points for determining the corresponding regions boundaries of overlapping images and avoiding the re-encoding of these regions. In contrast with the well-known gradient based identification feature matching methods, sector identification ensures the stability of localization and matching of features (interest points) in parallax, brightness, zoom and rotation of the image. This stability is as a result of dividing the interest point neighborhood into sectors and the corner coefficients separate calculations of contour points in each of the these sectors. It is shown that as a result of using the interest points sector identification to find the areas of overlap (corresponding regions), the developed method for effective coding of overlapping images increases the compression ratio by 30 % and the quality of image stitching up to 30 dB and more compared to the methods of effective coding, which ignore the overlapping between images.

On the basis of the proposed methods and algorithms of effective coding and interest point sector identification, video-codec software modules have been developed for the compression of overlapping images in mobile systems and thus improve their bandwidth. The results of this thesis are used in KB «Display» and introduced into the educational process at the Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics.

Научное издание

АЛЬ-ФУРАЙДЖИ Одай Джасим Мохаммед

**СЕКТОРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЕПЕРОВ В ЭФФЕКТИВНОМ
КОДИРОВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Специальность 05.12.13 – Системы, сети
и устройства телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 17.10.2012.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,4.

Формат 60x84 1/16.
Отпечатано на ризографе.
Тираж 66 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,63.
Заказ 503.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровка, 6