

На правах рукописи



Калистратов Дмитрий Сергеевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ КОМПЕНСАЦИИ ДВИЖЕНИЯ В
ЦИФРОВЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯХ**

Специальность:

05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Тула 2015

Работа выполнена на кафедре радиоэлектроники ФГБОУ ВПО Тульский государственный университет (ТулГУ).

Научный руководитель: Минаков Евгений Иванович доктор технических наук, доцент (ТулГУ).

Официальные оппоненты: Есиков Олег Витальевич, доктор технических наук, профессор. ОАО «ЦКБА» г. Тула, главный специалист отдела перспективных разработок.

Труфанов Максим Игоревич, кандидат технических наук, доцент. ФГБУ науки Центра информационных технологий в проектировании Российской академии наук, заведующий лабораторией.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Москва.

Защита состоится «01» июля 2015 г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д212.025.04 при ФГБОУ ВПО Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д.87, ВлГУ, ФРЭМТ, корп.3, ауд. 301-3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета ВлГУ и на сайте <http://www.vlsu.ru>.

Автореферат разослан «09» апреля 2015 г.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, ВлГУ, ФРЭМТ.

Ученый секретарь диссертационного совета
д.т.н., профессор
Самойлов Александр Георгиевич



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность работы. Основной предпосылкой возникновения и развития цифрового телевидения стала возможность теоретического улучшения таких параметров эффективности телевизионных систем, как качество изображения, энергоёмкость, помехоустойчивость, надёжность и компактность. Поскольку обеспечение данных преимуществ потребовало значительных вычислительных затрат, практическое воплощение систем цифрового телевидения стало возможным только с появлением высокопроизводительных вычислительных устройств с высокой тактовой частотой и большими объемами памяти.

Значительный вклад в развитие цифровых телевизионных технологий внесли такие отечественные учёные, как Поляков А. Ю., Серов А. В., Безруков В.Н., Карякин В.Л.. Активным развитием способов обработки и кодирования цифровых видеоизображений заняты и зарубежные учёные, здесь наиболее значимыми являются достижения «экспертной группы по движущимся изображениям» (MPEG-4).

Одной из ключевых и перспективных задач в области цифрового телевидения является кодирование динамических видеоизображений. Высокая популярность видеокодирования обусловлена возможностью передачи по каналам связи кодов малого объёма, которые ставятся в соответствие исходному развёрнутому изображению большого объёма. Устройства, обеспечивающие сжатие информации, называют видеокодеками. Однако, сильное сжатие информации сопровождается большими временными затратами, а также искажением изображений вследствие неидеальности математических преобразований цифровых видеоизображений. Иными словами, между глобальными параметрами эффективности работы видеокодеков возникают ситуации, когда при улучшении одних параметров ухудшаются другие и наоборот. В частности, актуальной является задача существенного повышения скоростных качеств моделей видеокодеков при незначительных снижениях объёмов кадровых кодов и качества декодируемых изображений применительно к областям моновидеокодирования и стереовидеокодирования.

Исходя из этого, **научной задачей**, решаемой в диссертационной работе, является разработка эффективных способов кодирования цифровых динамических видеоизображений и перспективных моделей видеокодеков на их основе.

Объектом исследования является видеокодек - устройство для сжатия информации, представляющее собой пару взаимодополняющих подсистем - кодера и декодера, выполняющих, соответственно, прямые и обратные преобразования видеоизображения.

Предметом исследования являются способы компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях.

Целью работы является повышение скоростных показателей видеокодеков на основе разработки эффективных способов компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях.

Поставленная цель достигается решением следующего комплекса взаимосвязанных задач:

1. Исследование существующих способов компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях и моделей видеокодеков на их основах.
2. Разработка улучшенных способов компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях.
3. Разработка перспективных моделей видеокодеков на базах указанных способов.
4. Проведение структурного синтеза и сравнительного анализа существующих и разработанных моделей видеокодеков.

Методы исследований, используемые в диссертации, включают методы математической физики, методы теории множеств, методы теории вероятности, методы линейной алгебры и аналитической геометрии, методы дифференциального и интегрального исчисления, методы теории обыкновенных дифференциальных уравнений и теории дифференциальных уравнений в частных производных, а также методы компьютерного моделирования.

Основные положения, выносимые на защиту, характеризующие основные достижения диссертационной работы, состоят в следующем:

1. Результаты исследований существующих способов компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях и моделей видеокодеков на их основах.

2. Разработанные улучшенные способы компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях.

3. Разработанные прикладные модели видеокодеков на базах указанных способов.

4. Результаты сравнительного анализа существующих и разработанных моделей видеокодеков.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработаны способы компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях, использующие сочетание поисковых алгоритмов компенсации движения с аппроксимацией движения кадровых проекций физическими законами движения пространственных объектов.

2. Разработаны оригинальные архитектуры перспективных моделей видеокодеков, направленные на повышение их скоростных показателей.

Практическая ценность диссертации определяется разработанными моделями видеокодеков, обеспечившими при работе в режиме реального времени существенное увеличение пропускной кадровой способности видеокодека в среднем на 10-20% на фоне незначительных снижений показателей объёмов кадровых кодов и качества декодируемых изображений в среднем на 1-2% по сравнению с существующими аналогичными моделями.

Достоверность результатов диссертационной работы определяется следующими факторами:

- количеством и результатами проведённых экспериментальных исследований;

- хорошим совпадением результатов экспериментальных исследований с теоретическими исследованиями.

Личный вклад автора. Результаты исследования получены автором лично, из них основными являются:

1. Разработанные способы компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях.
2. Разработанные прикладные модели видеокодеков на базах указанных способов.

Реализация результатов работы.

Разработанные в ходе исследования программное средство для анализа моделей видеокодеков и комплекс лабораторных работ на его основе внедрены в учебный процесс на кафедре «Радиоэлектроника» в Тульском государственном университете. Способы обработки динамических видеосигналов, а также узлы цифровых телевизионных систем, разработанные по результатам исследований, были внедрены на предприятии ОАО Машиностроительный завод «Штамп» имени Б.Л. Ванникова для визуального контроля технологического процесса производства в режиме реального времени.

Апробация работы.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на следующих конференциях: IX Всероссийская научно – техническая Интернет - конференция. Тула, 2012 г., 20-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов. «Микроэлектроника и информатика – 2013» - Москва: МИЭТ, 2013 г., XVIII Международная научно-практическая конференция - Новосибирск, 2014 г., Международная научно-практическая конференция – Уфа, 2014 г.

Основное содержание работы отражено в 20 публикациях, включающих 1 авторскую монографию, 10 статей, из них 5 – в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 заявки о выдаче патента на изобретение, 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, 6 докладов на международных и российских НТК.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырёх разделов и заключения, изложенных на 113 страницах основного текста и содержащих 27 рисунков, 5 таблиц, списка литературы из 62 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Введение. Во введении диссертации раскрываются следующие положения: актуальность темы исследования, степень её разработанности, цель и задачи исследования, научная новизна и практическая ценность исследования, методы исследования, положения, выносимые на защиту, а также степень достоверности и апробация исследований.

Глава 1. В данной главе проанализирована архитектура распространённых моделей видеокодеков, проведен обзор существующих способов компенсации движения в цифровых динамических изображениях и выявлены недостатки указанных способов, осуществлен выбор прототипных способов компенсации движения и моделей видеокодеков на их основах.

Обзор существующих способов компенсации движения в цифровых динамических изображениях показал, что наиболее времязатратным звеном существующих моделей видеокодеков в областях моновидеокodирования и стереовидеокodирования является компенсатор движения, работающий на основе долгих алгоритмов поиска схожих областей изображений, как показано на рисунке 1.

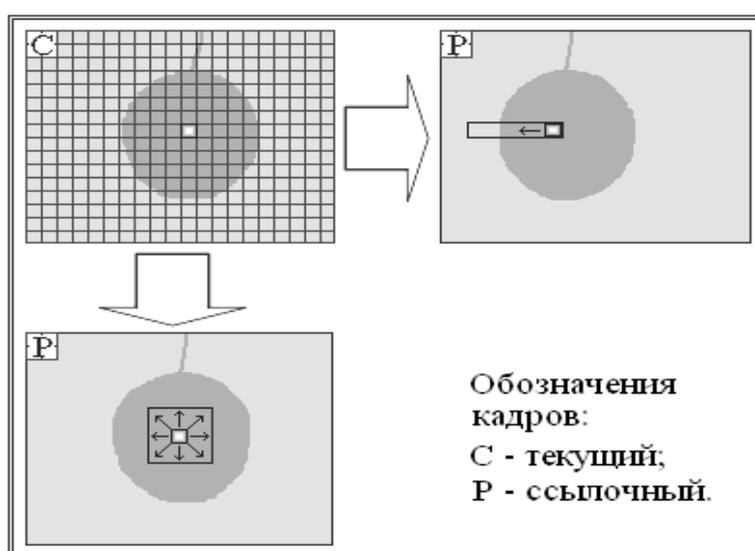


Рисунок 1. Принцип поискового алгоритма компенсации движения

При этом весь текущий кадр, в одном из частных случаев, изначально логически разбивается на фрагменты квадратной формы и одинакового размера, называемые макроблоками. Для каждого подвижного макроблока в рамках предыдущего кадра ищется его наилучшее совпадение. Для области стереовидеокодирования прогнозный поиск для макроблока текущего кадра может проводиться также в рамках параллельного кадра стереопары.

В качестве критерия сходства макроблока и его предполагаемого прогноза используется одна из вероятностных характеристик, такая, например, как среднее абсолютное отклонение их яркостных компонентов:

$$E = \frac{1}{mbs^2} \sum_{i=1}^{mbs} \sum_{j=1}^{mbs} |C_{i,j} - P_{i,j}|, \quad (1)$$

где: E – значение критерия сходства макроблока и его прогноза; $C_{i,j}$, $P_{i,j}$ – значения яркости пикселей макроблока и его прогноза; mbs – размерность макроблока в пикселах; i, j – индексы пикселей макроблока. Подсчёт значений таких вероятностных характеристик занимает значительное количество машинного времени. Как следствие, при работе видеокодека в режиме реального времени на стороне декодирования нарушается плавность воспроизведения изображений. Таким образом, использование времязатратных поисковых алгоритмов компенсации движения является основным недостатком существующих моделей видеокодеков.

Глава 2. В данной главе для области моновидеокодирования был синтезирован улучшенный способ компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях и предложена архитектура модели видеокодека на базе указанного способа.

В теоретическую основу способа было положено сочетание поисковых прогнозных алгоритмов компенсации движения с аппроксимацией движения кадровых фрагментов физическими законами движения реальных объектов. Для

анализа и прогнозирования движения в динамических видеоизображениях было получено следующее опорное уравнение:

$$a_1 \frac{\partial u}{\partial t} + a_2 \frac{\partial u}{\partial x} + a_3 \frac{\partial u}{\partial y} = 1, \quad (2)$$

$$u = f(t, x, y), \quad b = f(t, x, y),$$

где: u – скорость движения макроблоков; t – время; x, y – абсцисса и ордината макроблоков; a_1, a_2, a_3 – коэффициенты аппроксимации движения макроблоков; b – входное воздействие. Данным уравнением охватывается крупное множество подвижных объектов, включающее два подмножества объектов изменяемой и неизменяемой геометрической формы. На уровне изображений, как показывает рисунок 2, в случае наличия объекта неизменяемой формы, части его

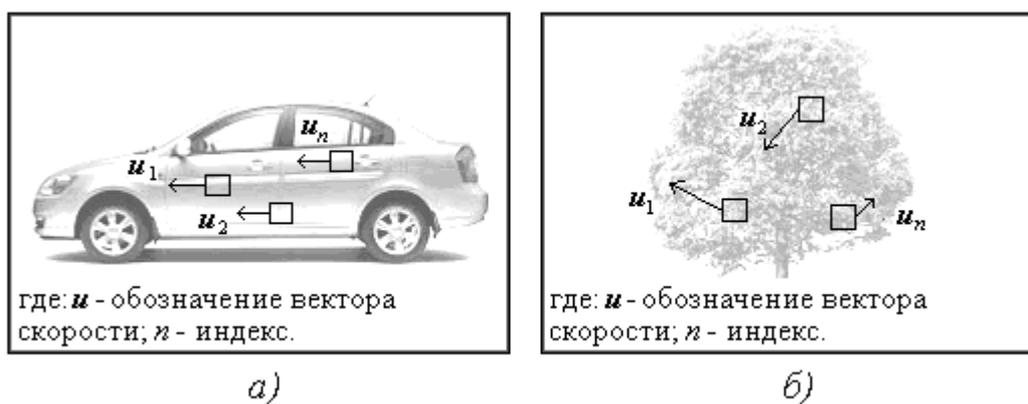


Рисунок 2. Примеры пространственных объектов: a – неизменяемой формы; b – изменяемой формы

проекции движутся согласованно (как единое целое) с одной скоростью и в одном направлении, а сама проекция не меняет (или почти не меняет) геометрическую форму на плоскости. В случае же объекта изменяемой формы фрагменты его проекции движутся несогласованно (хаотично), что приводит к изменению геометрической формы проекции.

Разработанное техническое решение направлено на выявление и ускоренную обработку только проекций объектов неизменяемой геометрической формы,

движение которых легко анализировать и прогнозировать. В соответствии с теоретической основой решения, часть подвижных макроблоков кадра обрабатывается с применением аппроксимации движения. Используется два вида аппроксимации движения: системная и индивидуальная. При этом кадр логически разбивается на крупные (системные блоки) и мелкие блоки (макроблоки), как показано на рисунке 3. Движение групп макроблоков отслеживается и прогнозируется в рамках более крупных системных блоков, а движение отдельных макроблоков анализируется индивидуально на макроблочном уровне.



Рисунок. 3. Двухуровневая блочная организация кадра

Формула для расчета скоростей движения вложенных в системный блок макроблоков в рамках системной аппроксимации движения по фиксированной координатной оси выглядит следующим образом:

$$a_{g,h,1} \frac{u_{t,x,y} - u_{t-1,x,y}}{T_t - T_{t-1}} + a_{g,h,2} \frac{u_{t,x,y} - u_{t,x-1,y}}{X_{x,y} - X_{x-1,y}} + a_{g,h,3} \frac{u_{t,x,y} - u_{t,x,y-1}}{Y_{x,y} - Y_{x,y-1}} = 1, \quad (3)$$

где: u – скорость движения макроблока; $a_{g,h,1}$, $a_{g,h,2}$, $a_{g,h,3}$ – коэффициенты аппроксимации движения макроблоков в рамках системного блока; g, h – индексы текущего системного блока; t – индекс временной кадровой отметки; x, y – индексы текущего макроблока; T – массив временных кадровых отметок; X –

массив координат макроблоков по оси абсцисс; Y – массив координат макроблоков по оси ординат.

На второе и третье слагаемые левой части указанного уравнения наложены ограничения, которые позволяют выделять среди всех проекций только проекции неизменяемой формы, для которых указанные слагаемые теряют вес:

$$\left(a_{g,h,2} \frac{u_{t,x,y} - u_{t,x-1,y}}{X_{x,y} - X_{x-1,y}} \rightarrow 0 \right) \wedge \left(a_{g,h,3} \frac{u_{t,x,y} - u_{t,x,y-1}}{Y_{x,y} - Y_{x,y-1}} \rightarrow 0 \right) \wedge \left(\frac{u_{t,x,y} - u_{t-1,x,y}}{T_t - T_{t-1}} \approx \frac{u_{t,x,y} - u_{t,x-1,y}}{X_{x,y} - X_{x-1,y}} \approx \frac{u_{t,x,y} - u_{t,x,y-1}}{Y_{x,y} - Y_{x,y-1}} \right). \quad (4)$$

Для расчёта трёх коэффициентов системной аппроксимации движения в рамках каждого системного блока по каждой координатной оси составляется система из трёх уравнений, в которой коэффициенты играют роль неизвестных, а значения частных производных рассчитываются предварительно, опираясь на временные отметки двух предыдущих кадров, на данные трёх вложенных опорных макроблоков, а также на данные их соседей:

$$\begin{cases} a_{g,h,1} \frac{u_{t-1,x1,y1} - u_{t-2,x1,y1}}{T_{t-1} - T_{t-2}} + a_{g,h,2} \frac{u_{t-1,x1,y1} - u_{t-1,x1-1,y1}}{X_{x1,y1} - X_{x1-1,y1}} + a_{g,h,3} \frac{u_{t-1,x1,y1} - u_{t-1,x1,y1-1}}{Y_{x1,y1} - Y_{x1,y1-1}} = 1, \\ a_{g,h,1} \frac{u_{t-1,x2,y2} - u_{t-2,x2,y2}}{T_{t-1} - T_{t-2}} + a_{g,h,2} \frac{u_{t-1,x2,y2} - u_{t-1,x2-1,y2}}{X_{x2,y2} - X_{x2-1,y2}} + a_{g,h,3} \frac{u_{t-1,x2,y2} - u_{t-1,x2,y2-1}}{Y_{x2,y2} - Y_{x2,y2-1}} = 1, \\ a_{g,h,1} \frac{u_{t-1,x3,y3} - u_{t-2,x3,y3}}{T_{t-1} - T_{t-2}} + a_{g,h,2} \frac{u_{t-1,x3,y3} - u_{t-1,x3-1,y3}}{X_{x3,y3} - X_{x3-1,y3}} + a_{g,h,3} \frac{u_{t-1,x3,y3} - u_{t-1,x3,y3-1}}{Y_{x3,y3} - Y_{x3,y3-1}} = 1, \end{cases} \quad (5)$$

где: $x1,y1$ – индексы первого опорного макроблока; $x2,y2$ – индексы второго опорного макроблока; $x3,y3$ – индексы третьего опорного макроблока.

Формула для расчета скорости движения макроблока в рамках индивидуальной аппроксимации движения по фиксированной координатной оси выглядит следующим образом:

$$a_{x,y,0} \frac{u_{t,x,y} - u_{t-1,x,y}}{T_t - T_{t-1}} = 1, \quad (6)$$

где: $a_{x,y,0}$, – коэффициент индивидуальной аппроксимации движения текущего макроблока. При этом предварительный расчет коэффициента индивидуальной аппроксимации движения макроблока проводится согласно формуле:

$$a_{x,y,0} \frac{u_{t-1,x,y} - u_{t-2,x,y}}{T_{t-1} - T_{t-2}} = 1. \quad (7)$$

Указанные формулы системной и индивидуальной аппроксимаций движения применяются поочередно к обеим осям плоскостной системы координат, после чего заполняются аппроксимационные векторы смещений макроблоков.

Алгоритм прогнозирования движения для разработанного способа, общий принцип которого продемонстрирован на рисунке 4, представляется следующими действиями. Сразу после расчёта значений аппроксимационных векторов смещений для каждого макроблока проверяется ограничение на значение критерия сходства макроблока и его прогноза в рамках ссылочного кадра в положении, на которое указывает найденный вектор аппроксимационного смещения. Если найденное прогнозное положение макроблока не удовлетворяет

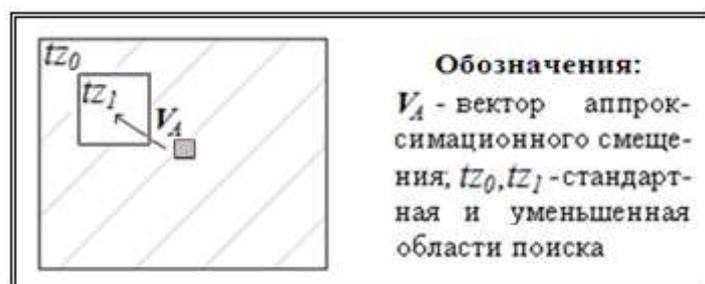


Рисунок 4. Принцип построения алгоритма компенсации движения

условию этого критерия, то применение аппроксимации движения к такому макроблоку аннулируется. Положение же тех макроблоков, для которых

выполняется условие прогнозного сходства, дополнительно уточняется в небольшой окрестности найденного аппроксимационного положения посредством применения короткого поискового алгоритма с сильно уменьшенной областью поиска. Математическая модель для разработанного алгоритма компенсации движения для фиксированного макроблока выглядит следующим образом:

$$E = \frac{1}{mbs^2} \sum_{i=1}^{mbs} \sum_{j=1}^{mbs} |C_{i,j} - P_{i,j}|,$$

$$(E > erg) \Rightarrow (P \in tz_0),$$

$$(E \leq erg) \Rightarrow (P \in tz_1),$$

$$(tzs_1 \ll tzs_0),$$
(8)

где: *erg* – коррекционный уровень критерия качества прогноза; *tz₀, tz₁* – стандартная и уменьшенная области поиска прогноза; *tzs₀, tzs₁* – размерности стандартной и уменьшенной областей поиска прогноза. На основе проведённых исследований было выявлено, что время обработки макроблока, попавшего в механизм аппроксимации движения, оказывается в десятки раз меньше, чем время его стандартной обработки через полновесные поисковые алгоритмы. Между тем, согласно экспериментальным данным, как показано на рисунке 5, во введённые алгоритмы аппроксимации движения попадает до половины всех подвижных макроблоков кадра.

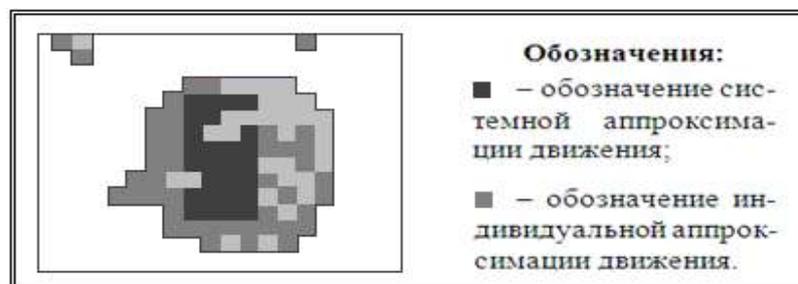


Рисунок 5. Применение аппроксимации движения

Глава 3. Данная глава посвящена расширению разработанного способа компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях применительно к области стереовидеокодирования.

В ходе своего расширения способ кодирования был дополнен косвенной пространственной аппроксимацией движения, согласно которой, как показано на рисунке 6, по кадрам стереопар восстанавливается геометрическая форма пространственной стереовидеоповерхности, через анализ движения которой, в свою очередь, прогнозируется характер поведения проекций в кадровых плоскостях стереопар.

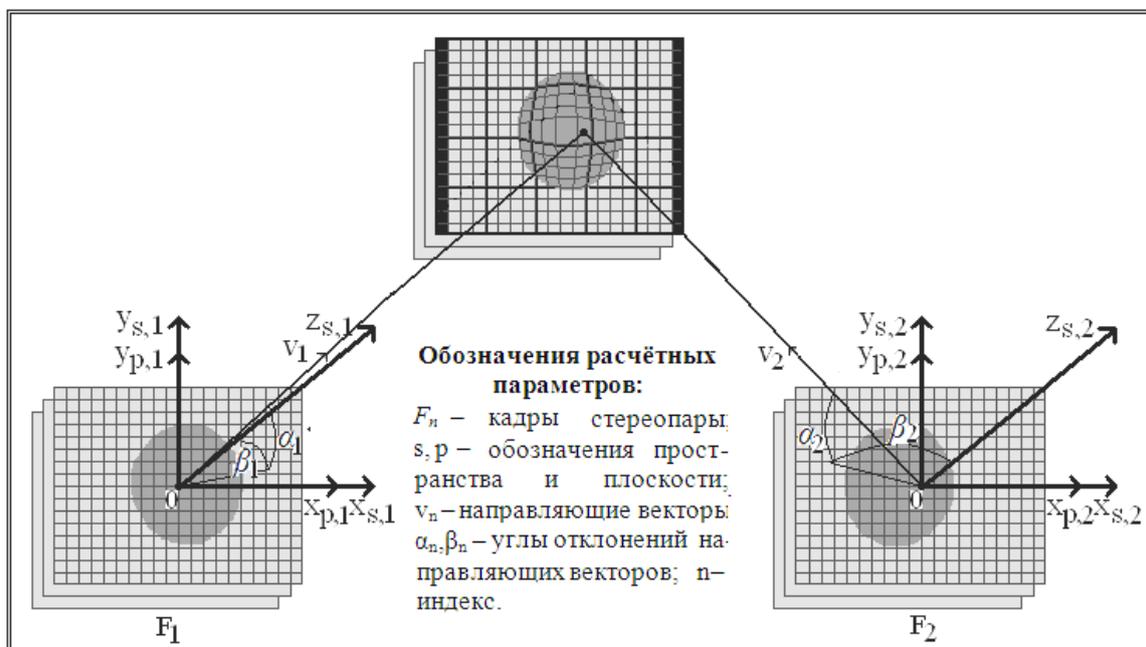


Рисунок 6. Общий принцип геометрической реконструкции пространственной поверхности

Геометрическая реконструкция пространственной поверхности осуществляется на основе формулы прямого перехода от плоскостей кадровых изображений к пространству. Данная формула для отдельно взятого, фиксированного макроблока левого кадра выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= y_{p,1} k_2, & \alpha_2 &= y_{p,1} k_2, \\ \beta_1 &= -x_{p,1} k_1, & \beta_2 &= -(x_{p,1} + w_p) k_1, \end{aligned} \quad (9)$$

где: p – идентификатор плоскости; α_1, α_2 – вертикальные углы отклонений направляющих векторов; β_1, β_2 – горизонтальные углы отклонений направляющих векторов; $x_{p,1}, y_{p,1}$ – плоскостные координаты макроблока в левом кадре; k_1, k_2 – коэффициенты пространственно-плоскостного перехода; w_p – горизонтальное рассогласование положений макроблока и его прогноза в кадрах стереопары. Дополнением этой формулы служит формула обратного перехода от пространства к плоскости, которая для фиксированного макроблока имеет вид:

$$\begin{aligned} x_{p,1} &= -\beta_1/k_1, & x_{p,2} &= -\beta_2/k_1, \\ y_{p,1} &= \alpha_1/k_2, & y_{p,2} &= \alpha_2/k_2. \end{aligned} \quad (10)$$

Представленные формулы в совокупности позволяют переходить от плоскостей кадровых изображений к пространству и обратно.

Глава 4. Данная глава посвящена сравнительному анализу моделей видеокодеков на базах существующих аналогичных и улучшенных разработанных способов компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях.

В качестве критериев эффективности работы моделей видеокодеков были выбраны следующие: общее время работы видеокодека, общий объём кодов экспериментального видеопотока, а также среднее абсолютное отклонение кодируемого и декодированного сигналов, трактуемое как ошибка передачи изображения.

Устройство реализации экспериментов и диаграмма сравнительного анализа моделей видеокодеков по выбранным параметрам качества в относительных величинах и по принципу отношения параметра (P_P) разработанной модели к параметру (P_A) аналогичной модели представлены на рисунках 7 и 8.



Рисунок 7. Экспериментальная установка

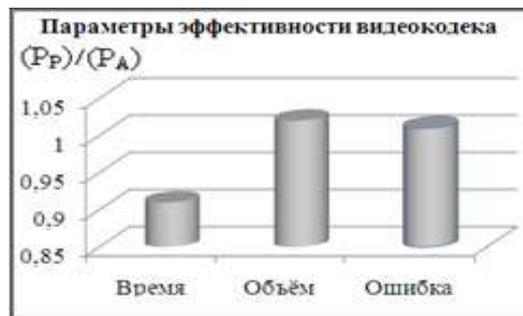


Рисунок 8. Сравнительная диаграмма

Согласно усреднённым экспериментальным данным, разработанные способы компенсации движения увеличили пропускную кадровую способность моновидеокодеков на 10-20%, а стереовидеокодеков на 5-10%, при незначительных снижениях показателей объёмов кадровых кодов и качества декодируемых изображений в обоих случаях примерно на 1-2%.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ РАБОТЫ

В результате теоретических и экспериментальных исследований была решена **научная задача**, включающая разработку эффективных способов кодирования цифровых динамических видеоизображений и разработку перспективных моделей видеокодеков на их основе, применительно к областям моновидеокодирования и стереовидеокодирования.

Основные научные и практические результаты работы, большинство которых получено автором самостоятельно и могут быть использованы при создании перспективных моделей видеокодеков, состоят в следующем:

1. Исследованы существующие способы компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях и модели видеокодеков на их основах. Выявлены ключевые особенности и недостатки указанных моделей.
2. Разработаны способы компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях, использующие сочетание поисковых алгоритмов компенсации движения с аппроксимацией движения кадровых проекций физическими законами движения пространственных объектов.

3. Разработаны модели видеокодеков, построенные на базах указанных способов компенсации движения и обеспечившие при работе в режиме реального времени существенное увеличение пропускной кадровой способности видеокодеков в среднем на 10-20% при незначительных снижениях значений показателей объёма кадрового кода и качества декодируемого изображения в среднем на 1-2% по сравнению с существующими аналогичными моделями.

4. Проведены структурный синтез и сравнительный анализ моделей видеокодеков на базах существующих и разработанных способов компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях, подтвердившие эффективность разработанных способов.

Список работ по теме диссертации:

Монография

1. Калистратов, Д.С. Видеокодирование. Способы компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях: монография / Д.С. Калистратов. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2014. – 96 с.

Публикации в изданиях из перечня ВАК

2. Калистратов, Д.С. Режимы формирования кадровых прогнозов в компенсаторах движения видеообъектов / Е.И. Минаков, Д.С. Калистратов // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.11 Ч.2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. С. 188–193.

3. Калистратов, Д.С. Метод формирования бинарной кадровой маски движения / Е.И. Минаков, Д.С. Калистратов // Цифровая обработка сигналов, – 2013. – № 1 – С. 34–37.

4. Калистратов, Д.С. Метод ускоренной геометрической стабилизации изображений видеосигнала нестационарного источника аэровидеосъёмки / И.Е. Агуреев, Е.И. Минаков, Д.С. Калистратов // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.11 Ч.2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. – С. 238–244.

5. Калистратов, Д.С. Методы геометрической реконструкции пространственной стереовидеоповерхности / Е.И. Минаков, Д.С. Калистратов // Вестник компьютерных и информационных технологий, – 2014. – № 11 – С. 25–27.

6. Калистратов, Д.С. Применение гибридных аналогово-цифровых систем для повышения эффективности телевизионных изображений / Е.И. Минаков, Д.С. Калистратов // Электроника, – 2015. – № 1 – С. 100–103.

Патентные документы

7. Заявка № 2013155777 Российская федерация, МПК⁷: Н03М 7/00. Способ компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях / Минаков Е.И., Калистратов Д.С.; заявитель ТулГУ; заявл. 16.12.2013. – 37с. (Решение о выдаче патента от 09.02.2015).

8. Заявка № 2013155875 Российская федерация, МПК⁷: Н03М 7/00. Способ компенсации движения в цифровых динамических стереовидеоизображениях / Минаков Е.И., Калистратов Д.С.; заявитель ТулГУ; заявл. 16.12.2013. – 59с. (Решение о выдаче патента от 22.01.2015).

Свидетельство об официальной регистрации программы

9. Калистратов, Д.С. Видеокодек/Д.С. Калистратов, Е.И. Минаков//Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2014616903, РОСПАТЕНТ, 08.09.2014.

Публикации в других изданиях

10. Калистратов, Д.С. Влияние параметров поисковых алгоритмов компенсации движения на показатели качества современных видеокодеков / Д.С. Калистратов // Молодой ученый. Ежемесячный научный журнал № 5 2014 г. – Казань: Изд-во ООО «Издательство Молодой ученый», 2014. – С. 20–23.

11. Калистратов, Д.С. Перспективы использования многомерных функций для оценки качества работы современных видеокодеков / Д.С. Калистратов // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов №4 Апрель 2014 г. – Курск: Изд-во ООО «Призма», 2014. – С. 309–311.

Подписано в печать 04.04.2015

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Усл-печ.л. 1,15. Тираж 100 экз. Заказ _____

Тульский государственный университет.

300012, г. Тула, пр. Ленина, 92.

Отпечатано в редакционно-издательском центре

Тульского государственного университета.

300012, г. Тула, ул. Болдина, 151.

