

На правах рукописи



Гришин Сергей Викторович

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ КАДРОВ ЦИФРОВЫХ ВИДЕО СИГНАЛОВ

05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных
машин, комплексов и компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва – 2009

Работа выполнена на кафедре автоматизации систем вычислительных комплексов факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник факультета
ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова,
Ватолин Дмитрий Сергеевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
Галактионов Владимир Александрович

кандидат физико-математических наук
Переберин Антон Валерьевич

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук
Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН

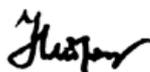
Защита состоится «4» декабря 2009г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 501.001.44 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, расположенном по адресу: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ, 2-й учебный корпус, факультет ВМиК, аудитория 685.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке факультета ВМиК МГУ. С текстом автореферата можно ознакомиться на официальном сайте ВМиК МГУ <http://cs.msu.ru> в разделе «Наука» – «Работа диссертационных советов» – «Д 501.001.44».

Автореферат разослан «_____» ноября 2009г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

профессор



Трифонов Н.П.

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Преобразование частоты кадров (ПЧК) используется при необходимости изменения частоты смены кадров видео сигнала. Такая необходимость возникает в нескольких случаях.

Во-первых, для преобразования между стандартами видео. Наиболее типичным примером является воспроизведение видео с частотой кадров 25 кадров/с на телевизоре с частотой вертикальной развёртки 100 кадр/с и более. Другим примером является необходимость преобразования между двумя широко распространёнными системами телевидения – PAL и NTSC. Система PAL является основной системой цветного телевидения в Европе (кроме Беларуси, Франции и России), Азии, Австралии и ряде стран Африки и Южной Америки. NTSC принята в качестве стандартной системы цветного телевидения в США, Канаде, Японии и ряде стран Северной и Южной Америки. В первой используются частоты 25 и 50 кадров/с, во второй – 30 и 60 кадров/с.

Во-вторых, ПЧК можно использовать при декодировании сжатого видео для восстановления первоначального временного разрешения видео сигнала или повреждённых/потерянных кадров. При кодировании видео с высокими степенями сжатия многие видео кодеки уменьшают разрешение данных не только в пространстве, но и во времени. Иначе говоря, вместо кодирования исходных 30 кадров/с, частота кадров может быть уменьшена до 15 кадров/с. Однако, при воспроизведении видео на стороне декодера весьма желательно получить исходную частоту кадров. Для этого необходим механизм восстановления, в качестве которого может быть использован алгоритм ПЧК.

Кроме этого, ПЧК можно использовать для улучшения визуального качества видео. Частота кадров для видео, снятого например, с мобильного телефона или веб-камеры, составляет, как правило, 15 кадров/с. В этом случае дискретная природа видео (прерывистое движение) заметна для глаз, если в кадре присутствуют движущиеся объекты. Визуальное качество видео может быть значительно повышено путём увеличения частоты кадров.

Существующие алгоритмы ПЧК, обеспечивающее приемлемое визуальное качество, требуют больших вычислительных затрат, что не позволяет их использовать в режиме реального времени и, тем самым, сильно ограничивает их область применения. Помимо этого, недостатком этих алгоритмов является неприемлемый уровень артефактов на видео сценах со сложным движением, характер которого не описывается используемой моделью движения. Таким образом, задача разработки алгоритма ПЧК, необладающего указанными недостатками, является современной актуальной задачей.

Цель диссертационной работы. Целью данной работы является исследование существующих и разработка нового алгоритма преобразования частоты кадров, допускающего его использование в режиме реального време-

ни, а также имеющего уровень артефактов преобразованного видео сигнала ниже или на уровне современных аналогов.

Достижение поставленной цели осуществляется за счет решения следующих задач:

1. Разработка унифицированного критерия точности информации о движении, позволяющего оценивать соответствие векторов движения направлению и скорости реального движения в видео потоке.
2. Исследование существующих и разработка нового алгоритма оценки движения в видео потоке, вычислительно экономного и имеющего более высокую по сравнению с аналогами точность в ровных областях кадра.
3. Исследование существующих и разработка нового алгоритма повышения точности информации о движении, ориентированного для применения в видео сценах со сложным движением.
4. Разработка и реализация программной системы для преобразования частоты кадров видео потока.

Научная новизна. В рамках работ над алгоритмом ПЧК были предложены следующие новые алгоритмы и идеи:

- алгоритм оценки движения (ОД), имеющий более высокую по сравнению с общепризнанными аналогами точность векторов движения в ровных областях и на краях движущихся объектов, при этом вычислительная сложность алгоритма находится на уровне аналогов;
- унифицированный критерий точности информации о движении, который позволяет оценивать степень соответствия найденных параметров движения скорости и направлению реального движения в каждой области кадра;
- алгоритм повышения точности имеющейся информации о движении, позволяющий значительно снизить уровень визуальных артефактов в случаях больших областей в неверно найденными векторами движения, что нехарактерно для современных аналогов с близкой вычислительной сложностью;
- алгоритм поиска и обработки наложений в видео потоке, имеющий более высокую по сравнению с аналогами точность поиска областей наложений и позволяющий находить векторы движения в областях наложений;

Практическая значимость. Все алгоритмы, разработанные в рамках работ над ПЧК, являются новыми и демонстрируют результаты на уровне или выше современных аналогов.

Разработанный алгоритм оценки движения показывает преимущество над наиболее известными и общепризнанными методами E3DRS и FAME по визуальному и объективному (метрика PSNR) критериям. Преимущество предложенного метода подтверждено его использованием в ПЧК, где он также продемонстрировал лучший визуальный и объективный результат. На ранних этапах работы над алгоритмом проводились в рамках контракта с компанией SAIT (Samsung Advanced Institute of Technology) в лаборатории Компьютерной графики и мультимедиа при факультете ВМиК МГУ.

Метод фильтрации векторного поля является универсальным и может быть применён в любых алгоритмах обработки и сжатия видео, использующих информацию о движении. Эффективность разработанного метода подтверждена его использованием в алгоритмах автоматической сегментации и ПЧК. В обоих случаях использование фильтрации векторов позволило заметно повысить интегральное качество работы алгоритма. Прирост качества в обоих случаях подтвержден визуально.

Предложенный метод оценки степени доверия (унифицированный критерий точности информации о движении) найденным векторам движения является частью алгоритма фильтрации векторов, и также универсален. Он может использоваться независимо от алгоритма фильтрации в методах сжатия и обработки видео с целью повышения эффективности использования в них информации о движении. Эффективность разработанного критерия подтверждена на практике использованием его в рамках алгоритма фильтрации векторов в ПЧК.

Предложенный метод поиска и обработки наложений является улучшением алгоритма, предложенного Инсом в 2005 году. Улучшение заключается в повышении точности поиска наложений и добавления метода вычисления векторов движения в областях наложений. Улучшенный алгоритм позволяет добиться более высокого визуального качества за счет уменьшения числа неверно найденных наложений, а также может быть использован в задаче ПЧК благодаря наличию информации о движении для областей наложений.

Разработанный на базе указанных методов алгоритм ПЧК является новым и демонстрирует объективное (по метрике PSNR) и субъективное (согласно экспертной оценке) преимущество над современными аналогами, имея при этом значительно меньшую вычислительную сложность. Схема потока данных алгоритма позволяет использовать параллельную обработку данных, что позволяет добиться более высокой скорости обработки при аппаратной реализации. Работы над этим алгоритмом, включая методы фильтрации векторов и критерия точности информации о движении, проводились в рамках

контрактов с компаниями Samsung Advanced Institute of Technology (SAIT), Real Networks Corp. и Broadcom Corp.

Все разработанные алгоритмы реализованы на языке C/C++ и имеют демонстрационные приложения для ОС Windows.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на:

- 16-й международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению «Graphicon-2006», Россия, Новосибирск, 2006;
- 9-м научно-практическом семинаре «Новые информационные технологии в автоматизированных системах», Россия, Москва, 2006;
- 17-й международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению «Graphicon-2007», Россия, Москва, 2007;
- 10-м научно-практическом семинаре «Новые информационные технологии в автоматизированных системах», Россия, Москва, 2007;
- 18-й международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению «Graphicon-2008», Россия, Москва, 2008;
- международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2008»;
- 12-м научно-практическом семинаре «Новые информационные технологии в автоматизированных системах», Россия, Москва, 2009;
- объединенном семинаре по робототехническим системам ИПИМ им. М.В. Келдыша РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ИНОТиИ РГГУ, Россия, Москва, 2009;

Публикации. По теме диссертации имеется 11 публикаций, из них 1 статья в рецензируемом журнале [A1], 6 статей в сборниках трудов конференций [A2, A3, A4, A5, A6, A7], 3 статьи в сборниках тезисов и статей [A8, A9, A10] и 1 статья в сетевом журнале [A11].

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, приложения и списка литературы. Содержание работы изложено на 164 страницах, приложение занимает 7 страниц. Список литературы включает 61 наименование.

Содержание работы

Во Введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения, описана структура диссертации.

В первой главе представлено описание задачи преобразования частоты кадров (ПЧК), введены основные параметры и термины, рассмотрены три основные под-задачи, определившие архитектуру разработанной программной системы: оценка движения, обработка наложений и маскирование артефактов.

Во второй главе описана задача оценки движения для блочных методов, представлено описание и анализ существующих алгоритмов оценки движения. Описан разработанный алгоритм оценки движения, превосходящий существующие аналоги по объективному качеству и не уступающий им по скорости работы. Представлен сравнительный анализ предложенного алгоритма с существующими подходами с использованием общепринятой методики сравнения на основе метрики PSNR.

В первом параграфе главы рассмотрена постановка задачи оценки движения для блочных методов. Основная идея блочных методов заключается в разбиении кадра на блоки и поиске вектора движения для каждого блока. Поиск осуществляется на основе функции соответствия (меры близости) блоков рассматриваемой пары кадров, примером такой функции является SAD (Sum of Absolute Differences):

$$SAD(\vec{B}_{i,j}, \vec{v}, t_1, t_2) = \sum_{\vec{p} \in B_{i,j}} |I(\vec{p}, t_1) - I(\vec{p} + \vec{v}, t_2)|,$$

$SAD(\vec{B}_{i,j}, \vec{v}, t_1, t_2)$ – значение SAD, вычисленное для пары кадров $I(t_1)$ и $I(t_2)$, блока $\vec{B}_{i,j}$ кадра $I(t_1)$ и вектора \vec{v} .

Во втором параграфе данной главы представлено описание основных классов блочных методов: методы шаблонного поиска, методы иерархического поиска, методы на основе наборов кандидатов, а также комбинированные методы. Детально рассмотрены некоторые общепризнанные алгоритмы: 3DRS, E3DRS и FAME.

В третьем параграфе описан предложенный алгоритм оценки движения. Новый алгоритм сочетает многие приемы FAME (инерционные кандидаты, мера активности движения, адаптивная стратегия уточнения векторов) с переменным разрешением векторного поля и модифицированной функцией соответствия блоков, призванной повысить точность поиска векторов в ровных областях.

Предложенный метод ОД производит разбиение блоков в тех областях, где это необходимо. При разбиении блок делится на 4 равных под-блока и поиск векторов движения производится для каждого из под-блоков. Этот процесс может повторяться и для под-блоков. Анализируются условия необходимости и успешности разбиения. Первое условие определяет блоки, для которых будет выполнено разбиение на под-блоки и поиск вектора для каждого из под-блоков. Второе условие проверяется, чтобы определить дает ли разбиение улучшение точности векторного поля в данном блоке.

Модифицированная функция соответствия блоков вычисляется по формуле:

$$F(\vec{B}, \vec{v}, t, t-1) = SAD(\vec{B}, \vec{v}, t, t-1) \cdot \alpha(f(\vec{v})),$$

где $\alpha(f(\vec{v}))$ – значение, зависящее от числа совпадений вектора \vec{v} с векторами блоков из локальной окрестности текущего блока. Значение $\alpha(f(\vec{v}))$ позволяет скорректировать значение SAD в сторону уменьшения для векторов, которые часто встречаются в локальной окрестности текущего блока, за счет этого повышается точность результирующего векторного поля в ровных областях, где вектора в соседних блоках часто совпадают, а значения SAD (без какой-либо коррекции) не являются хорошим критерием для поиска векторов.

В четвертом параграфе главы представлены результаты сравнительного анализа E3DRS и FAME с разработанным алгоритмом. В сравнении был использован тестовый набор, состоящий из 15 видео последовательностей. Сравнение было проведено по двум методикам: стандартной для методов оценки движения и методике, используемой для сравнения алгоритмов преобразования частоты кадров. Первая методика (методика 1) позволяет оценить точность приближения исходных кадров видео последовательности скомпенсированными, т.е. способность алгоритма оценки движения находить минимум функции соответствия для каждого блока кадра, что важно для применений в области сжатия. Для оценки способности алгоритма оценки движения находить истинные векторы движения, что особенно важно в преобразовании частоты кадров, использовалась вторая методика (методика 2, см. рис. 1).

Вдоль вертикальной оси графика на рис. 1 отложена разница средних значений PSNR методов по сравнению с результатом E3DRS. Легко видеть, что разработанный алгоритм (РАОД) продемонстрировал лучший результат.

Результаты второй главы опубликованы в работах [A8, A10].

В третьей главе описана задача обработки наложений, дана классификация типов наложений, описаны существующие подходы с анализом их положительных и отрицательных характеристик, описан базовый алгоритм, на основе которого построен предложенный метод обработки наложений и представлен сравнительный анализ разработанного алгоритма с существующими

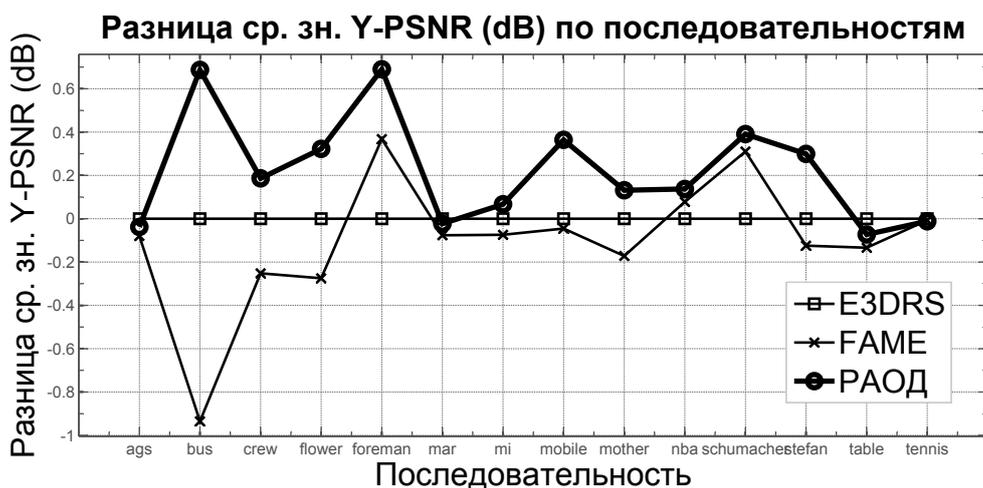


Рис. 1. Разница Y-PSNR для последовательностей тестового набора относительно результата E3DRS: методика 2

с использованием методики на основе метрики PSNR.

В первом параграфе главы дано определение понятия наложение и представлена классификация наложений.

Во втором параграфе описаны некоторые существующие подходы к обработке наложений, проанализированы их достоинства и недостатки.

В третьем параграфе описан базовый метод, на основе которого был разработан предложенный алгоритм.

В четвертом параграфе описывается разработанный алгоритм. Усовершенствование базового подхода, предложенного Инсом в 2005 году, заключается в добавлении нескольких этапов для повышения точности поиска наложений на исходных кадрах, разработке специального метода уточнения маски наложений для интерполированных кадров и алгоритма для вычисления векторов движения в областях наложений. Повышение точности поиска наложений достигается за счет снижения числа ложных срабатываний, которое достаточно велико у базового метода в областях со сложным движением, где часто присутствует большое число неверно найденных векторов.

Число ложных срабатываний уменьшается благодаря анализу значений разработанной меры доверия векторам блоков, лежащих в областях наложений: считается, что наложение в блоке отсутствует, если значение меры доверия вектору в данном блоке выше порога, что говорит о том, что в данном блоке вектор движения был найден достаточно точно. Кроме этого для повышения точности поиска наложений анализируются значения ошибок компенсации для найденных векторов наложений между следующей или предыдущей парой кадров, пара кадров определяется типом наложения. Если значение ошибки компенсации выше порога, вычисляемого адаптивно для каждого блока, то признак наложения сбрасывается в данном блоке, поскольку

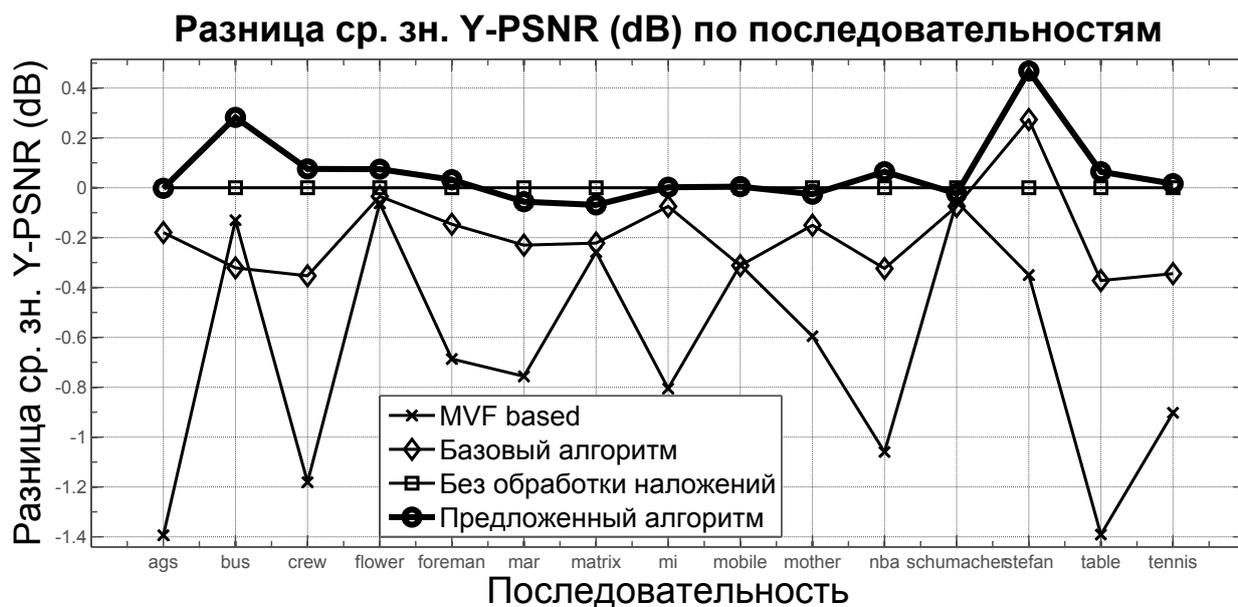


Рис. 2. Изменение качества ПЧК при включении обработки наложений для нескольких алгоритмов обработки наложений

ку вектор был вычислен недостаточно точно. На завершающем этапе маска наложений подвергается морфологической фильтрации.

В пятом параграфе данной главы представлены результаты сравнительного анализа алгоритмов обработки наложений. Тестовый набор видео последовательностей совпадает с набором, использованным при сравнении алгоритмов оценки движения. Эффективность алгоритмов обработки наложений оценивалась на примере их использования в ПЧК. Измерение качества ПЧК было произведено для двух вариантов: без использования и с использованием обработки наложений с помощью одного из методов. В качестве алгоритма ПЧК был использован разработанный метод. В сравнении участвовали следующие алгоритмы: MVF based (предложен Пелаготти в 2001 году), базовый алгоритм и предложенный алгоритм. Результат данного сравнения представлен на рис. 2.

Легко видеть, что обработка наложений методом MVF based и базовым алгоритмом привела к понижению качества ПЧК, в то время, как использование разработанного алгоритма позволило добиться положительного изменения качества (заключенного между ветвями «Предложенный алгоритм» и «Без обработки наложений») на большинстве последовательностей тестового набора.

Результаты третьей главы опубликованы в работах [A7, A2].

В четвертой главе рассматривается задача пост-обработки информации о движении, представлены описание и анализ существующих алгоритмов. Описан разработанный унифицированный критерий точности информации о

движении в видео потоке (мера доверия векторам движения), на основе которого построен новый алгоритм пост-обработки информации о движении, который может применяться в большинстве систем обработки цифрового видео. Приведены результаты анализа эффективности разработанного метода пост-обработки на примере его использования в трех алгоритмах преобразования частоты кадров: двух базовых и предложенном.

В первом параграфе главы описаны некоторые существующие методы пост-обработки информации о движении и проанализированы их характеристики.

Во втором параграфе описан унифицированный критерий точности (мера доверия) $\xi(\vec{B}, \vec{v}, t_1, t_2)$ векторов движения, он вычисляется по формуле:

$$\xi(\vec{B}, \vec{v}, t_1, t_2) = \max\left(w_1 \cdot C_1(\vec{B}, \vec{v}, t_1, t_2) + w_2 \cdot C_2(\vec{B}, t), 0\right).$$

Чем выше значение $\xi(\vec{B}, \vec{v})$, тем выше точность найденного вектора. Первая компонента $C_1(\vec{B}, \vec{v}, t_1, t_2)$ меры зависит от ошибки компенсации $F(\vec{B}, \vec{v}, t_1, t_2)$ вектора \vec{v} в блоке \vec{B} . Вторая компонента $C_2(\vec{B}, t)$ меры определяется характером векторного поля в локальной окрестности текущего блока. Ее значение тем выше, чем больше в локальной окрестности блока \vec{B} векторов, близких к вектору \vec{v} . Значения веса w_1 вычисляется адаптивно для каждого блока и зависит от дисперсии значений яркости этого блока: чем она выше, тем значение w_1 ближе к 1. Таким образом, для блоков с сильно выраженной текстурой первая компонента будет учитываться с бóльшим весом, и наоборот, в ровных областях в первую очередь будет учитываться вторая компонента. Такой способ вычисления меры доверия векторам делает ее универсальной в смысле применимости как в текстурированных, так и в ровных областях кадра.

В третьем параграфе данной главы описан первый этап разработанного алгоритма повышения точности информации о движении – метод фильтрации информации о движении исходных кадров, который применяется к векторным полям, вычисленным на этапе оценки движения. Фильтрация выполняется иерархически от максимального к минимальному размеру блоков, поэтому алгоритм получил название иерархической фильтрации (ИФ). По аналогии с оценкой движения производится анализ условий необходимости и успешности разбиения блоков, однако в данном случае в условиях участвует мера доверия векторам. На основе меры доверия также определяются блоки с неверно найденными векторами, для которых производится поиск более точных векторов, и, в случае неудачи этого поиска, выполняется попытка разбиения.

Алгоритм ИФ является универсальным и может быть использован не только в задаче ПЧК, но и во многих других задачах обработки цифровых

видео сигналов.

В четвертом параграфе описывается второй этап разработанного алгоритма пост-обработки информации о движении – метод фильтрации информации о движении интерполированных кадров. Данный алгоритм предназначен непосредственно для использования в задаче ПЧК. Фильтрация выполняется в два этапа: инициализация векторного поля и фильтрация. На этапе инициализации производится вычисление векторного минимального разрешения для интерполированного кадра (ИК): вектор движения вычисляется для каждого блока максимального размера на ИК. На этапе фильтрации производится поиск всех блоков минимального размера на ИК, вектора движения в которых имеют меру доверия ниже порога. Затем для таких блоков выполняется поиск (на основе меры доверия) более точного вектора. Для блоков, в которых не удалось найти достаточно точных векторов движения, производится попытка обработки наложений. Обработка наложений осуществляется согласно разработанному алгоритму, описанному в 3-й главе диссертации.

Таким образом, на данном этапе обработка производится для двух размеров блоков: минимального и максимального, поэтому этот алгоритм получил название псевдо-иерархической фильтрации (ПИФ). Обработка блоками максимального размера позволяет повысить точность векторного поля в ровных областях, в то время как, обработка на уровне блоков минимального размера повышает точность векторного поля на границах объектов и в детализованных областях.

В пятом параграфе данной главы проводится анализ эффективности разработанных алгоритмов фильтрации векторного поля. Оценка эффективности была произведена для нескольких алгоритмов ПЧК: разработанного алгоритма (РАПЧК), метода МСА (Motion-Compensated Averaging) и DM (Dynamic Median). Качество ПЧК было измерено для всех алгоритмов ПЧК в двух вариантах: без использования и с использованием фильтрации векторных полей.

По оси ординат графика на рис. 3 отложена разница результата с использованием фильтрации и без нее (Б.Ф.) для каждого алгоритма ПЧК. Для разработанного алгоритма изменение качества было измерено для варианта только с ИФ (РАПЧК+ИФ) и варианта с фильтрацией ВП исходных и интерполированных кадров (РАПЧК+ИФ+ПИФ). Легко видеть, что использование фильтрации положительным образом повлияло на результаты всех алгоритмов ПЧК.

Результаты четвертой главы опубликованы в работах [А9, А6, А1].

В пятой главе даны описание и анализ существующих алгоритмов преобразования частоты кадров, описан новый алгоритм, разработанный на базе методов, описанных в предыдущих главах, а также других инновационных подходов и идей. Представлены результаты сравнительного анализа разрабо-

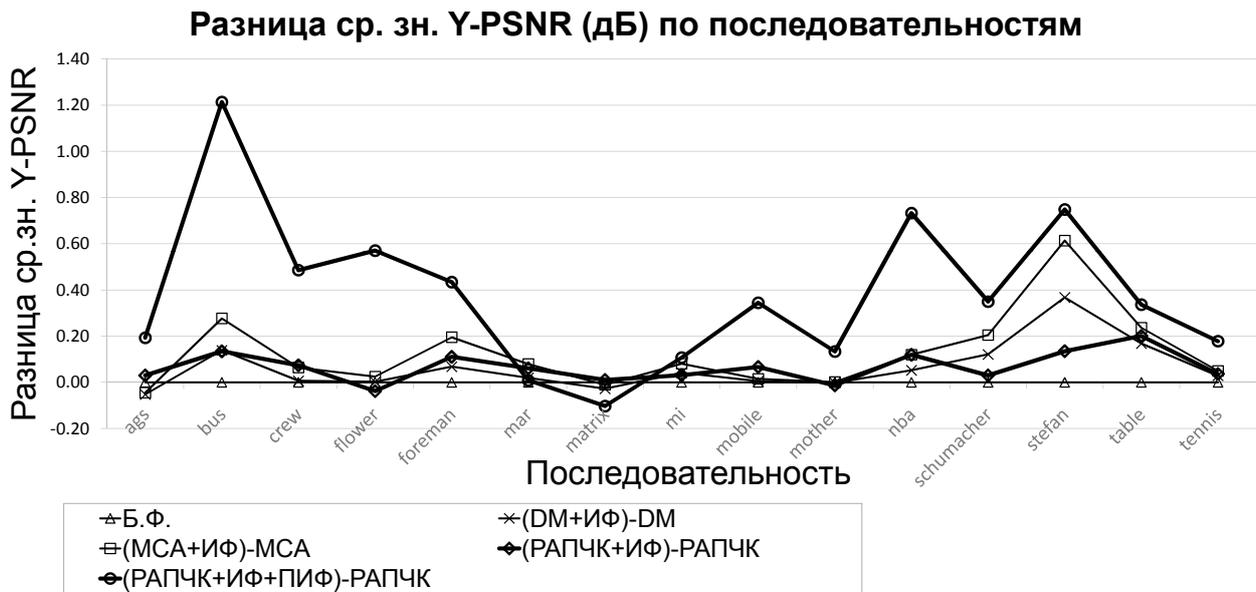


Рис. 3. Изменение объективного качества ПЧК (Y-PSNR) при использовании фильтрации информации о движении

танного алгоритма ПЧК с 10 существующими подходами.

В первом параграфе главы представлены ретроспектива области ПЧК и обзор методов маскирования артефактов. Гибридные методы ПЧК рассмотрены на примере алгоритма из работы Жанга 2008 года, который использует двустороннюю оценку движения с вычислением векторов движения на пиксельном уровне и обработку накладений.

Во втором параграфе главы описан новый алгоритм преобразования частоты кадров. Подробно описывается способ взаимодействия всех разработанных методов в рамках разработанного алгоритма. На основе данного алгоритма реализована программная система, упрощенная схема которой представлена на рис. 4.

В третьем параграфе представлены результаты сравнительного анализа разработанного алгоритма ПЧК с 10 существующими подходами, который включает визуальное сравнение, сравнение по общепризнанной методике на основе PSNR, сравнение на основе экспертной оценки и сравнение по скорости обработки.

Результат сравнения по общепризнанной методике всех методов, кроме гибридных, продемонстрирован на рис. 5. По вертикальной оси отложена разница результата каждого метода по сравнению с результатом DM. Разработанный алгоритм тестировался в режиме переменного размера блоков 4x4-16x16. Легко видеть, что он продемонстрировал лучший результат на большинстве последовательностей.

Результаты экспертного сравнения, проведенного по методике SAMVIQ

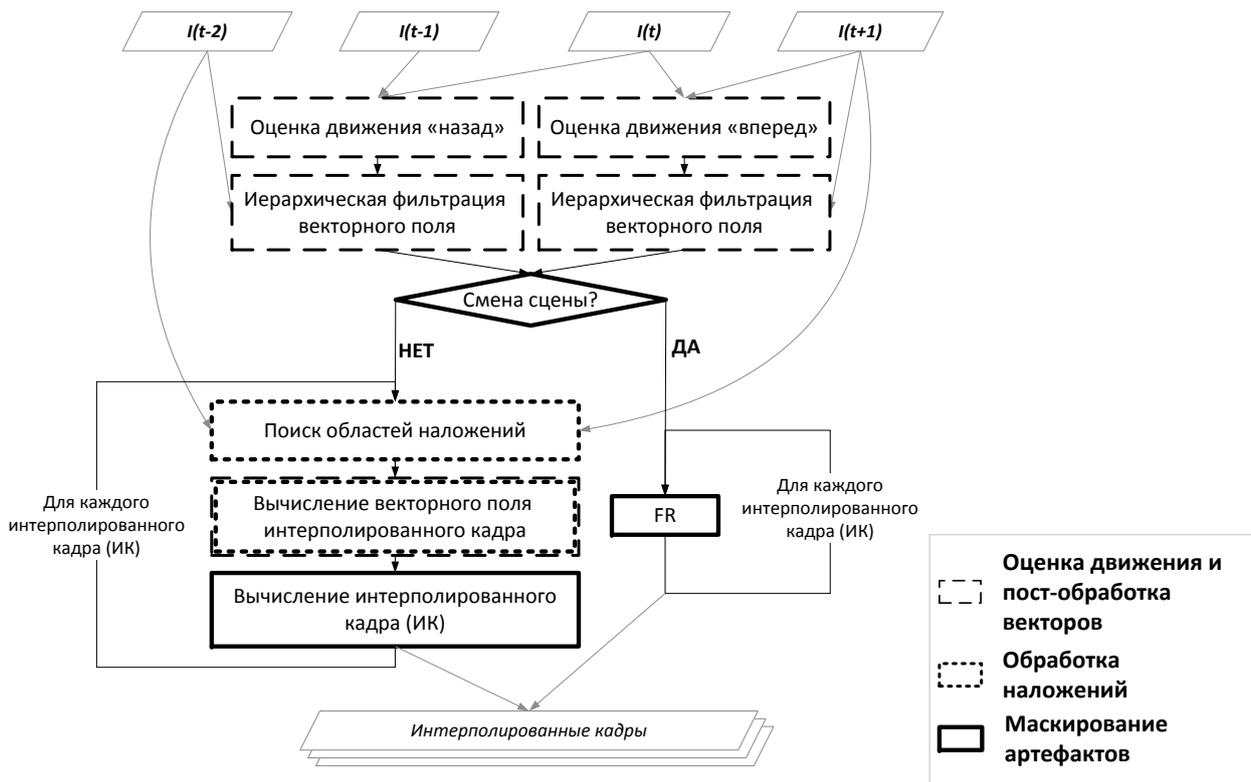


Рис. 4. Упрощенная блок-схема разработанной системы ПЧК

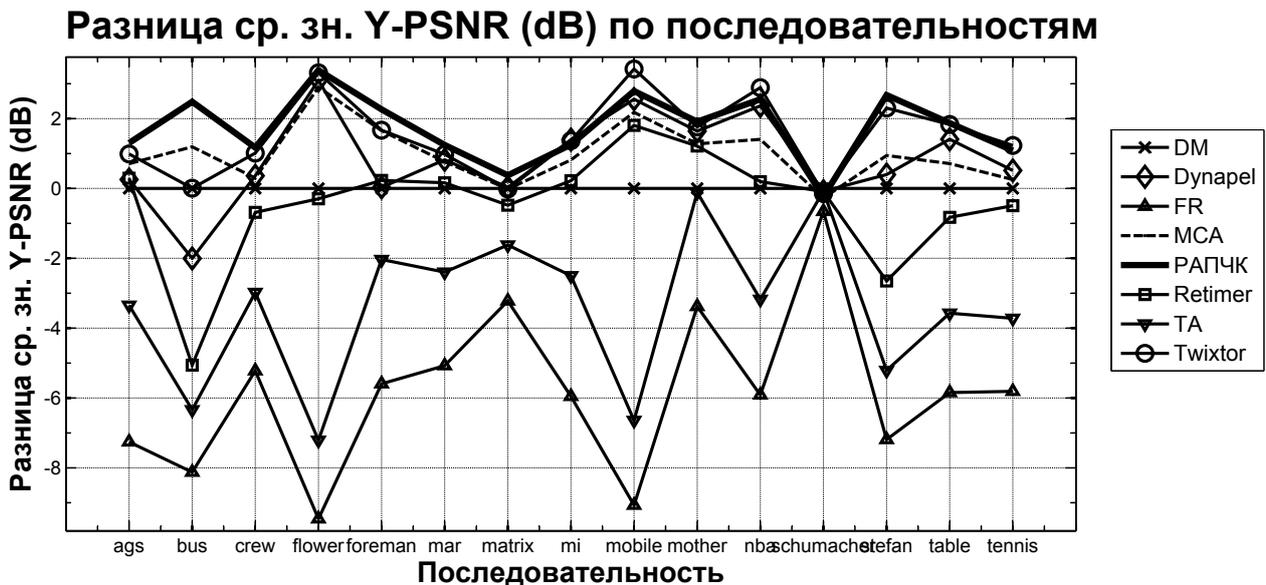


Рис. 5. Разница Y-PSNR для последовательностей тестового набора относительно результата DM

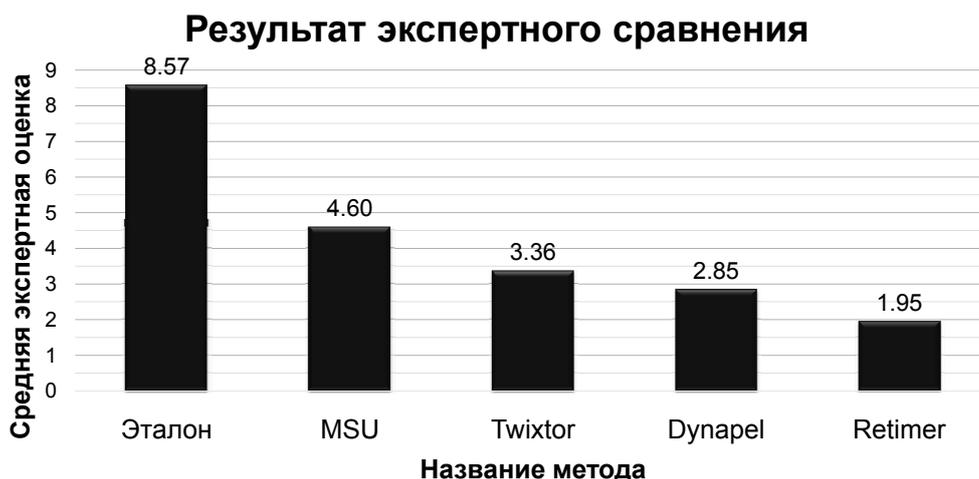


Рис. 6. Результат сравнения по методике SAMVIQ

(Subjective Assessment Method for Video Quality Evaluation), продемонстрированы на рис. 6.

Результаты экспертной оценки подтвердили результат сравнения с использованием Y-PSNR, однако преимущество разработанного алгоритма по сравнению с методом Twixtor больше сравнении по методике SAMVIQ. Это лишь еще раз подтверждает несовершенство метрики PSNR (согласно которой результаты РАПЧК и Twixtor практически одинаковы).

Результаты сравнения доказали, что разработанная система позволяет добиться лучшего визуального качества (средняя экспертная оценка), объективное качество (по метрике PSNR) – немного выше уровня существующих аналогов, при этом скорость системы в несколько раз выше скорости работы ближайших по качеству аналогов.

Результаты пятой главы опубликованы в работах [A2, A11, A3, A4, A5, A1].

В заключении описываются основные результаты работы.

В приложении А представлены таблицы, содержащие результаты сравнений алгоритмов оценки движения, обработки наложений, пост-обработки информации о движении и преобразования частоты кадров.

В приложении Б приведены визуальные примеры работы алгоритмов ПЧК на последовательностях foreman и table.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Разработан новый унифицированный критерий точности информации о движении в видео потоке, который может успешно использоваться во многих системах обработки цифрового видео.
2. Разработан новый алгоритм для вычисления информации о движении в видео потоке, превосходящий существующие аналоги по объективному

качеству, и не уступающий им по скорости работы.

3. Разработан новый алгоритм для повышения точности найденной информации о движении в видео потоке, который может с успехом применяться в большинстве систем обработки цифрового видео.
4. На основе разработанных алгоритмов создана программная система преобразования частоты кадров видео потока, не уступающая по визуальному и объективному качеству известным аналогам, но намного превосходящая их по скорости работы.

Список публикаций

- [A1] *С.В. Гришин, Д.С. Ватолин*. Быстрый алгоритм преобразования частоты кадров // *Программные продукты и системы*. — 2009. — Июнь. — Т. 2. — С. 159–163.
- [A2] *С.В. Гришин, Д.С. Ватолин*. Алгоритм N-кратного увеличения частоты кадров видео на основе пиксельной компенсации движения с обработкой наложений // *Труды конференции Graphicon-2006*. — Новосибирск, Академгородок, Россия: 2006. — Июль. — С. 112–119.
- [A3] *С.В. Гришин, Д.С. Ватолин*. Алгоритм преобразования частоты кадров на основе интерполяции скомпенсированных кадров // *Материалы девятого научно-практического семинара "Новые информационные технологии в автоматизированных системах"*. — Москва: 2006. — Март. — С. 32–46.
- [A4] *С.В. Гришин, Д.С. Ватолин*. Быстрый алгоритм построения промежуточных кадров для многоракурсных стерео дисплеев // *Материалы десятого научно-практического семинара "Новые информационные технологии в автоматизированных системах"*. — 2007. — С. 31–37.
- [A5] *С.В. Гришин, Д.С. Ватолин*. Метод повышения эффективности временной сегментации видео на сценах с медленным движением // *Труды конференции Graphicon-2007*. — Москва, Россия: 2007. — Июнь. — С. 253–256.
- [A6] *K. Simonyan, S. Grishin, D. Vatolin*. Confidence Measure for Block-Based Motion Vector Field // *Proc. Graphicon-2008*. — Moscow: 2008. — June. — Pp. 110–113.

- [A7] *С.В. Гришин, К.А. Симосян, Д.С. Ватолин.* Алгоритм вычисления параметров наложений для задачи преобразования частоты кадров цифровых видеосигналов // *Материалы двенадцатого научно-практического семинара "Новые информационные технологии в автоматизированных системах"*. — Москва: 2009. — Март. — С. 19–29.
- [A8] *К. Симосян, С. Гришин, Д. Ватолин.* Адаптивный метод оценки движения в видео // *Сборник статей молодых ученых факультета ВМиК МГУ.* — 2008. — Т. 5. — С. 112–119.
- [A9] *К. Симосян, С. Гришин.* Метрика доверия векторам движения видео потока // *Сборник тезисов XV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных "Ломоносов-2008"*. — 2008. — Апрель. — С. 79.
- [A10] *С.В. Гришин, Д.С. Ватолин, А.С. Лукин и др.* Обзор блочных методов оценки движения в цифровых видео сигналах // *Тематический сборник "Программные системы и инструменты"*. — 2008. — Декабрь. — Т. 9. — С. 50–62.
- [A11] *С.В. Гришин, Д.С. Ватолин.* Обзор методов преобразования частоты кадров видео // *Сетевой журнал «Компьютерная графика и мультимедиа»*. — 2006. — № 2. <http://www.cgm.computergraphics.ru/content/view/111>.