

Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова

На правах рукописи

Куликов Дмитрий Леонидович

**МЕТОДЫ МАСКИРОВАНИЯ ИСКАЖЕНИЙ
В ВИДЕО ПОТОКЕ ПОСЛЕ СБОЕВ В
РАБОТЕ КОДЕКА**

Специальность 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,
доцент
Баяковский Юрий Матвеевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
доцент
Богуславский Андрей Александрович

кандидат физико-математических наук
Переберин Антон Валерьевич

Ведущая организация: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем
(ГосНИИАС)

Защита состоится «15» мая 2009 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 501.001.44 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова 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 «___» _____ 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
профессор

_____ *Трифонов Н.П.*

Общая характеристика работы

Объект исследования и актуальность темы. С развитием вычислительных мощностей компьютеров всё большее внимание уделяется цифровой обработке сигналов, особенно видео сигналов. С 1998 года, когда впервые было осуществлено вещание цифрового видео, данная область исследований начала бурно развиваться. Сейчас цифровое видео используется практически везде: оптические носители (CD, DVD, BluRay), спутниковое телевидение, передача видео по компьютерным сетям, в том числе в Интернете, видео на мобильных устройствах. Поскольку зачастую видео сигнал представляет собой большой объем данных, то во всех задачах передачи и обработки видео данных используются видео кодеки для кодирования сигнала. При этом в десятки и сотни раз уменьшается объем данных, но увеличиваются внутренние зависимости, которые приводят к заметным визуальным искажениям в видео, при инверсии или потере даже одного бита закодированной информации.

Поскольку почти все способы передачи и хранения закодированного видео сигнала подвержены влиянию искажений, то актуальной становится задача борьбы как с появлением и влиянием этих искажений на видео (помехоустойчивое кодирование, восстановление кодовых слов), так и с последствиями этих искажений (восстановление видео и маскирование искажений). Маскирование визуальных искажений в видео является наиболее универсальным способом борьбы с последствиями ошибок передачи и хранения закодированной видеoinформации, так как в общем случае не зависит ни от типа видео кодека, ни от типа передачи информации и не накладывает никаких ограничений на сам сигнал.

Предлагаемые методы маскирования искажений в видео предназначены для решения нескольких задач: работа в режиме реального времени для улучшения сигнала во время декодирования, работы в режиме постобработки материала, когда основное внимание уделяется качеству обработки, а не скорости. Предлагаемые методы маскирования демонстрируют лучшее визуальное субъективное и объективное качество по сравнению с другими методами. Также предлагается идея специализированной метрики объективного качества видео для оценки визуальной заметности искажений. В этой работе рассмотрено применение методов для маскирования искажений в основном блочной структуры, какие возникают при работе видео кодеков, хотя также возможно применение разработанных методов без существенных доработок и для улучшения визуального качества видео – удаления царапин, пятен и других нежелательных объектов из видео.

Цели и задачи диссертационной работы. Цель настоящей работы – исследование и разработка методов и построение программных средств маскирования искажений в видео, вызванных ошибками передачи или хранения закодированного видео.

В рамках данной работы необходимо решение следующих задач:

1. Исследование и разработка методов пространственного и временного маскирования искажений в видео. Анализ эффективности разработанных методов по сравнению с существующими.
2. Усовершенствование универсальной метрики для оценки качества изображений/видео с учётом задачи маскирования с целью повышения корреляции значений метрики с экспертной оценкой.
3. Разработка программной системы маскирования искажений в видео.

Научная новизна работы. Разработаны новые методы пространственного маскирования искажений: метод разбиения области на подобласти разных классов с учётом их свойств и метод на основе адаптивных словарей и взвешенного восстановления.

Разработаны новые методы временного маскирования: на основе оценки визуальной заметности непрерывности в видео с использованием нового алгоритма поиска кандидатов и нового подхода к оценке их применимости. В метод на основе оптического потока, базирующийся на идее поиска неоднородностей поля векторов и использования этой информации на этапе реконструкции.

Предложен новый подход к усовершенствованию метрики объективного качества видео для адаптации метрики SSIM, позволяющий оценить визуальную заметность специфических искажений, вызванных ошибками передачи закодированного сигнала.

Практическая значимость и реализация. Автором разработаны и реализованы методы, описанные в работе:

1. Метод пространственного маскирования на основе классификации подобластей искажённой области.
2. Метод пространственного маскирования с использованием адаптивных словарей.
3. Метод временного маскирования на основе оценки визуальной заметности искажений вдоль границ области.

4. Метод временного маскирования с использованием оптического потока и поиском неоднородностей поля векторов.
5. Подход к усовершенствованию метрики SSIM для оценки искажений на отдельных кадрах с использованием свойств человеческого глаза и для оценки искажений в видео с использованием анализа векторов движения.

Реализованные методы вошли в программную систему маскирования искажений в видео потоке как части, отвечающие за пространственное и временное маскирование соответственно. Эти части системы маскирования искажений в видео и в изображениях были приобретены компанией-заказчиком RealNetworks для обработки мультимедиа данных.

Метод (1) частично портирован в декодер из набора ffmpeg libavcodec, выбранного на основе сравнительного анализа MPEG-2 декодеров как наилучший для маскирования искажений в результате ошибок передачи.

Адаптированный метод (4) использовался для демонстрации возможностей подходов маскирования при начале работ совместно с Государственным Комитетом по Кинематографии РФ.

Метод (5) реализован в виде динамически подключаемой библиотеки к программной системе автоматической оценки качества видео/изображений MSU Video Quality Measurement Tool¹.

Исследования в области разработки методов маскирования искажений при работе кодека были поддержаны грантом РФФИ №07-01-00759-а («Создание субоптимальной системы кодирования видео в рамках международных стандартов кодирования видеосигналов»).

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на:

- 9-м научно-практическом семинаре «Новые информационные технологии в автоматизированных системах», Москва, 2006;
- 16-й международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению «Graphicon-2006», Россия, Новосибирск, 2006;
- 10-м научно-практическом семинаре «Новые информационные технологии в автоматизированных системах», Россия, Москва, 2007;
- 17-й международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению «Graphicon-2007», Россия, Москва, 2007;

¹http://www.compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool_en.html

- 18-й международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению «Graphicson-2008», Россия, Москва, 2008;
- 12-м научно-практическом семинаре «Новые информационные технологии в автоматизированных системах», Россия, Москва, 2009;
- семинаре по компьютерной графике и мультимедиа под руководством Ю.М. Баяковского (ф-т ВМиК МГУ);
- Объединённом семинаре по робототехническим системам под руководством А.К. Платонова, Ю.Ф. Голубева и В.Е. Пряничникова (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН);
- семинаре кафедры Автоматизации систем вычислительных комплексов факультета ВМиК МГУ под руководством член-корр. РАН Л.Н. Королева.

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 11 печатных работах [1–11], из них 2 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК [7, 10], 8 статей в сборниках трудов конференций и семинаров [1–5, 8, 9, 11] и 1 тезис доклада [6].

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложения. Содержание работы изложено на 153 страницах, приложение занимает 11 страниц. Список литературы включает 117 наименований.

Содержание работы

Во введении формулируются цели и задачи диссертации, показывается актуальность, научная новизна и практическая значимость работы. Описывается структура диссертации.

В первой главе описываются причины возникновения ошибок в видео материале, их типы и влияние на визуальное качество видео. Дается общая схема работы видео кодека, описываются подходы к обнаружению ошибок и проводится их сравнение. Дается описание механизмов уменьшения влияния ошибок на видео, основанных как на предотвращении ошибок, так и на методах маскирования или восстановления сигнала. Также в этой главе объясняется разделение методов маскирования на пространственные и временные.

Во второй главе описываются методы пространственного маскирования искажений, в том числе два разработанных метода для работы в режиме реального времени и задач высококачественной постобработки. Проводится сравнительный анализ разработанных и существующих методов при помощи объективных метрик качества и экспертной оценки.

В первой части данной главы описывается постановка задачи пространственного маскирования искажений.

Во второй части данной главы проводится классификация и даётся обзор существующих и используемых методов пространственного маскирования искажений, приводятся основные идеи, лежащие в их основе. Рассматриваются методы маскирования на основе поиска образцов, методы на основе реконструкции и комбинированные методы. Обсуждаются преимущества и недостатки каждого из классов методов.

В третьей части рассматривается разработанный метод пространственного маскирования искажений, основанный на классификации областей изображения и обработке каждого класса специализированным алгоритмом маскирования. Такой подход позволяет повысить скорость работы высококачественных, но вычислительно сложных алгоритмов за счёт их применения только к отдельным областям изображения. Данный метод позиционируется как метод для работы в режиме реального времени на этапе декодирования видео.

Данный метод при работе производит классификацию подобластей обрабатываемого изображения на три класса:

- текстурные области;
- структурные области;
- структурные области с ярко выраженной доминантной границей.

Схема предложенного метода показана на рис. 1.

На вход методу подаётся искажённый кадр и поточечная маска искажений. Сначала производится двухэтапная классификация известных (не искажённых) областей кадра: на первом этапе на основе анализа дисперсии яркости (цветности) происходит разделение областей на структурные (гладкие области с плавными цветовыми переходами) и прочие, которые на основе анализа силы границ классифицируются на текстурные (области с высокой энергией границ) и структурные с границами.

Далее происходит предсказание типа неизвестной области на основе классифицированных известных соседних подобластей. После этого неизвестные области в соответствии с предсказанным классом обрабатываются одним из алгоритмов: генерация текстуры, маскирование структуры, заполнение вдоль границ.

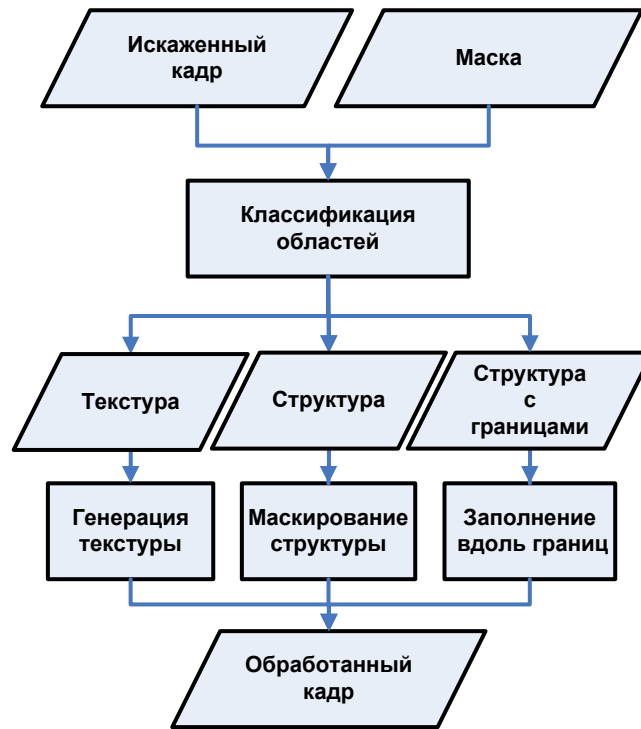


Рис. 1. Схема предложенного метода на основе классификации

Для предсказания класса неизвестной области по соседним известным областям используются следующие эвристические подходы с анализом соседних областей:

1. Если все соседние области классифицированы как структурные, значит неизвестная область также структурная.
2. Если все соседние области классифицированы как структурные и структурные с границами, при этом хотя бы одно продолжение доминантной границы соседних областей пересекает неизвестную область, то она отмечается как структурная с границами.
3. Если не выполняются предыдущие пункты и среди соседних областей есть текстурная область, то неизвестная область также текстурная.
4. Если не выполняются предыдущие пункты и среди соседних областей есть структурные области и структурные с границами и структурных с границами больше, чем структурных, то искажённая область отмечается как структурная с границами, иначе – структурная.

После этого неизвестные области в соответствии с предсказанным классом обрабатываются одним из алгоритмов маскирования искажений: генерация текстуры, маскирование структуры, заполнение вдоль границ.

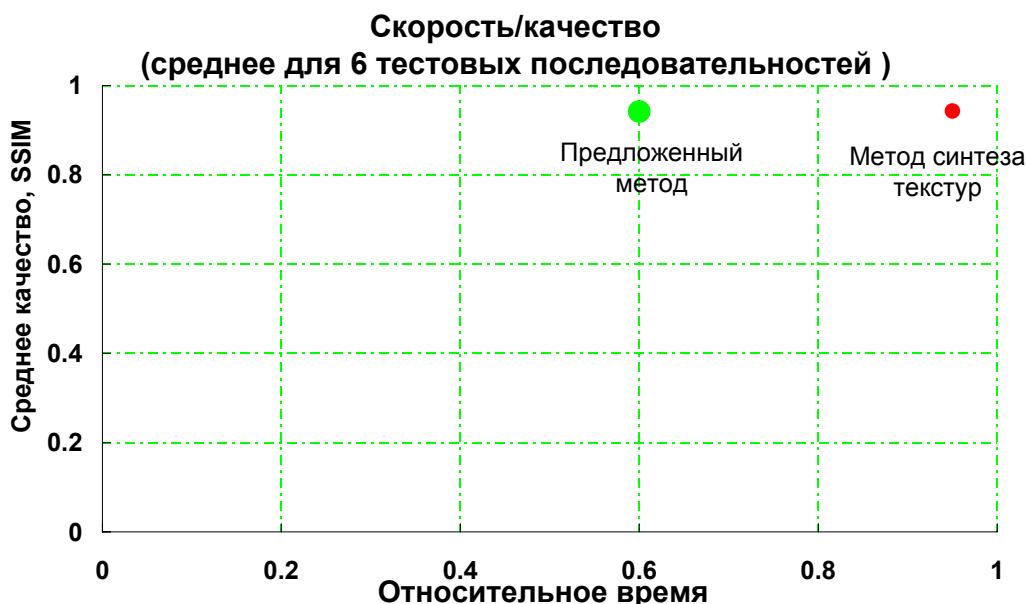


Рис. 2. Сравнение разработанного метода на основе классификации с методом непараметрического синтеза текстур

В результате визуальное и объективное качество работы данного метода сравнимо с методом непараметрического синтеза текстуры, который, в свою очередь, обладает более высоким качеством, чем метод маскирования структуры, метод восстановления вдоль границ и метод декомпозиции. При этом разработанный метод обладает более высокой скоростью обработки (см. рис. 2) и предлагается для обработки видео в режиме реального времени.

В четвёртой части даётся описание разработанного метода пространственного маскирования искажений на основе разложения изображения по адаптивному словарю и проведения обратного преобразования для блоков, содержащих как известные, так и неизвестные пиксели, с использованием коэффициентов, найденных для известных частей блока.

На первом шаге происходит построение словаря на основе предыдущих неискажённых кадров видео последовательности. Для этого используется алгоритм построения адаптивных словарей². Для представления сигнала $y \in \mathbb{R}^n$ используется словарь (матрица) $D \in \mathbb{R}^{n \times K}$ и стоит задача нахождения коэффициентов разложения x таких, что $\min_x \|x\|_0, \|y - Dx\|_2 \leq \varepsilon$. Для решения задачи выбирается начальный словарь, например, ДКП, далее происходит итеративная операция адаптации словаря и поиска коэффициентов.

На втором шаге для блоков, содержащих как неизвестные пиксели, так и известные пиксели в количестве выше порогового значения, происходит поиск коэффициентов разложения с использованием построенного на первом шаге

²М. Aharon, М. Elad, А. Bruckstein. K-SVD: An Algorithm for Designing Overcomplete Dictionaries for Sparse Representation // Signal Processing, IEEE Transactions on — 2006.— Vol. 54, no. 11.— Pp. 4311–4322.

словаря и только для известных пикселей. Для каждого блока вычисляется степень доверия, обратно пропорциональная точности разложения по словарю. Далее для всех пикселей блока происходит обратное преобразование с найденными коэффициентами. Для того, чтоб избежать отдельных пиксельных выбросов, все поблочные операции происходят для блоков с максимальной степенью наложения.

Данный метод обеспечивает высокое качество обработки по сравнению с анализируемыми известными методами пространственного маскирования и предлагается в качестве метода постобработки видео.

В пятой части рассматриваются вопросы реализации разработанных методов пространственного маскирования искажений.

В шестой части приводятся некоторые результаты проведённого сравнительного анализа разработанных и существующих методов пространственного маскирования искажений. Для данного анализа используются как объективные метрики качества (SSIM), так и экспертная оценка (методика SCACJ³ от ITU-R⁴). Для анализа с использованием объективных метрик качества видео проводится как анализ высокоскоростных методов маскирования, которые возможно применять для обработки видео в режиме реального времени, так и анализ всех методов для возможного их применения для постобработки видео. На графике, показанном на рис. 3, приведён пример сравнения на основе экспертной оценки. Разработанные методы имеют префикс MSU в названии. Tsyn – метод непараметрического синтеза текстур, ExBl – поиск экземпляров с приоритетами, TSPB – блочный синтез текстур, WtBl – маскирование при помощи взвешенных сумм.

Результаты второй главы и промежуточных разработок опубликованы в работах [3, 4, 7, 9].

В третьей главе описываются методы временного маскирования искажений в видео, использующие для обработки текущего кадра помимо пространственной информации, также и временную, то есть информацию из предыдущего или в общем случае из опорного кадра. Также предлагается два разработанных метода и проводится сравнительный анализ разработанных и существующих методов.

В первой части описывается постановка задачи временного маскирования и её отличие от задачи пространственного маскирования.

Во второй части данной главы проводится классификация и даётся обзор существующих и используемых методов временного маскирования искажений. Приводятся основные идеи, лежащих в основе методов, и рассматриваются результаты их работы. Рассматриваются методы маскирования через

³ITU-T BT 500.11.— Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures., 2002.

⁴Радиокоммуникационный сектор Международного Телекоммуникационного Союза, International Telecommunication Union

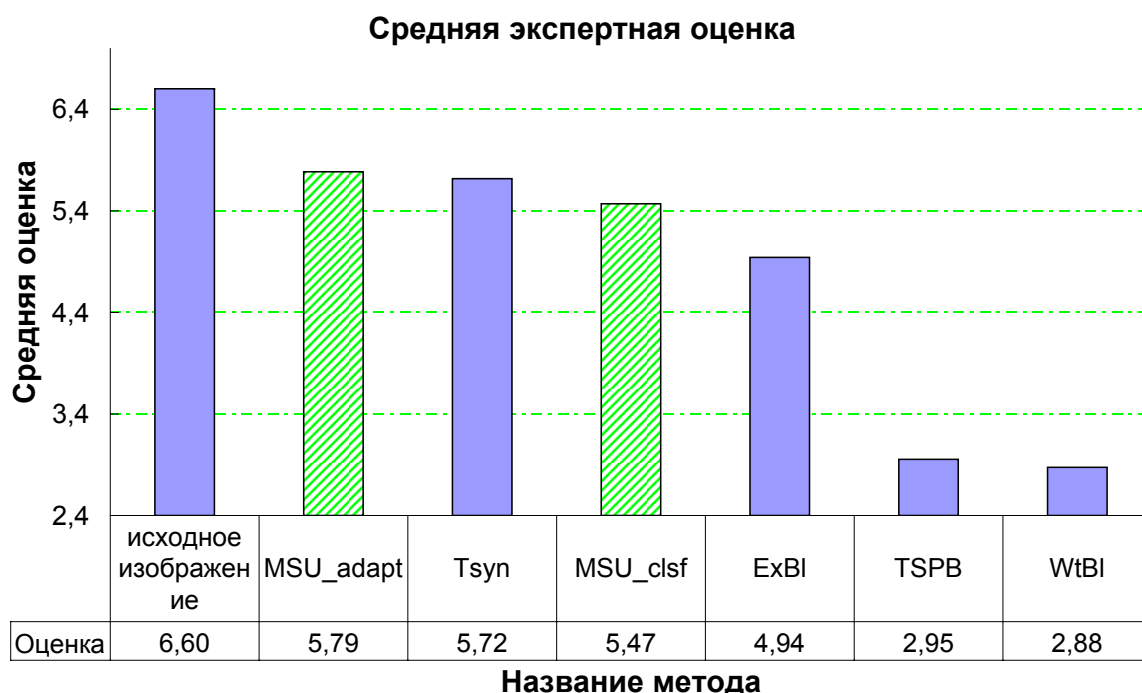


Рис. 3. Экспертная оценка методов пространственного маскирования

сопоставления границ и с помощью реконструкции векторов движения. Обсуждаются преимущества и недостатки каждого из классов методов.

В третьей части даётся описание метода для работы в режиме реального времени и основанного на поиске блоков-кандидатов в опорном кадре для замены искажённых блоков в текущем кадре.

Данный метод работает по следующей схеме: искажённый кадр, предыдущий кадр и маска ошибок подаются на вход гибричному алгоритму маскирования, который выбирает в предыдущем кадре блок-кандидат, с минимальным значением функции ошибки. Далее данный кандидат используется в оценке качества обработки на основе вычисления ошибки вдоль границ блока-кандидата и сравнении с соответствующими ошибками для соседних блоков. Если для данного кандидата получена ошибка, превышающая заданное пороговое значение, то используется другой алгоритм временного маскирования с меньшей ошибкой вдоль границ, который в общем случае производит результат более низкого визуального качества, но при этом данный результат обладает более низкой заметностью границ вдоль блоков. После этого вновь производится оценка величины ошибки вдоль границ. Если и в этом случае ошибка превышает заданное пороговое значение, это означает, что временные методы не могут обеспечить необходимого визуального качества (например, из-за смены сцены, либо из-за превышения длины вектора движения размера области поиска кандидатов) и в этом случае используется пространственный алгоритм восстановления для данного блока.

В четвёртой части рассматривается метод временного маскирования искажений, основанный на анализе оптического потока и реконструкции векторов движения. На рис. 4 показана схема предложенного метода.



Рис. 4. Схема метода временного маскирования на основе анализа оптического потока

Искажённый кадр, предыдущий кадр и маска ошибок подаются на вход алгоритму построения оптического потока. Данный алгоритм находит вектор движения для каждого пикселя из окрестности неизвестной области. Для построения оптического потока может использоваться любой алгоритм, обладающий приемлемой точностью, в том числе и алгоритмы, основанные на первоначальном приближении векторов для каждого пикселя при помощи вектора для блока пикселей, который доступен декодеру. В предложенном методе для построения оптического потока используется метод Лукаса-Канаде. Это двухкадровый дифференциальный метод, в основе которого лежит предположение о неизменности или слабом изменении интенсивности или цвета пикселя между двумя кадрами. Т.е. выполняется условие:

$$I(x, y, t) = I(x + \delta x, y + \delta y, t + \delta t), \quad (1)$$

где $I(x, y, t)$ – яркость пикселя с координатами (x, y) в момент времени t . Далее правая часть уравнения (1) может быть представлена при помощи ряда Тейлора:

$$I(x + \delta x, y + \delta y, t + \delta t) = I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} \delta x + \frac{\partial I}{\partial y} \delta y + \frac{\partial I}{\partial t} \delta t + \dots \quad (2)$$

Откуда следует, что:

$$\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\delta x}{\delta t} + \frac{\partial I}{\partial y} \frac{\delta y}{\delta t} + \frac{\partial I}{\partial t} \frac{\delta t}{\delta t} = 0.$$

Что приводит к следующему уравнению:

$$\frac{\partial I}{\partial x} V_x + \frac{\partial I}{\partial y} V_y + \frac{\partial I}{\partial t} \delta t = 0, \quad (3)$$

где V_x, V_y – x, y -компоненты скорости оптического потока $I(x, y, t)$, а $\frac{\partial I}{\partial x}, \frac{\partial I}{\partial y}$ и $\frac{\partial I}{\partial t}$ – производные изображения в точке (x, y, t) в соответствующих направлениях.

Для решения этого уравнения с двумя неизвестными необходимо ввести дополнительные ограничения на оптический поток. Таким ограничением может являться следующее – поток (V_x, V_y) можно считать постоянным в окне $m \times m$ пикселей, где $m > 1$, нумеруя пиксели $1 \dots n, n = m^2$, получается следующая переопределённая система уравнений:

$$\begin{aligned} I_{x_1} V_x + I_{y_1} V_y &= -I_{t_1} \\ \dots & \\ I_{x_n} V_x + I_{y_n} V_y &= -I_{t_n} \end{aligned} \quad (4)$$

или

$$A \vec{v} = -b. \quad (5)$$

Для решения используется метод наименьших квадратов:

$$\begin{aligned} A^T A \vec{v} &= A^T (-b) \\ \vec{v} &= (A^T A)^{-1} A^T (-b) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum I_{x_i}^2 & \sum I_{x_i} I_{y_i} \\ \sum I_{x_i} I_{y_i} & \sum I_{y_i}^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\sum I_{x_i} I_{t_i} \\ -\sum I_{y_i} I_{t_i} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Для ускорения работы метода вычисления производных проводится для разных разрешений – сначала для грубого приближения, затем производятся уточнения. На выходе алгоритма получается оптический поток. Для поставленной задачи необходимо вычислить оптический поток только вблизи границы неизвестной области.

Далее полученное поле векторов фильтруется с целью отсека ошибочно найденных векторов. Для фильтрации применяется анализ векторов как на основе ошибок компенсации

$$\xi_i = \sum_{(x_j, y_j) \in \theta(x_i, y_i)} |I(x_j, y_j, t) - I(x_j + mv_i^x, y_j + mv_i^y, t - 1)|, \quad (8)$$

так и на основе расстояний между кластерами векторов

$$\sigma_i = \frac{\sum_{j \in \theta(i), |C_j| > 1} \sqrt{(mv_i^x - mv_j^x)^2 + (mv_i^y - mv_j^y)^2}}{\sum_{j \in \theta(i), |C_j| > 1} 1}, |C_i| = 1. \quad (9)$$

После этого ошибочные вектора заменяются на взвешенную сумму правильно найденных соседей, где весами служат значения, обратно пропорциональные ошибкам компенсации:

$$mv_i^{new} = \frac{\sum_{j \in \theta(i), \xi_j \leq \bar{\xi}} mv_j / \xi_j}{\sum_{j \in \theta(i), \xi_j \leq \bar{\xi}} 1 / \xi_j}. \quad (10)$$

После фильтрации происходит поиск неоднородностей (разрывов) векторного поля. Для найденных векторов производится оценка степени доверия. Далее для пар векторов с высокой степенью доверия проводится сравнительный анализ на разницу в расстоянии между векторами

$$\rho(mv_i, mv_j) = \sqrt{(mv_i^x - mv_j^x)^2 + (mv_i^y - mv_j^y)^2} \geq \bar{\rho} \quad (11)$$

и расстояние в цветовом пространстве

$$\rho_{color}(mv_i, mv_j) = |I(x, y) - I(x + 1, y)| \geq \bar{\rho}_{color}. \quad (12)$$

Далее осуществляется интерполяция найденных разрывов на внешней границе искажённой области внутрь области, после чего производится реконструкция векторов движения в соответствии с найденными и интерполированными неоднородностями. После реконструкции векторов движения для каждого пикселя искажённой области происходит компенсация движения, при которой каждый пиксель текущего кадра внутри области заменяется на пиксель опорного кадра в соответствии с вектором движения. Данный метод предлагается использовать для постобработки видео.

Пятая часть посвящена вопросам реализации разработанных методов временного маскирования искажений.

В шестой части приводятся некоторые результаты проведённого сравнительного анализа разработанных и существующих методов временного маскирования искажений. Для данного анализа используются как объективные метрики качества (SSIM), так и экспертная оценка (методика SAMVIQ⁵ от EBU⁶).

Оба разработанных метода показывают как высокое объективное качество по сравнению с другими анализируемыми методами, так и высокую экспертную оценку. На графике, показанном на рис. 5, разработанные методы имеют префикс MSU в названии.

⁵Steinmann V. Sunna P. Wyckens E Kozamernik, F. SAMVIQ—A New EBU Methodology for Video Quality Evaluations in Multimedia // SMPTE motion imaging journal.— 2005.— Vol. 114, no. 4.— Pp. 152–160. и EBU-UER BNP 056 : SAMVIQ – Subjective Assessment Methodology for Video Quality.

⁶Европейский Вещательный Союз, European Broadcasting Union

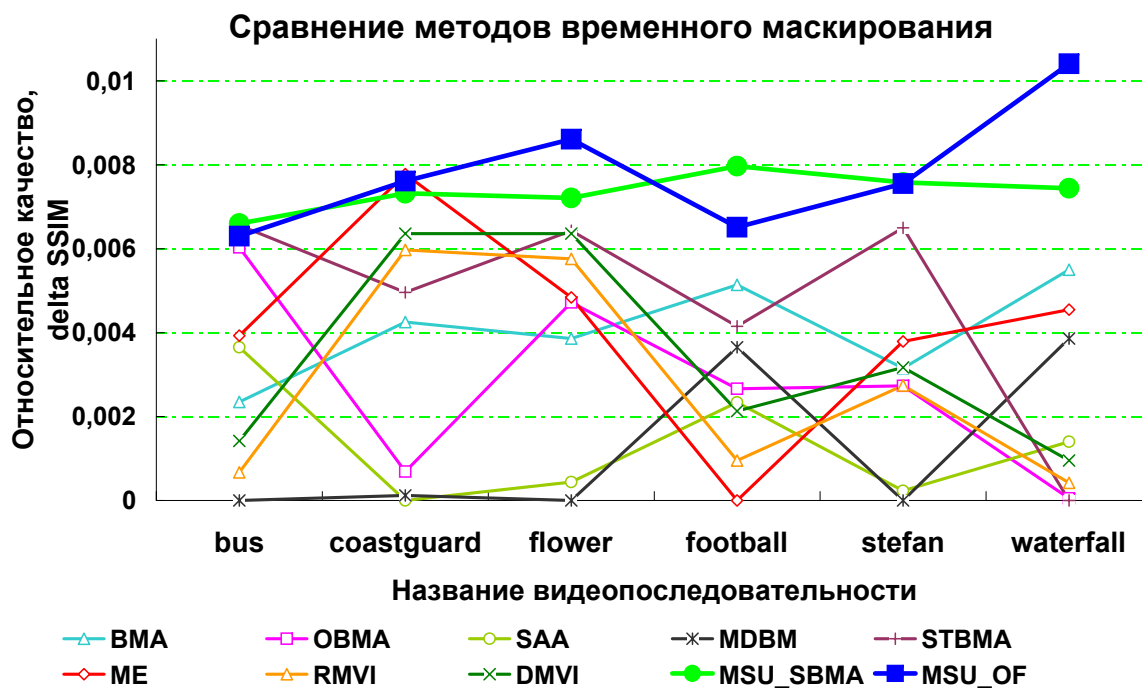


Рис. 5. Сравнение методов временного маскирования с помощью объективной метрики

Результаты третьей главы и промежуточных разработок опубликованы в работах [1, 5, 6, 8, 10].

В четвёртой главе даётся классификация подходов к измерению качества видео, описываются используемые метрики качества. Проводится анализ метрик качества для задачи маскирования искажений и предлагается подход для адаптации метрики объективного качества SSIM с целью повышения корреляции с экспертными оценками для данной задачи.

В первой части описывается постановка задачи и даётся обзор методов измерения качества видео. Рассматриваются как объективные, так и субъективные методы. Среди методов с использованием объективных метрик качества видео рассматриваются методы с исходной видео последовательностью и без исходной видео последовательности. Также описывается связь между объективными и экспертными тестами.

Во второй части Приводятся результаты анализа адекватности распространённых метрик качества PSNR и SSIM. Показываются недостатки данных метрик.

В третьей части проводится анализ недостатков существующих подходов и предлагается идея усовершенствования метрики SSIM для оценки искажений в пространственной области на основе объединения метрики с оценкой, использующей спектральный анализ и функцию чувствительности глаза к контрасту, для того, чтобы скорректировать значения метрики с учётом свойств глаза. Для этого предлагается при оценке близости двух изображений в метрике учесть дополнительные факторы, влияющие на процесс

восприятия человеком изображения, а именно: маскирующие свойства фона и различную восприимчивость человеческого глаза в зависимости от характеристик самого изображения, а не только разницы между изображениями, также предлагается учитывать ещё и гладкость блоков.

В четвёртой части предлагается идея усовершенствования метрики SSIM для оценки искажений во временной области. Для этого используется анализ векторов движения в маскированной области, при этом учитывается как отклонения векторов, так и ошибка компенсации. Предложено при оценке степени близости двух видео последовательностей с использованием метрики SSIM дополнительно оценивать постоянство характеристик маскируемой области на основе анализа силы отклонения векторов в исследуемых блоках по отношению к опорному кадру для исходной и обработанной видео последовательности.

Результаты четвёртой главы опубликованы в работе [11].

В заключении описываются основные результаты работы.

В приложении А описываются используемые подходы к оценке качества видео при помощи объективных метрик и при помощи экспертных оценок на основе методик SCACJ от ITU-R и SAMVIQ от EBU.

В приложении Б описываются результаты практического применения разработанных методов в реальных кодеках. Объясняется выбор кодека для модификации. Также даётся описание проведённого сравнительного анализа, результатов работы исходного кодека и модифицированного и приводятся результаты данного анализа. Подробное описание метода тестирования и выбора кодека приведено в работе [2].

В приложении В описываются общая схема программной системы маскирования искажений в видео на основе разработанных методов.

Основные результаты работы состоят в следующем:

1. Разработаны два метода пространственного маскирования искажений: на основе классификации подобластей неизвестной области и с использованием адаптивных словарей со взвешивающими коэффициентами. Разработанные методы обеспечивают более высокое качество обработки по сравнению с известными методами.
2. Разработаны два метода временного маскирования с использованием нескольких кадров: на основе функции поиска кандидатов и оценки степени искажений вдоль границ области и метод с использованием оптического потока и поиска неоднородностей поля векторов. Разработанные методы обеспечивают более высокое качество обработки, чем известные методы.

3. Предложен и практически применён подход к усовершенствованию объективной метрики качества видео, повышающий корреляцию значений метрики с экспертной оценкой.
4. На основе предложенных методов разработана и реализована программная система для восстановления видео с использованием алгоритмов маскирования искажений.

Список публикаций

- [1] *Д. Куликов, Д. Ватолин.* Обнаружение и заполнение статических инородных областей в видео на примере удаления логотипов и сбоев при ошибках передачи // материалы девятого научно-практического семинара «Новые информационные технологии в автоматизированных системах». — Москва: Март 2006. — С. 13–23.
- [2] *Д.Л. Куликов, Д.С. Ватолин.* Оценка качества работы видео декодеров стандарта MPEG-2 при работе в ненадежной среде передачи данных // Труды конференции Graphicon-2006. — Новосибирск, Академгородок: 1–4 Июля 2006. — С. 367–370.
- [3] *Д. Куликов, Д. Ватолин.* Метод пространственного заполнения испорченных областей видео при ошибках в работе кодека // Материалы десятого научно-практического семинара «Новые информационные технологии в автоматизированных системах». — Москва: 2007. — С. 38–45.
- [4] *К.Н. Стрельников, Д.Л. Куликов, А.С. Лукин.* Построение и применение модели зерна пленки на основе спектральных образцов // Труды конференции Graphicon-2007. — Москва, Россия: 23–27 Июня 2007. — С. 248–252.
- [5] *Dmitriy Kulikov.* Spatio-Temporal Error Concealment Scheme Using Hybrid Algorithm with Postprocessing // Proceedings Graphicon-2008. — Moscow: June 2008. — Pp. 106–110.
- [6] *Sergey Putilin, Dmitriy Kulikov.* Low-Complexity Video Watermarking Using Mean Block Luminance Quantization // Proceedings Graphicon-2008. — Moscow: June 2008. — P. 302.
- [7] *К. Стрельников, Д. Куликов.* Система моделирования окружения управляемой камеры на основе анализа и обработки видеоданных // Программные продукты и системы. — 2008. — Т. 3. — С. 66–69.

- [8] Д. Л. Куликов. Временной метод маскирования искажений в видео на основе обработки оптического потока // *Программные системы и инструменты. Тематический сборник*. — 2008. — Т. 9. — С. 63–73.
- [9] Д. Л. Куликов. Метод удаления искажений в видео на основе адаптивных словарей // *Материалы I-ой Межвузовской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Новые технологии и инновационные разработки»*. — Тамбов: Издательство Чеснокова А. В., 2008. — С. 9–13.
- [10] Д. Л. Куликов. Пространственно-временной алгоритм маскирования искажений в видео при ошибках передачи // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. — 2009. — Т. 1. — С. 8–14.
- [11] Д. Л. Куликов. Модификация объективной метрики качества SSIM для оценки искажений при временном маскировании // *Материалы двенадцатого научно-практического семинара «Новые информационные технологии в автоматизированных системах»*. — Москва: Московский государственный институт электроники и математики, 2009. — С. 3–8.