

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2019.Т.07.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

МУХАМЕДОВА ДИЁРАБЕГИМ БАХТИЁР КИЗИ

**МЕТОДЫ МЕЖКАДРОВОГО КОДИРОВАНИЯ ВИДЕОПОТОКОВ
ДЛЯ СИСТЕМ ВЕЩАТЕЛЬНОГО И ПРИКЛАДНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ**

05.04.02 – Системы и устройства радиотехники, радионавигации, радиолокации и телевидения. Мобильные, волоконно-оптические системы связи

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2025

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
техническим наукам**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati
mundarijasi**

**Contents of dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD) on
technical sciences**

Мухамедова Диёрабегим Бахтиёр кизи

Методы межкадрового кодирования видеопотоков для систем
вещательного и прикладного телевидения..... 3

Muxamedova Diyorabegim Baxtiyor qizi

Uzatish va amaliy televideniye tizimlari uchun videooqimlarni kadrlararo kodlash
usullari 21

Mukhamedova Diyorabegim Baxtiyor qizi

Methods of interframe video stream coding for broadcast and applied
television systems..... 37

E'lon qilingan ishlar ro'uxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 40

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2019.Т.07.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

МУХАМЕДОВА ДИЁРАБЕГИМ БАХТИЁР КИЗИ

**МЕТОДЫ МЕЖКАДРОВОГО КОДИРОВАНИЯ ВИДЕОПОТОКОВ
ДЛЯ СИСТЕМ ВЕЩАТЕЛЬНОГО И ПРИКЛАДНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ**

05.04.02 – Системы и устройства радиотехники, радионавигации, радиолокации и
телевидения. Мобильные, волоконно-оптические системы связи

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2024.1.PhD/T4351.

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий и Мухаммада аль-Хоразмий.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tuit.uz) и на Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:

Гаврилов Игорь Александрович
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Давронбеков Дилмурод Абдужалилович
доктор технических наук, профессор

Ярмухамедов Алишер Агбарович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация:

Военный институт информационно-коммуникационных технологий и связи

Защита диссертации состоится «__» _____ 2025 г. в ____ часов на заседании научного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.02 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108.Тел.: (99871) 238-64-15; e-mail: info@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хоразмий (регистрационный номер № _____). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108.Тел.: (99871) 238-64-15).

Автореферат диссертации разослан «_____» _____ 2025 года.
(протокол рассылки № _____ от «_____» _____ 2025 г.).

Б.Ш. Махкамов

Председатель научного совета по присуждению ученых степеней, доктор экономических наук, профессор

М.С. Саиткамоллов

Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, доктор экономических наук

Д.Я. Иргашева

Председатель научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в вещательном и прикладном телевидении все шире внедряются форматы высокой четкости и ведутся работы по передаче телевизионных изображений сверхвысокой четкости в форматах 4К и 8К. Однако объем кадра формата 4К содержит 8,3 мегапикселя, а кадр формата 8К содержит уже 33 мегапикселя, что формирует огромные массивы видеоданных, для обработки которых в реальном времени требуются очень дорогие многопроцессорные системы¹. Да и согласование параметров каналов передачи с огромным потоком цифровых видеоданных приводит к значительному снижению качества телевизионных изображений. В связи с этим одной из основных задач является разработка более совершенных и высокоэффективных методов компрессии видеоданных на основе межкадрового кодирования с компенсацией движения видеообъектов.

В мире проводятся научные исследования по разработке более эффективных методов видеоконпрессии сигналов телевидения высокой и сверх высокой четкости в стандарте H.266/VVC. Но данный кодек еще находится в разработке, при этом имеет очень высокую алгоритмическую сложность и по быстродействию кодирования в 10 раз уступает кодекам стандарта H.265, что накладывает очень жесткие требования к микропроцессорной технике. Поэтому создание более простых методов, алгоритмов и устройств видео компрессии, позволяющих в реальном времени согласовывать параметры входных цифровых потоков видеоданных с существующими каналами связи, без заметных потерь качества отображаемых изображений является актуальной задачей.

В нашей Республике также предпринимаются комплексные меры по разработке новых принципов, методов и устройств, обеспечивающих качественный прием сигналов цифрового телевидения и внедрению систем видеонаблюдения, относящихся к системам прикладного телевидения. О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы, включающей «Подготовку и реализацию комплекса мер по продвижению имиджа Узбекистана на мировой арене, регулярную подготовку и доставку высококачественных фото, видео и печатных материалов для эффективного продолжения распространения объективной информации о ходе реформ в нашей стране, процессах демократического обновления общества», «Сделание цифровой экономики основным «драйверным» направлением», проведение работ, направленных на увеличение объема не менее чем в 2,5 раза, расширение пропускной способности межрегиональных магистральных сетей электросвязи: 600 Гбит/с на региональном уровне; 60 Гбит/с на районном уровне, расширение центров хранения и обработки данных и

¹Нагирная А.В. Глобальный процесс информатизации общества: факторы территориальной неравномерности//Молодой ученый.-2014.-№11.-с.160-165

строительство 1 нового центра..."² При реализации этих задач особое значение приобретает совершенствование систем сжатия видеосигналов исходя из современных требований к передаче телевизионных сигналов.

Данное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указ Президента Республики Узбекистан № УП-6079 от 5 октября 2020 года «Об утверждении стратегии «Цифровой Узбекистан – 2030» и мер по ее эффективной реализации», в Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-357 от 22 августа 2022 года «Меры по поднятию сферы информационно-коммуникационных технологий на новый уровень в 2022-2023 годах» а также Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан №713 от 11 ноября 2020 года «О дополнительных мерах по повышению эффективности борьбы с правонарушениями в сфере безопасности дорожного движения» и в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие приоритетным направлениям исследования науки и технологий в республике. Исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Проблеме разработки принципов, методов, алгоритмов и устройств видеокомпрессии посвящены многочисленные исследования ряда известных зарубежных ученых таких как: R. Brice (США), L. Richardson (США), R. Gonsales, R. Woods (США), В.Н. Безруков, Ю.Б. Зубарев, А.В. Дворкович, А.В. Смирнов, А.Е. Пескин, Минаков, Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов (Россия) и другие исследователи.

Вопросами разработки и совершенствования методов видеокомпрессии посвящены работы ученых Узбекистана: Т.Г. Рахимова, И.А. Гаврилова, Х.Х. Носирова, А.Н. Пузий, Е.Б. Ташманова, Э.Б. Махмудова и др. В результате научных исследований достигнуты весомые результаты по решению задач повышения эффективности видеокомпрессии.

Вместе с этим, выяснилось, что в современных системах видеокодирования на основе стандарта H.264, видеосюжеты с быстрым движением видео объектов (спортивные передачи, автомобили) имеют заметное снижение качества изображений. Проведенный анализ эффективности используемых методов межкадрового кодирования показал, что кодирование видеопотоков с быстрым движением объектов изучены недостаточно.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научных проектов согласно плану научно-исследовательских работ

² Указ Президента Республики Узбекистана «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 — 2026 годы» № УП-60 от 28 января 2022 года

Ташкентского университета информационных технологий по темам: А5-037 «Разработка аппаратно-программных средств аудио-видеокодека на основе вейвлет-преобразований с межкадровой обработкой для систем мобильной связи» (2012-2014), А5-024 «Разработка программных средств телевизионного вейвлет аудио-видеокодека с межкадровой обработкой для 3G сотовых телефонов» (2015-2017), БА А5-008 «Разработка программного обеспечения телевизионного кодека для IP-телевидения и мобильной связи» (2017-2018).

Целью исследования является повышение эффективности межкадрового кодирования видеосюжетов с высокими скоростями линейного движения видеообъектов для систем вещательного и прикладного телевидения.

Задачи исследования:

исследовать современные методы межкадрового кодирования ТВ изображений с оценкой их эффективности и разработать более эффективные методы и алгоритмы компенсации линейного движения быстро движущихся объектов по всему полю кадра;

для повышения качества выделения контуров видеообъектов в реальном времени разработать метод формирования бинарных изображений на основе битовых плоскостей пиксельных значений;

разработать структурную схему межкадрового кодирования вейвлет видеокодека на основе выделения контуров объектов;

разработать метод контурной оценки линейного движения быстро движущихся объектов на основе сопоставления таких параметров контуров, как периметр, площадь, коэффициент формы и центр массы, чтобы обеспечить в реальном времени компенсацию движения по всему полю кадра;

усовершенствовать механизм межкадрового кодирования вейвлет видеокодека на основе использования скомпенсированной межкадровой разницы.

Объектом исследования являются видеоданные телевизионных изображений стандартной и высокой четкости.

Предметом исследования составляют методы, алгоритмы и устройства межкадрового видеокодирования ТВ изображений.

Методы исследования. В процессе исследований применены методы математического анализа, линейной алгебры, математической статистики, теории цифровой обработки одномерных и многомерных сигналов, теории вейвлет-преобразований, а также в диссертации широко использовались численные эксперименты по обработке реальных телевизионных изображений различных сюжетов и жанров.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан быстродействующий метод формирования двоичных изображений на основе использования битовых плоскостей пиксельных значений, который обеспечивает большую точность выделения контуров

объектов, чем методы пороговой бинаризации;

разработан метод контурной оценки линейного движения быстро двигающихся объектов, использующий такие параметры видеообъектов, как периметр, площадь, коэффициент формы и центр массы, который обеспечивает в реальном времени компенсацию движения по всему полю кадра;

разработана структурная схема устройства межкадрового кодирования на основе контурной компенсации движения объектов, обеспечивающего по всему полю кадра лучшее качество изображений на сюжетах с высокими скоростями линейного движения объектов;

усовершенствован механизм межкадрового кодирования видеопотоков для вейвлет видеокодека, использующий скомпенсированную межкадровую разницу, позволяющий на сюжетах с быстрым движением повысить сжатие видеопотоков в 1,1-1,5 раз.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны методы, алгоритмы и устройства, позволяющие в реальном времени на сюжетах с быстрым линейным движением объектов сцены повысить эффективность кодирования в 1,1-1,5 раза по сравнению с кодеками вещательного и прикладного телевидения;

на разработанные методы и алгоритмы получено 5 авторских свидетельств на программные продукты;

предложенные методы межкадрового кодирования ТВ изображений позволяют существенно улучшить качество изображений в системах видеонаблюдения или увеличить в 1,1-1,5 раз время записи на видео регистрирующем оборудовании;

разработаны варианты устройств видеокодека для систем вещательного телевидения и видеонаблюдения.

Достоверность результатов исследования для оценки достоверности результатов исследований протестированы кадры видеопоследовательностей различных сюжетов и жанров с различными скоростями движения объектов. При этом использовалась как визуальная оценка качества изображений, так и стандартные метрики среднеквадратического отклонения пиксельных значений исходного и декодированного изображения (MSE) и суммы ошибок их предсказания (SEP). Подтверждается результатами экспериментов над предложенными методами и алгоритмами в сравнении с результатами работы существующих стандартизированных кодеков.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в том, что предложенное комплексное использование методов и алгоритмов формирования двоичных изображений, выделения контуров объектов, их идентификация и оценка движения по геометрическим признакам и формирования скомпенсированной межкадровой разницы в вейвлет видеокодеке позволяет на видеосюжетах с быстрым линейным движением

объектов обеспечить в реальном времени повышение эффективности видеокомпрессии в 1,2-1,5 раза.

Практическая ценность работы объясняется в увеличении в 1,1-1,5 раза времени записи видеофайлов на видеорегирующем оборудовании, улучшения качества изображений на видеосюжетах с быстрым движением объектов и использование в устройстве видеокодирования недорогой микропроцессорной техники, как в системах вещательного, так и прикладного телевидения, например, в системах видеонаблюдения.

Внедрение результатов исследования. На основе разработанных методов и алгоритмов контурной компенсации линейного движения скоростных видеообъектов и фона по всему полю кадра, скомпенсированной межкадровой разницы и кодирования видеоданных на вейвлет преобразованиях:

внедрена система эффективного сжатия телевизионных программ в Ташкентском радиотелепередающем центре (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан № 33-8/1346 от 28 февраля 2023). По результатам исследования установлена возможность увеличения визуального качества спортивных, развлекательных и видовых передач, а также увеличение время записи программ на видеосерверах в 1,2-1,5. раза.

рекомендована к использованию система более эффективного сжатия видеоданных в системах видеонаблюдения в ООО «SETKO» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан № 33-8/1346 от 28 февраля 2023). Полученные результаты дают возможность повысить качество изображений дорожного движения и увеличить длительность видеозаписей в видеосерверах в 1,3-1,5 раза.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждены на 16-ти научно-технических конференциях, том числе 7-и международных и 9-и республиканских.

Опубликованность результатов исследования. По теме исследования опубликована всего 30 научных работ, из них 9 – в научных журналах из перечня ВАК РУз, в том числе, 4 статьи в международных и 5 республиканских журналах а также получено 5 авторских свидетельства на программные продукты.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 116 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, определены цель и задачи, объект и предмет исследований, приводится соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна, практические результаты исследований, обоснована их

достоверность, раскрываются их теоретическая и практическая значимости, приведены сведения об их внедрении и опубликованности, а также о структуре диссертации.

Первая глава диссертации, «**Методы и принципы межкадрового кодирования телевизионных изображений**» проанализированы достижения современной теории и практики межкадрового кодирования видеоданных и проанализированы существующие методы компенсации движения (КД) видеообъектов в смежных кадрах для сжатия ТВ изображений при передаче их по каналам связи.

Согласно Рекомендации ITU-R BT656 (ITU – radio communication) скорость передачи двоичных символов несжатого цифрового сигнала вещательного телевидения стандартной четкости достигает 216 Мбит/с, что значительно превосходит пропускную способность современных радиоканалов. Поэтому для согласования параметров сигналов и каналов используются различные методы компрессии видеоданных, основанные на устранении избыточной информации ТВ изображений. Причем, количество избыточной информации в ТВ сильно зависит от структуры изображения, то есть изображения с крупными объектами сжимаются хорошо, а мелкоструктурные - плохо. Соответственно такие видеосюжеты для передачи по каналам связи с постоянной скоростью приходится дожимать за счет потерь качества. В связи с этим создание новых методов компрессии видео данных, не ухудшающих визуального качества изображений, является важной научно-технической задачей.

Анализ ТВ изображений показывает, что они обладают большим объемом избыточной (предсказуемой) информации, которую разделяют на следующие классы: кодовая избыточность, межэлементная или статистическая, психовизуальная, структурная и временная или межкадровая избыточность. Соответственно, сжатие видеоинформации обычно производится вследствие устранения одного или нескольких указанных типов избыточности и чем больше типов избыточной информации устраняется в кодирующем устройстве, тем большее сжатие объема видеоданных можно получить, не ухудшая визуального качества отображаемых изображений. Причем, из-за того, что в пределах одного видеосюжета информация в соседних кадрах обычно изменяется мало, то основное сжатие видеопотока в цифровом ТВ достигается именно на основе устранения межкадровой избыточности на основе КД.

В данной главе рассмотрены задачи и проблемы межкадрового кодирования, связанных с тем, что в ТВ изображениях обычно присутствует какое либо движение объектов сцены, которое бывает локальное, глобальное, комбинированное, изменение масштаба, повороты и вращения. Причем скорости перемещения также могут изменяться от высокоскоростных до статических сцен, что существенно затрудняет или делает невозможным КД отдельных видеосюжетов.

Также рассмотрена классификация основных методов оценки движения (ОД) в соседних кадрах и проанализированы наиболее распространенные методы оценки и компенсации движения.

Вторая глава «**Принципы построения современных видеокodeков и оценка эффективности их работы**» посвящена анализу принципов построения и работы основных codeков для вещательного и прикладного телевидения, и проведению экспериментальных исследований по оценке эффективности их работы на различных видеосюжетах, а также постановке задачи исследования.

В данной главе было установлено, что в настоящее время для видеокodирования в вещательном и прикладном телевидении наибольшее распространение имеют codeки стандартов MPEG-4 AVC, H.264 и H.265. При этом устаревший стандарт MPEG-2, также находит ограниченное применение в недорогих системах видеонаблюдения и некоторых типах видеокамер. Кроме того, для систем видеонаблюдения компанией Hikvision на основе стандартов H.264 и H.265 разработаны специальные codeки H.264+, H.265+, которые позволяют значительно сократить объем видеоданных в прикладном телевидении.

В стандарте MPEG-2 изображения в кадрах разбиваются на макроблоки фиксированного размера, каждый из которых состоит из шести блоков 8x8 пикселей, где: четыре из них образуют матрицу яркостного сигнала Y (16 x 16) пикселей и по одному блоку цветоразностных компонентов U и V размером 8x8 пикселей. Причем, если размер изображения не кратен 16 пикселям, то к нижнему и правому краю кадра добавляется недостающее количество пикселей нулевой яркости по строкам и столбцам, чтобы обеспечить целочисленное разбиение изображения на целое число макроблоков. При этом для компрессии видеоданных в MPEG-2 применяется спектральное преобразование на основе ДКП, компрессор длинных серий (RLE) и табличный энтропийный кодер Хаффмана. А в его системе межкадрового кодирования с КД используется 3 типа кадров:

I – *опорные*, с которых начинается построение видеосюжета, и которые вставляются для надежной работы декодера;

P – *кадры прямого предсказания КД*, которые содержат ошибки предсказания блоков и векторы их перемещения;

B – *кадры двунаправленной интерполяции* в которых предсказание КД осуществляется как по последующим кадрам, так и по предыдущим. Эти кадры обычно содержат только векторы движения блоков.

Основным недостатком MPEG-2 является довольно высокий битрейт, превышающий 3 Мбит/с при котором еще незаметны блочные искажения изображений. Однако такой битрейт приводит к неэффективности использования частотного ресурса каналов передачи. Поэтому в 2003 году на базе стандартов MPEG-2 и MPEG-4 был разработан стандарт улучшенной видеокomпрессии MPEG-4 AVC (Advanced Video Coding – «улучшенное

кодирование видео»), или H.264, позволяющий снизить битрейт до 1,5 Мбит/с.

В H.264 вместо блоков фиксированного размера используются блоки переменного размера, что позволяет уменьшить межкадровые различия за счет повышения точности КД. А в компрессорной части в H.264 применяется преобразование Адамара и арифметическое кодирование на основе контекстно-адаптивного энтропийного кодирования кодами переменной длины. Кроме того, в H.264 применен, работающий на вейвлет преобразованиях кодер фона и текстур, обеспечивающий сжатие изображений неподвижного фона и текстур протяженных объектов.

В связи с появлением телевизионных форматов высокой и сверхвысокой четкости 4К и 8К возникла необходимость создание нового стандарта видеокодирования, обеспечивающего сжатие видеопотока в 2 раза больше чем у H.264 при неизменном качестве изображений. Поэтому в 2013 был разработан улучшенный вариант видеокодирования получивший обозначение H.265 или HEVC (High Efficiency Video Coding, т.е. высокоэффективное видео кодирование). В его компрессорной части в отличие от H.264/AVC, используется модифицированное дискретно-косинусное преобразование (МДКП) и синусное преобразование, а также синтаксически ориентированный контекстно-адаптивный двоичный арифметический кодер SBAC (*syntax-based context-adaptive binary arithmetic coder*). Также в системе КД добавлены блоки большего размера 32x32 и 64x64 пикселей, что позволяет более эффективно кодировать видео высоких разрешений (4К). Причем, вместо макроблоков, применявшихся во всех предыдущих стандартах, в H.265 применены древовидные структуры кодирования и декодирования изображений.

Однако основной проблемой видеокодеков является то, что в телевидении эффективность сжатия видеопотока сильно зависит как от структуры изображений, так и величины перемещения видеообъектов. Так, изображения с относительно однородными объектами содержат больше избыточной информации и сжимаются хорошо. А мелкоструктурные изображения с высокой детальностью содержат мало избыточной информации, и поэтому сжимаются плохо. Соответственно для стабилизации битрейта плохо сжимаемые изображения будут дожиматься квантователем кодера за счет потерь полезной информации, что приводит к заметным искажениям изображений и ухудшению их качества. Поэтому для оценки эффективности межкадрового кодирования современных видеокодеков было проведено экспериментальное исследование их работы при обработке серий изображений различных структур и типами движений.

При оценке эффективности кодирования сюжетов вещательного стандарта использовались кодеки MPEG-2, XviD, H.264 и H.265, входящие в состав полупрофессионального транскодерного программного пакета «Видеомастер 12.0». При этом исследования проводились на тестовых видовых видеосюжетах (медведь, бабочка, водопад) с локальным,

глобальным и комбинированным движением сцены и имеющих крупную и мелкую структуру. А также использовались сюжеты со слабым и сильным локальным движением, оптическим масштабированием и вращением, которые были сняты полупрофессиональными камерами с битрейтом более 28 Мбит/с. Причем, поскольку телевидение является системой визуального наблюдения, то, естественно, качество изображения оценивает зритель. Однако в силу субъективности нашего восприятия метод субъективной оценки не дает количественной оценки сравнения, как параметров кодирования одного кодека, так оценки алгоритмов кодирования различных кодеках. Поэтому на практике часто применяются методы объективной оценки качества изображения, основанные на вычислении различных метрик. Так, Метрика MSE (Mean Squared Error – среднеквадратическая ошибка) оценивает отклонения значений пикселей исходного и декодированного изображения по следующей формуле:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i, j) - K(i, j)|^2 \quad (1)$$

где, L - исходное изображение, K – отображаемое изображение, M и N - горизонтальный и вертикальный размер изображения. $L(i, j)$ - значение пикселя изображения X с координатами (i, j) .

Если изображения совпадают, то значение MSE равно 0. Соответственно, значение метрики возрастает с увеличением искажений в изображении.

Другую метрику, которую часто используют на практике, называют мерой пикового отношения сигнала к шуму (*peak-to-peak signal-to-noise ratio* — *PSNR*). Данная метрика наиболее часто используется для измерения уровня искажений при компрессии изображений, которая вычисляется по следующей формуле:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (2)$$

где MAX_I^2 — это максимальное значение, принимаемое пикселем изображения. Когда пиксели имеют разрядность 8 бит, $MAX_I=255$.

Данные метрики имеют недостатки, связанные с тем, что при блочных искажениях среднее значение пикселей меняется слабо, поэтому их значения получается низкими, хотя визуально изображение может восприниматься сильно испорченным. Поэтому для более адекватной оценки был разработан метод, основанный на вычислении суммы ошибок предсказаний пиксельных значений (SEP), который заключается в сравнении сумм ошибок предсказаний пиксельных значений исходного и восстановленного изображений. Для этой цели могут использоваться различные интерполяторы, например, трех точечный фильтр:

$$D_1 = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} b'_{(1)i}, \quad D_2 = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} b'_{(2)i}, \quad \text{где } b'_i = \frac{b_i - (b_{i-1} + b_{i+1})}{2} \quad (3)$$

D_1 и D_2 - суммы ошибок предсказания пиксельных значений исходного и декодированного кадра соответственно; b - значения пикселей исходных и декодированных массивов изображения. При этом SEP кадра может быть определена по формуле:

$$SEP = \frac{D_1 - D_2}{D_1} * 100\% \quad (4)$$

Выбор данного метода основан на том, что работа квантователя кодека, управляющий битрейтом, приводит к потере высокочастотных составляющих изображения, снижающих его четкость, сглаживанию цветового рельефа и уменьшению числа градаций яркости. Поэтому данная метрика лучше соответствует нашему зрительному восприятию, чем MSE и PSNR.

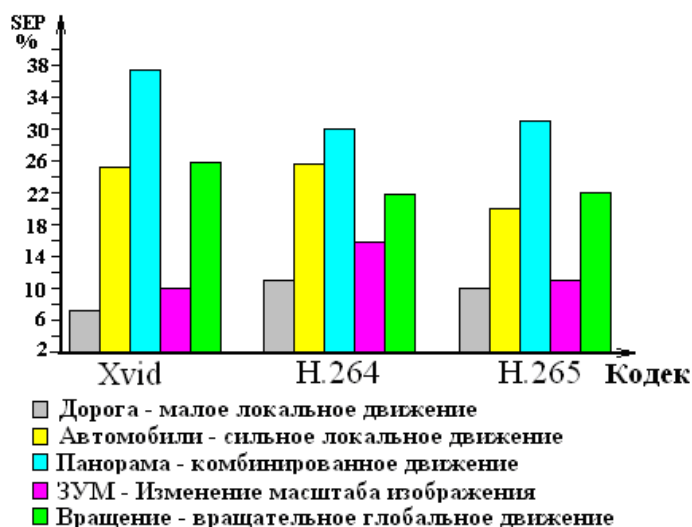


Рис.1. Гистограммы максимальных искажений кадров тестовых сюжетов, кодированных кодеками Xvid, H.264, H.265

Результаты исследования эффективности кодирования пяти тестовых видеосюжетов кодеками Xvid, H.264, H.265, представленные на рис.1, показывают, что при кодировании сюжетов с различными скоростями движения, масштабированием и вращением, во всех типах исследуемых кодеках КД работает только на малых и средних скоростях движения и сюжетах с изменением масштаба. Это показывает относительно низкое значение искажений на уровне 7-11%. А на сюжетах с быстрым и комбинированным движением КД перестает работать, поскольку смещение видеообъектов в кадрах превышает установленную зону поиска оценки движения.

Изображения с вращением камеры так же не обрабатываются компенсаторами движения, хотя для этих целей разработаны специальные методы параметрических моделей для компенсации вращений и перемещений камеры. Но высокие значения искажений 22-26% показывают, что эти модели в кодеках не используются.

В третьей главе диссертации «**Разработка методов, алгоритмов и устройств межкадрового кодирования ТВ изображений**» сформулированы требования к методам и алгоритмам межкадрового кодирования ТВ

изображений в реальном времени и выбору языка и среды программирования для моделирования их работы. В результате для обеспечения удобства проведения экспериментальных исследований был выбран язык программирования C++ в среде Borland Builder-6, позволяющий достаточно просто строить графические оболочки интерфейсов управления кодеком и отображения полученных результатов(рис.2).



Рис.2. Вид панели интерфейса с исходными изображениями машины двух кадров и их яркостными изображениями

На основе сформулированных требований разработана структурная схема межкадрового кодирования вейвлет видеокodeка на основе выделения контуров объектов, обеспечивающая повышение эффективности межкадрового кодирования видеосюжетов с высокими скоростями линейного движения объектов по всему полю кадра (рис.3).

БЛОК МЕЖКАДРОВОГО КОДИРОВАНИЯ

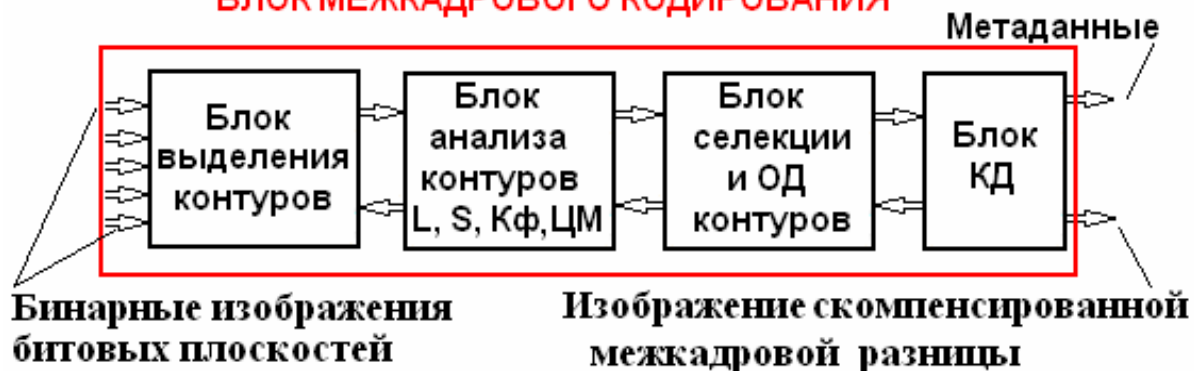


Рис.3. Обобщенная структурная схема устройства межкадрового кодирования ТВ изображений на контурной основе

Разработан метод формирования бинарных изображений по битовым плоскостям пиксельных значений, который в реальном времени обеспечивает лучшее качество видеообъектов, чем методы пороговой бинаризации, принцип работы которого показан на рис.4.

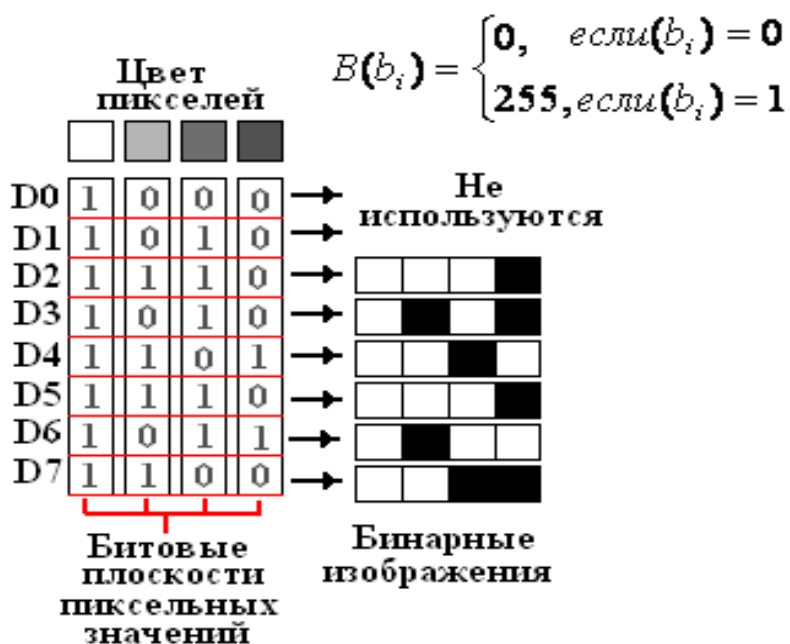


Рис.4. Принцип работы метода формирования бинарных изображений по битовым плоскостям пиксельных значений

Разработан метод контурной оценки линейного движения быстро движущихся объектов на основе сопоставления таких параметров контуров, как периметр, площадь, коэффициент формы и центр массы (O), которые определяются по следующим формулам:

$$O_x = \sum_{j=1}^m \frac{(x2_j - x1_j) / 2 + x1_j}{m}; \quad O_y = \sum_{i=1}^n \frac{(y2_i - y1_i) / 2 + y1_i}{n} \quad (5)$$

где: O_x и O_y соответствующие координаты Центра тяжести контура по горизонтали и вертикали; $x2, x1$ - максимальные и минимальные значения координат контура по горизонтали; $y2, y1$ - максимальные и минимальные значения координат контура по вертикали; n и m - мидельные значения ширины и высоты контура в пикселях.

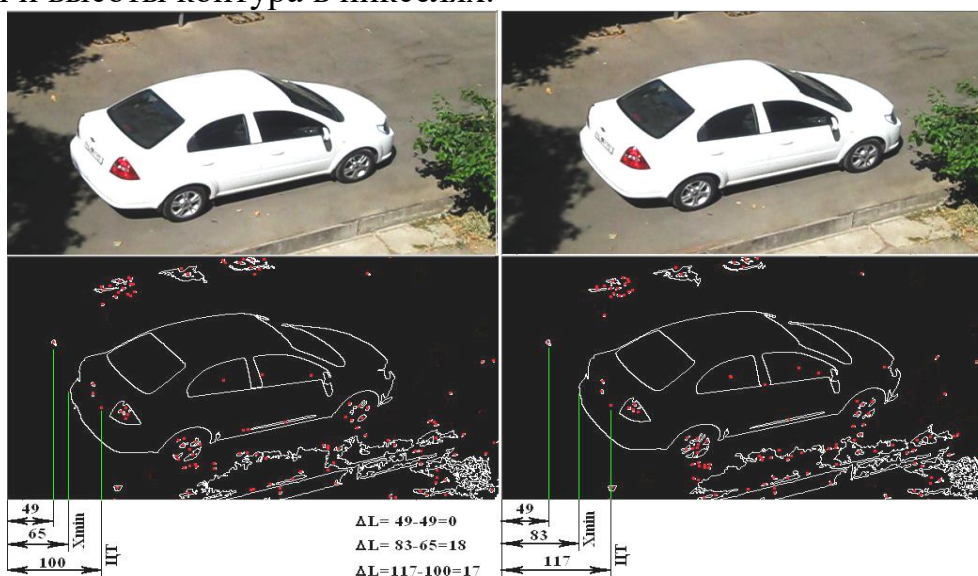


Рис.5. Пример определения смещений объектов в соседних кадрах

Данный метод обеспечивает в реальном времени компенсацию движения по всему полю кадра, результат работы которого показан на рис.5.

Также усовершенствован механизм межкадрового кодирования вейвлет видеокодека на основе формирования скомпенсированной межкадровой разницы, обобщенная структурная схема которого представлена на рис.6, а результат его работы показан на рис.7.

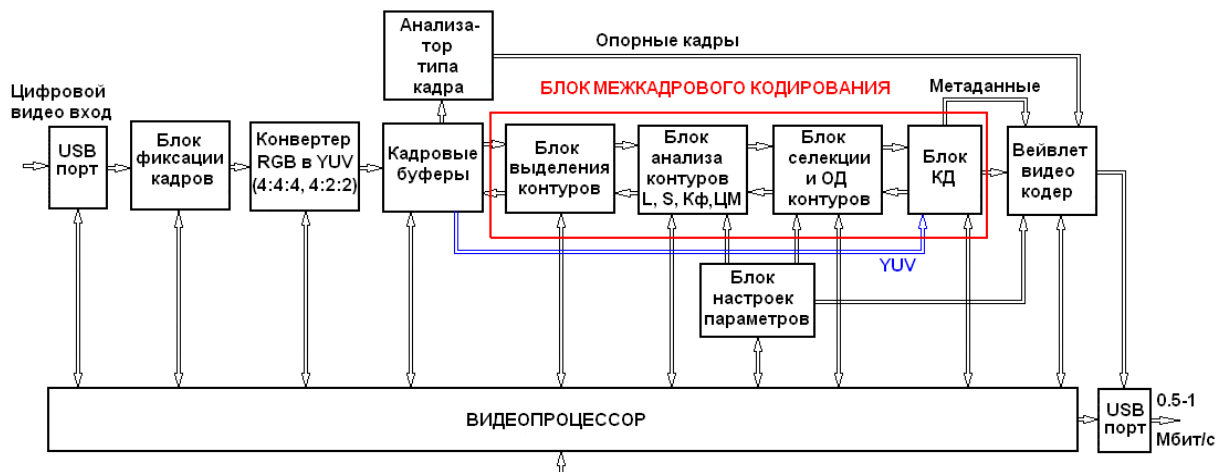


Рис.6. Усовершенствованная обобщенная структурная схема вейвлет видеокодека с межкадровым кодированием на контурной основе

Для проведения экспериментальных исследований по оценки эффективности разработанных методов и алгоритмов разработано экспериментальное программное обеспечение кодека на языке программирования C++ в среде Borland Builder-6, имеющий удобный графический интерфейс управления кодированием.

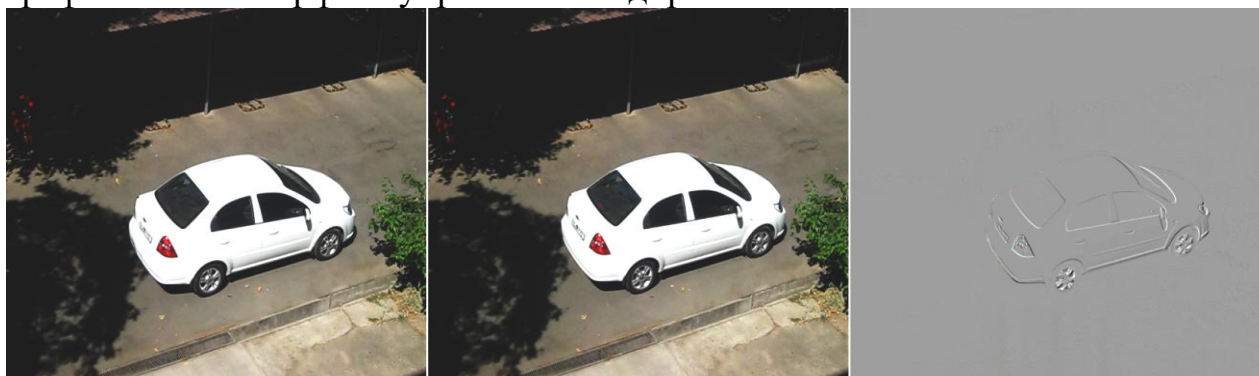


Рис.7. Изображения двух соседних кадров и результат их скомпенсированной межкадровой разницы

Для оценки эффективности разработанных методов межкадрового кодирования ТВ изображений было проведено исследование работы экспериментального вейвлет кодека **WCODE** по отношению к ранее исследованным кодекам Xvid, H.264 и H.265, входящих в состав программного пакета «Видеомастер». При этом, учитывая то, что, разработанные методы межкадрового кодирования были направлены на обеспечение КД линейного движения высокоскоростных объектов, которое исследованными кодеками не поддерживалось, для исследования были

выбраны видеосюжеты скоростного движения автомобиля и дорожного движения.

Проведенные исследования компрессии тестовых сюжетов показали высокую эффективность разработанных методов межкадрового кодирования по сравнению с ранее исследованными кодеками, что показано на гистограммах (рис.8).

При этом, разработанная методика построения компенсатора движения не содержит сложных итерационных вычислительных процессов, использует более простые и быстродействующие алгоритмы, которые позволяют использовать более простую и дешевую микропроцессорную технику, что имеет важное значение в системах видеонаблюдения.

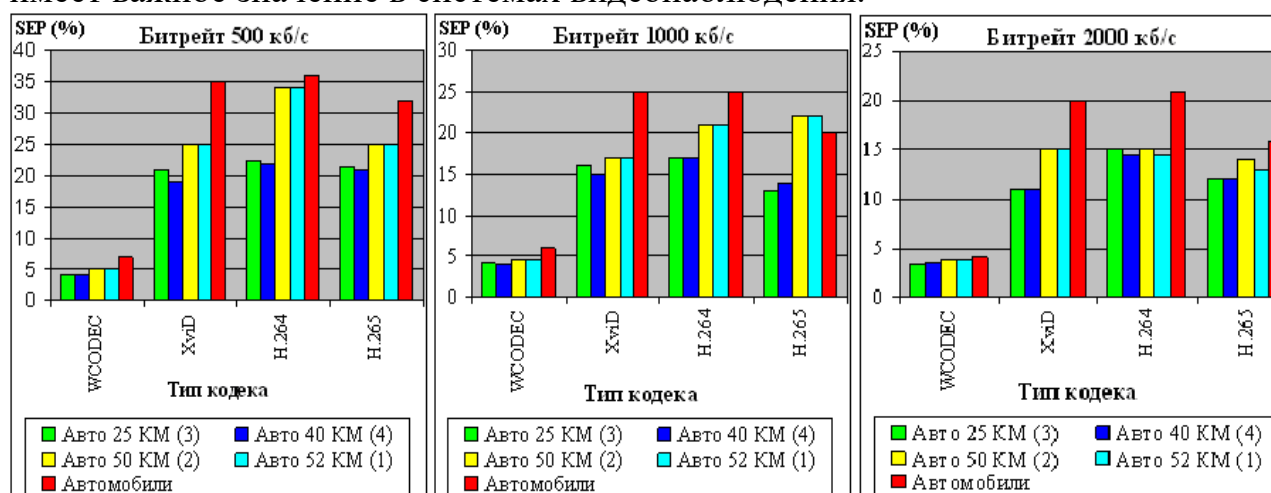


Рис. 8. Результаты оценки вносимых искажений исследуемых кодеков на битрейтах 500, 1000 и 2000 Кбит/с

Для реализации разработанного устройства межкадрового кодирования ТВ изображений для систем вещательного и прикладного телевидения проведен анализ и обоснование выбора современной микропроцессорной базы. При этом для вещательного телевидения предложено использовать плату отладочного модуля NVCom-01MEM-3U на основе микроконтроллера 1892BM10Я, созданного в ОАО Научно-Производственного Центра "ЭЛВИС".

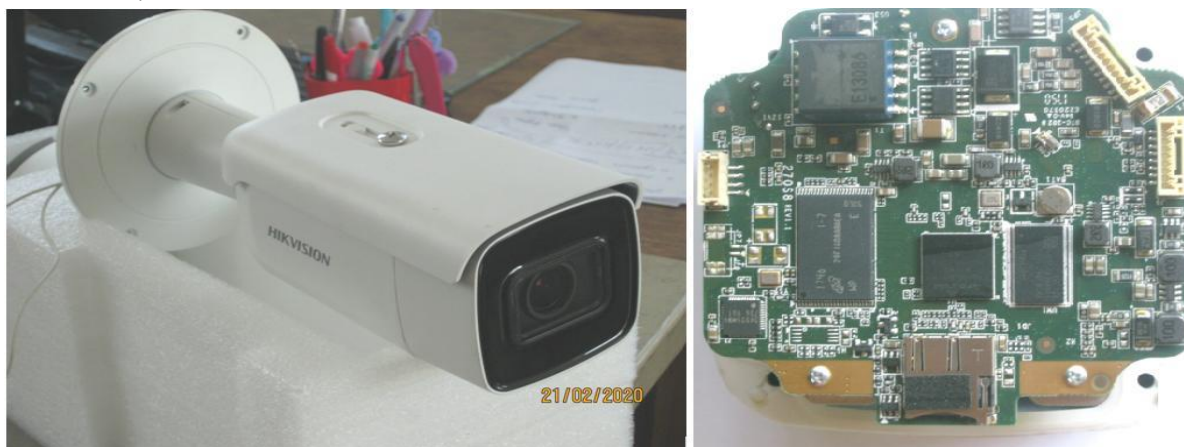


Рис. 9. Внешний вид камеры видеонаблюдения Hikvision DS-2CD2625FWD-IZS и плата управления на базе видеопроцессора A12A55

Данное устройство содержит 3-х ядерный микроконтроллер, ориентированный на обработку изображений в реальном масштабе времени, необходимое периферийное оборудование и память. Причем, 2 быстродействующих цифровых сигнальных процессора (DSP), встроенных в микроконтроллер 1892ВМ10, позволяют эффективно использовать этот модуль не только для кодирования видеопотока, но также и сигналов звукового сопровождения.

А для систем прикладного телевидения, например видеонаблюдения, выбран недорогой процессор А12А55, стоимостью 10-15\$, применяемый во многих типах камер видеонаблюдения, в том числе и в камере Hikvision DS-2CD2625FWD-IZS, представлена на рис.9, используемой для проведения экспериментов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований в диссертации представлены следующие выводы:

1. Проведена классификация существующих методов межкадрового кодирования телевизионных изображений, которая служит для выбора метода межкадрового кодирования на основе их достоинств и недостатков.

2. Проанализированы принципы построения и работы, наиболее распространенных видеокодеков стандартов MPEG-2, MPEG-4 AVC, H.264 и H.265. и исследована эффективность их работы на тестовых видеосюжетах с различными типами движения объектов, по результатам которых определены задачи исследования.

3. Разработан метод формирования бинарных изображений по битовым плоскостям пиксельных значений, который в реальном времени обеспечивает лучшее качество видеообъектов, чем методы пороговой бинаризации.

4. Разработана структурная схема межкадрового кодирования вейвлет видеокодека на основе выделения контуров объектов, обеспечивающая повышение эффективности межкадрового кодирования видеосюжетов с высокими скоростями линейного движения объектов по всему полю кадра;

5. Разработан метод контурной оценки линейного движения быстро движущихся объектов на основе сопоставления таких параметров контуров, как периметр, площадь, коэффициент формы и центр массы, который обеспечивает в реальном времени компенсацию движения по всему полю кадра.

6. Усовершенствован механизм межкадрового кодирования вейвлет видеокодека на основе формирования скомпенсированной межкадровой разницы. Проведенные исследования модернизированного вейвлет видеокодека показали, что на видеосюжетах с высокоскоростным линейным движением объектов происходит улучшение качества изображений в 4 и более по сравнению с кодеками MPEG-2, MPEG-4 AVC, H.264 и H.265. Особенно это сильно заметно при высоком сжатии видеопотока.

7. Для аппаратной реализации разработанного компенсатора движения

вейвлет видеокодека вещательного телевидения был выбран многофункциональный отладочный модуль NVCom-01MEM-3U на 3-х ядерном микроконтроллере 1892BM10Я, ориентированным на обработку изображений и видеопотоков в реальном масштабе времени компании «Элвис». А для систем прикладного телевидения, например применяемых в видеонаблюдении, был рассмотрен видеопроцессор фирмы Ambarella, A12A55 используемый в камере Hikvision DS-2CD2625FWD-IZS, используемой для проведения экспериментов.

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.13/30.12.2019.T.07.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

MUXAMEDOVA DIYORABEGIM BAXTIYOR QIZI

**UZATISH VA AMALIY TELEVIDENIYE TIZIMLARI UCHUN
VIDEOOQIMLARNI KADRLARARO KODLASH USULLARI**

**05.04.02 – Radiotexnika, radionavigatsiya, radiolokatsiya va televideniye tizimlari va
qurilmalari. Mobil, tolaoptik aloqa tizimlari**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) ILMIY DARAJASINI
OLISH UCHUN DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.1.PhD/T4351 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.tuit.uz) va «Ziyonet» axborot-ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Gavrilov Igor Aleksandrovich
texnika fanlari nomzodi, dotsent

Rasmiy opponenlar:

Davronbekov Dilmurod Abdujalilovich
texnika fanlari doktori, professor

Yarmuxamedov Alisher Agbarovich
texnika fanlari nomzodi dotsent

Yetakchi tashkilot:

Axborot kommunikatsiya texnologiyalari va aloqa harbiy instituti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSc.13/30.12.2019.T.07.02 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil "___"_____ soat___dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 238-64-15, e-mail: tuit@tuit.uz).

Dissertatsiya bilan Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (_____ raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 238-64-15).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil "___"_____ da tarqatildi.
(2025 yil "___"_____dagi _____ - raqamli reestr bayonnomasi).

B. Sh. Maxkamov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

M. S. Saitkamolov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash kotibi, iqtisodiyot fanlari doktori

D. Ya. Irgasheva

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi texnika fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va muhimligi. Jahonda uzatish va amaliy televideniya yuqori aniqlikdagi formatlar yanada keng joriy etilmoqda, shuningdek, 4K va 8K formatlardagi o'ta yuqori aniqlikdagi televideniya tasvirlarini uzatish bo'yicha ishlar olib borilmoqda. Biroq, 4K formatli kadrning hajmi 8,3 megapikslni, 8K formatli kadrda bu ko'rsatkich 33 megapiksllarga yetadi³, bu esa katta hajmdagi videoma'lumotlar massivlarini hosil qiladi va ularni real vaqtda qayta ishlash uchun juda qimmat ko'p protsessorli tizimlar talab etiladi. Shuningdek, raqamli videoma'lumotlarning katta oqimi bilan uzatish kanallarining parametrlarini moslashtirish televideniya tasvirlarining sifatining sezilarli darajada pasayishiga olib keladi. Shu sababli videoobyektlarning harakatini kompensatsiya qilish bilan kadrlararo kodlash asosida videoma'lumotlarni siqishni yanada mukammal va samarali usullarini ishlab chiqish masalalariga muhim ahamiyat kasb etmoqda.

Dunyo bo'ylab yuqori va o'ta yuqori aniqlikdagi televideniya signallarini H.266/VVC standartida juda yuqori algoritmik murakkablikka ega, shuningdek, kodlash tezligi H.265 standartidagi kodeklarga nisbatan 10 barobar past, mikropartali texnikalarga juda qattiq talablar qo'yilib, kodekning yanada samarali siqish usullarini ishlab chiqish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Shuning uchun video kompressiya usullarini, algoritmlarini va qurilmalarini ishlab chiqish, ular orqali real vaqtda kiruvchi raqamli videoma'lumotlar oqimining uzatish kanallari bilan parametrlarini moslashtirish, tasvir sifatining sezilarli yo'qotishlarsiz bo'lishi dolzarb masaladir.

Respublikamizda ham raqamli televideniya signallarini sifatli qabul qilishni ta'minlovchi yangi tamoyillar, usullar va qurilmalarni ishlab chiqish hamda amaliy televideniya tizimlariga tegishli videokuzatuv tizimlarini joriy etish bo'yicha kompleks chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning Taraqqiyot strategiyasi to'g'risida, jumladan "O'zbekiston imijini jahon maydonida ilgari surishni nazarda tutuvchi chora-tadbirlar majmuini tayyorlash va amalga oshirish, mamlakatimizda islohotlarning borishi, jamiyatni demokratik yangilash jarayonlari haqida xolis axborot tarqatishni samarali davom ettirishda yuqori sifatli foto, video va bosma materiallarni muntazam tayyorlash va yetkazib berish", "Raqamli iqtisodiyotni asosiy "drayver" sohaga aylantirib, uning hajmini kamida 2,5 baravar oshirishga qaratilgan ishlarni olib borish, Hududlararo magistral telekommunikatsiya tarmoqlari o'tkazuvchanlik qobiliyatini kengaytirish: Viloyatlar darajasida 600 Gbit/s; Tumanlar darajasida 60 Gbit/s, ma'lumotlarni saqlash va qayta ishlash markazlarini kengaytirish hamda 1 ta yangi markazni qurish..."⁴ bo'yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni amalga oshirishda, televideniya signallarni uzatishga zamonaviy talablar

³ Нагирная А.В. Глобальный процесс информатизации общества: факторы территориальной неравномерности//Молодой ученый.-2014.-№11.-с.160-165

⁴ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining, 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son "2022 — 2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning Taraqqiyot strategiyasi to'g'risida" gi Farmoni

asosida videosignallarni siqish tizimlarini takomillashtirish muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 5 oktyabrdagi PF-6079-son “Raqamli O‘zbekiston – 2030” strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida” gi Farmoni, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 22 avgustdagi PQ-357-son “2022-2023-yillarda axborot-kommunikatsion texnologiyalar sohasini yangi bosqichga ko‘tarish chora-tadbirlari to‘g‘risida” gi Qarorida, shuningdek O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2020 yil 11 noyabrdagi 713-son “Yo‘l harakati xavfsizligi sohasida huquqbuzarliklarga qarshi kurashish samaradorligini oshirishga doir qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida” gi Qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa meyoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalarni rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi. Tadqiqot O‘zbekiston Respublikasida fan va texnologiyalarni rivojlantirishning IV “Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish” ustuvor yo‘nalishiga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Videoni siqish tamoyillari, usullari, algoritmlari va qurilmalarini ishlab chiqish kabi masalalarini hal qilishga bag‘ishlangan ilmiy izlanishlar dunyo miqyosida bir qator taniqli olimlar tomonidan olib borilgan, masalan: R. Brice (AQSh), L. Richardson (AQSh), R. Gonsales, R. Woods (AQSh), V.N. Bezrukov, Yu.B. Zubarev, A.V. Dvorkovich, A.V. Smirnov, A.E. Peskin, Minakov, D. Vatolin, A. Ratushnyak, M. Smirnov (Rossiya) va boshqa olimlar tomonidan amalga oshirilgan.

Videoni siqish usullarini ishlab chiqish va takomillashtirish masalalariga O‘zbekistonning taniqli olimlarini ilmiy ishlari bag‘ishlangan. Bulardan T.G. Raximov, I.A. Gavrilov, X.X. Nosirov, A.N. Puziy, E.B. Tashmanov, E.B. Mahmudov va boshqalarning olib borilgan ilmiy tadqiqotlar natijasida videoni siqish samaradorligini oshirish masalalarni yechishda salmoqli natijalarga erishildi.

Shu bilan birga, H.264 standarti asosidagi zamonaviy video kodlash tizimlarida video obyektlar (sport dasturlari, avtomobillar) tez harakatlanadigan videolarda tasvir sifatining sezilarli darajada pasayishiga olib kelishi ma‘lum bo‘ldi. Kadrlararo kodlash usullarining samaradorligini tahlil qilish shuni ko‘rsatdiki, tez harakatlanayotgan obyektlar bilan video oqimlarni kodlash yetarli darajada o‘rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasining tadqiqot ishlari rejalari bilan aloqasi. Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent axborot texnologiyalari universitetining ilmiy-tadqiqot rejasiga muvofiq A5-037 “Mobil aloqa tizimlari uchun kadrlararo ishlov berishga ega veyvlet-o‘zgartirishlar asosida audio-videokodek apparat-dasturiy vositalarini ishlab chiqish” (2012-2014), A5-024 “3G sotali telefonlar uchun kadrlararo ishlov berishga ega televizion veyvlet audio-videokodek dasturiy vositalarini ishlab chiqish” (2015-2017), A5-008 “IP-televidenie va mobil aloqa uchun televizion

kodek dasturiy ta'minotni ishlab chiqish" (2017-2018) mavzulari bo'yicha ilmiy loyihalar doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi uzatish va amaliy televidenie tizimlari uchun videoobyektlarni chiziqli harakati yuqori tezliklariga ega videosyujetlarni kadrlararo kodlash samaradorligini oshirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

televizion tasvirlarni ularning samaradorligini baholash bilan kadrlararo kodlashning zamonaviy usullarini tadqiq qilish va kadrning butun maydoni bo'yicha tez harakatlanadigan obyektlarning chiziqli harakatini kompensatsiyalashning yanada samarali usullari va algoritmlarini ishlab chiqish;

real vaqt rejimida video obyektlarning konturlarini aniqlash sifatini oshirish, piksel qiymatlarining bit tekisliklari asosida ikkilik tasvirlarni yaratish usulini ishlab chiqish;

obyektlarning konturlarini ajratish asosida veyvlet videokodekning kadrlararo kodlash tuzilish sxemasini ishlab chiqish;

butun kadr maydoni bo'ylab real vaqt rejimida harakatni kompensatsiyalashni ta'minlash uchun perimetr, maydon, shakl koeffitsiyenti va massalar markazi kabi kontur parametrlarini taqqoslash asosida tez harakatlanadigan obyektlarning chiziqli harakatining konturini baholash usulini ishlab chiqish;

kompensatsiyalangan kadrlararo farqdan foydalanish asosida veyvlet videokodekning kadrlararo kodlash mexanizmini takomillashtirish.

Tadqiqot obyekti standart va yuqori aniqlikdagi televizion tasvirlar videoma'lumotlari hisoblanadi.

Tadqiqot predmetini televizion tasvirlarni kadrlararo videokodlash usullari, algoritmlari va qurilmalari tashkil etadi.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida matematik tahlil, chiziqli algebra, matematik statistika usullari, bir o'lchovli va ko'p o'lchovli signallarga raqamli ishlov berish nazariyasi, veyvlet-o'zgartirishlar nazariyasi, shuningdek, dissertatsiya ishida turli syujetlar va janrlardagi real televizion tasvirlarga ishlov berish bo'yicha sonli tajribalardan keng foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

bo'sag'aviy binarizatsiyalash usullaridan ko'ra, obyekt konturlarini ajratishda katta aniqlikni ta'minlaydigan, piksel qiymatlari foydalanishga asoslangan ikkilik tasvirlarni shakillantirishning yuqori tezlikdagi usuli ishlab chiqilgan;

butun kadr maydoni bo'ylab real vaqtda harakat kompensatsiyasini ta'minlaydigan, video obyektlarning perimetri, maydoni, shakl koeffitsiyenti va massalar markazi kabi parametrlaridan foydalangan holda tez harakatlanuvchi obyektlarning chiziqli harakatining konturli baholash usuli ishlab chiqilgan;

obyektlarning chiziqli harakatining yuqori tezligi bo'lgan sahnalarda butun kadr maydoni bo'ylab eng yaxshi tasvir sifatini ta'minlaydigan, obyektlar harakati uchun kontur kompensatsiyasiga asoslangan kadrlararo kodlash qurilmasining tuzilish sxemasi ishlab chiqilgan;

tez harakatlanadigan sahnalarda kompensatsiyalangan kadrlararo farqdan foydalangan holda, video oqimlarini 1,1-1,5 baravar siqishni oshirishga imkon

beradigan veyvlet video kodek uchun video oqimlarni kadrlararo kodlash mexanizmi takomillashtirilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

real vaqt rejimidagi syujetlarda, obyektlarining tez chiziqli harakati bo'lgan sahnalarda kodlash samaradorligini uzatish va amaliy televideniya kodeki bilan solishtirganda 1,1-1,5 barobar oshirish imkonini beruvchi usullar, algoritmlar va qurilma ishlab chiqilgan;

ishlab chiqilgan usul va algoritmlar uchun dasturiy mahsulotlarga 5 ta mualliflik guvohnomalari olingan;

taklif etilgan televizion tasvirlarni kadrlararo kodlash usullari videokuzatuv tizimlarida tasvir sifatini sezilarli darajada yaxshilash yoki videoyozuv qurilmasiga yozib olish vaqtini 1,1-1,5 barobarga oshirish imkonini beradi;

uzatish televideniyesi va videokuzatuv tizimlari uchun videokodek qurilmalarining variantlari ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi tadqiqot natijalarining ishonchliligini baholash uchun obyekt harakatining turli tezligiga ega bo'lgan turli syujetlar va janrlardagi video ketma-ketliklarning kadrlari test sinovdan o'tkazildi. Bunda ham tasvirlar sifatini vizual baholash, ham dastlabki va dekodlangan tasvirlarning piksel qiymatlarining o'rtacha kvadratik og'ishining standart ko'rsatkichlari (MSE) va ularni bashoratlash xatoliklarining yig'indisi (SEP) ishlatilgan. Mavjud standartlashtirilgan kodeklar natijalari bilan solishtirganda tavsiya etilgan usullar va algoritmlar bo'yicha tajribalar natijalari bilan tasdiqlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati obyektlarning konturlarini ajratib ko'rsatish, ularni aniqlash va geometrik xususiyatlar asosida harakatni baholash va veyvlet video kodekdagi kompensatsiyalangan kadrlar orasidagi farqni shakllantirish ikkilik tasvirlarni shakllantirish usullari va algoritmlaridan taklif qilingan kompleks foydalanish video tasvirlarning real vaqt oralig'ida siqilish tezligini 1,2-1,5 marttaga oshirish imkonini berishi bilan izohlanadi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati uzatish va amaliy televideniya masalan, video kuzatuv tizimlarida obyektlarning tez harakatlanishi va video kodlash qurilmasida arzon mikroprotsesser texnologiyasidan foydalangan holda video syujetlardagi tasvirlar sifatini yaxshilashni videoyozuv uskunasiga videofayllarni yozib olish vaqtining 1,1-1,5 barobar ortishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy etilishi. Ishlab chiqilgan kadrning butun maydoni bo'ylab videobyektlarning yuqori tezliklardagi chiziqli harakatini va fonni konturli kompensatsiyalash, kompensatsiyalangan kadrlar orasidagi farq va videoma'lumotlarni veyvlet o'zgartirishlarda kodlash usullar va algoritmlari asosida:

Toshkent radioteleuzatish markazida televizion dasturlarni samarali siqish tizimi joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligining 2023 yil 28 fevraldagi 33-8/1346-sonli ma'lumotnomasi). Tadqiqot natijalariga ko'ra, sport, ko'ngilochar va turli

ko'rsatuvlarining visual sifatini oshirish, shuningdek, videoservertardagi dasturlarni yozib olish vaqtini 1,2-1,5 marttaga oshirish imkonini bergan.

“SETKO” MCHJda videokuzatuv tizimlarida videoma'lumotlarni yanada samaraliroq siqish tizimi foydalanishga tavsiya etilgan (O'zbekiston Respublikasi Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish vazirligining 2023 yil 28 fevraldagi 33-8/1346-sonli ma'lumotnomasi). Olingan natijalar yo'l harakati tasvirlari sifatini oshirish va videoservertlarda videoyozuvlar davomiyligini 1,3-1,5 barobarga oshirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarini aprobatsiyalanishi. Tadqiqot natijalari 16 ta ilmiy-texnik konferensiyalarda, shu jumladan 7 ta xalqaro va 9 ta respublika konferensiyalarida muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarini nashr etilishi. Tadqiqot mavzusi bo'yicha jami 30 ta ilmiy maqolalar, shundan 9 tasi O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi ro'yxatidagi ilmiy jurnallarda, jumladan, 4 ta xalqaro va 5 ta respublika jurnallarda maqolalar chop etilgan, shuningdek, dasturiy mahsulotlarga 5 ta mualliflik guvohnomalari olingan.

Dissertatsiyaning tuzilmasi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, uchta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 116 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYA ISHINING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslangan, maqsadlari va vazifalari, tadqiqot obyekti va predmeti aniqlangan, tadqiqotning O'zbekiston Respublikasi fan va texnikani rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi keltirilgan, tadqiqotning yangiligi, tadqiqotlarning amaliy natijalari yoritilgan, ularning ishonchliligi asoslangan, nazariy va amaliy ahamiyatini ochib berilgan, ularning joriy qilinishi va nashr etilishi, shuningdek, dissertatsiyaning tuzilmasi haqida ma'lumotlar berilgan.

Dissertatsiyaning “**Televizion tasvirlarni kadrlararo kodlash usullari va tamoyillari**” birinchi bobida videoma'lumotlarni kadrlararo kodlashning zamonaviy nazariyasi va amaliyoti yutuqlari tahlil qilingan va aloqa kanallari orqali uzatishda TV tasvirlarni siqish uchun qo'shni kadrlardagi videoobyektlarning harakatini kompensatsiyalash (HK) mavjud usullari tahlil qilingan.

ITU-R (ITU - radio communication) BT656 tavsiyasiga muvofiq, standart aniqlikdagi uzatish televideniyesi siqilmagan raqamli signalining ikkilik simvollarini uzatish tezligi 216 Mbit/sga yetadi, bu zamonaviy radiokanallarning o'tkazish qobiliyatidan sezilarli oshadi. Shuning uchun signallar va kanallar parametrlarini moslashtirish uchun TV tasvirlarda ortiqcha ma'lumotlarni yo'q qilishga asoslangan videoma'lumotlarni turli siqish usullari qo'llaniladi. Bundan tashqari, TV tasvirlardagi ortiqcha ma'lumotlarning hajmi ko'p jihatdan tasvirning tuzilmasiga bog'liq, ya'ni yirik obyektlarga ega bo'lgan tasvirlar yaxshi siqiladi, lekin kichik tuzilmalarga ega bo'lgan tasvirlar yomon siqiladi. Mos ravishda, aloqa kanallari orqali o'zgarmas tezlikda uzatish uchun bunday videosujetlar sifat

yo‘qotishlari hisobigai siqilgan bo‘lishi kerak. Shu munosabat bilan tasvirlarning vizual sifatini pasaytirmaydigan videoma‘lumotlarni siqishning yangi usullarini yaratish muhim ilmiy-texnik masala hisoblanadi.

TV tasvirlarning tahlili shuni ko‘rsatadiki, ularda katta ortiqcha (bashoratlanadigan) ma‘lumotlar hajmiga ega bo‘lib, ular quyidagi sinflarga bo‘linadi: kodli ortiqchalik, elementlararo yoki statistik, psixovizual, tuzilmaviy va vaqt bo‘yicha yoki kadrlararo ortiqchalik. Mos ravishda, videoma‘lumotlarni siqish odatda bir yoki bir nechta ortiqchaliklar turlarini yo‘qotish yo‘li bilan amalga oshiriladi va kodlash qurilmasida ortiqcha ma‘lumotlarning qancha ko‘p turlari yo‘qotilsa, aks ettiriladigan tasvirlarning vizual sifatini pasaytirmasdan videoma‘lumotlarning hajmini shunchalik ko‘p siqishni amalga oshirish mumkin. Bundan tashqari, bitta videosyujet chegaralarida qo‘shni kadrlardagi ma‘lumotlar odatda kam o‘zgarishi sababli, raqamli televideniya videosyujetining asosiy siqilishiga aynan HK asosida kadrlar orasidagi ortiqchalikni yo‘qotish bilan erishiladi.

Ushbu bobda TV tasvirlarda odatda lokal, global, kombinatsiyalangan bo‘lishi mumkin bo‘lgan sahna obyektlarining qandaydir harakatlanishi, masshtabdagi o‘zgarishlar, buralishlar va aylanishlar mavjudligiga bog‘liq kadrlar kodlash masalalari va muammolari ko‘rib chiqilgan. Bundan tashqari, harakat tezligi yuqori tezlikdan statik sahnalargacha o‘zgarishi mumkin, bu alohida videosyujetlarning HKni sezilarli murakkablashtiradi yoki mumkin emas qiladi.

Qo‘shni kadrlarda harakatni baholash (HB) asosiy usullarining tasniflanishi ham ko‘rib chiqilgan va eng keng tarqalgan harakatni baholash va kompensatsiyalash usullari tahlil qilingan.

“Zamonaviy videokodeklarni qurish va ularning ish samaradorligini baholash tamoyillari” ikkinchi bobi uzatish va amaliy televideniya uchun asosiy kodeklarni yaratish va ishlash printsiplarini tahlil qilishga va ularning turli xil videosyujetlarda ishlash samaradorligini baholash bo‘yicha eksperimental tadqiqotlar o‘tkazishga, shuningdek tadqiqot muammosini qo‘yilishiga bag‘ishlangan.

Ushbu bobda hozirgi vaqtda uzatish va amaliy televideniya videosyujetlar uchun eng ko‘p qo‘llaniladigan kodeklar MPEG-4 AVC, H.264 va H.265 ekanligi o‘rnatilgan. Shu bilan birga, eskirgan MPEG-2 standarti ham arzon video kuzatuv tizimlarida va videokameralarning ayrim turlarida cheklangan foydalaniladi. Bundan tashqari, videokuzatuv tizimlari uchun Hikvision kompaniyasi H.264 va H.265 standartlari asosida H.264+, H.265+ maxsus kodeklarini ishlab chiqdi, ular amaliy televideniya videosyujetlar hajmini sezilarli kamaytirishga imkon beradi.

MPEG-2 standartida kadrlardagi tasvirlar qayd etilgan o‘lchamlardagi makrobloklarga bo‘linadi, ularning har biri 8x8 pikselli oltita bloklardan iborat bo‘lib, bu yerda ulardan to‘rttasi Y (16 x 16) piksellar yorug‘lik signali matritsasi va bittasi 8x8 piksellar o‘lchamdagi U va V rangli farq komponentlari blokini hosil qiladi. Bundan tashqari, agar tasvirning o‘lchami 16 pikselga karrali bo‘lmasa, u holda tasvirning makrobloklar butun soniga bo‘linishini ta‘minlash uchun satrlar

va ustunlar bo'yicha nolga teng yorqinlik piksellarining yetishmayotgan soni kadrning pastki va o'ng chetlariga qo'shiladi. Bunda MPEG-2 standartida videoma'lumotlarni siqish uchun DKO' asosidagi spektral o'zgartirish, uzun ketma-ketliklar kompressori (RLE) va Xaffman jadvali entropiya koderi ishlatiladi. Uning HKga ega kadrlararo kodlash tizimida quyidagi 3 turdagi kadrlar qo'llaniladi:

I – tayanch kadrlari, ulardan dekoderning ishonchli ishlashi uchun kiritiladigan videosujetni qurish boshlanadi;

P – HKni to'g'ridan-to'g'ri bashoratlash kadrlari, ular bloklarni bashoratlash xatoliklari va ularning harakat vektorlariga ega bo'ladi;

B – ikki yo'nalishli interpolatsiyalash kadrlari, ularda HKni bashoratlash ham keyingi, ham oldingi kadrlar bo'yicha amalga oshiriladi. Bu kadrlar odatda faqat bloklarning harakat vektorlarini o'z ichiga oladi.

MPEG-2 standartining asosiy kamchiligi blokda tasvir buzilishlari hali ham sezilmaydigan 3 Mbit/sdan oshadigan uning yetarlicha yuqori bitreyti hisoblanadi. Biroq, bunday bitreyt uzatish kanallarining chastotalar resurslaridan foydalanishning nosamaradorligiga olib keladi. Shuning uchun, 2003 yilda MPEG-2 va MPEG-4 standartlari asosida bitreytni 1,5 Mbit/sgacha kamaytirishga imkon beradigan MPEG-4 AVC (Advanced Video Coding - "videoni yaxshilangan kodlash") yoki H.264 yaxshilangan videosiqish standarti ishlab chiqilgan.

H.264 standartida qayd etilgan o'lchamli bloklar o'rniga o'zgaruvchan o'lchamli bloklardan foydalaniladi, bu esa HK aniqligini oshirish hisobiga kadrlararo farqlarni kamaytirishga imkon beradi. H.264 standartida kompressor qismida o'zgaruvchan uzunlikdagi kodlar bilan tarkibga moslashgan entropiya kodlash asosidagi Adamar o'zgartirishi va arifmetik kodlashdan foydalaniladi. Bundan tashqari, H.264 standartida qo'zg'olmas fon tasvirlarini va kengaytirilgan obyektlar teksturalarini siqishni ta'minlaydigan veyvlet o'zgartirishlarda ishlaydigan fon va teksturalar koderidan foydalaniladi.

Yuqori va o'ta yuqori aniqlikdagi 4K va 8K televizion formatlarining paydo bo'lishi munosabati bilan tasvirlarning o'zgarimas sifatida H.264 standartidagidan 2 barobar ko'proq videooqimni siqishni ta'minlaydigan yangi videokodlash standartini yaratish zarurati paydo bo'ldi. SHuning uchun 2013 yilda H.265 yoki HEVC (High Efficiency Video Coding, ya'ni yuqori samarali videokodlash) nomini olgan yaxshilangan video kodlash varianti ishlab chiqilgan. Uning kompressor qismida H.264/AVC standartidan farqli ravishda modifikatsiyalangan diskret-kosinus o'zgartirish (MDKO') va sinus o'zgartirishidan, shuningdek, SBAC (*syntax-based context-adaptive binary arithmetic coder*) sintaksis yo'naltirilgan tarkibga moslashgan ikkilik arifmetik koderdan foydalaniladi. Shuningdek, HK tizimiga katta 32x32 va 64x64 pikseli bloklar qo'shildi, bu yuqori aniqlikdagi videoni (4K) samaraliroq kodlash imkonini beradi. Binobarin, barcha oldingi standartlarda qo'llanilgan makrobloklar o'rniga H.265 standartida tasvirlarni kodlash va dekodlash uchun daraxtsimon tuzilmalardan foydalaniladi.

Biroq, videokodeklarning asosiy muammosi shundaki, televideniya videooqimlarni siqish samaradorligi ham tasvirlarning tuzilmasiga, ham

videoobyektlarning harakat kattaligiga bog'liq. Shunday qilib, nisbatan bir jinsli obyektarga ega tasvirlar ko'proq ortiqcha ma'lumotlarni o'z ichiga oladi va yaxshi siqiladi. Yuqori tafsilotlarga ega mayda tuzilmalarga ega tasvirlar esa kam ortiqchalik ma'lumotlarini o'z ichiga oladi va shuning uchun yomon siqiladi. Mos ravishda, bitreytni barqarorlashtirish uchun yomon siqiladigan tasvirlar foydali ma'lumotlarning yo'qotilishi hisobiga koderning kvantizatori orqali siqiladi, bu tasvirning sezilarli buzilishlariga va ularning sifatining yomonlashishiga olib keladi. SHuning uchug zamonaviy videokodeklarning kadrlararo kodlash samaradorligini baholash uchun turli tuzilmalar va harakat turlariga ega tasvirlar ketma-ketligiga ishlov berishda ularning ishlashini eksperimental tadqiq qilish o'tkazilgan.

Uzatish standarti syujetlarini kodlash samaradorligini baholashda "Videomaster 12.0" yarim professional transkoder dasturiy paketiga kiritilgan MPEG-2, XviD, H.264 va H.265 kodeklaridan foydalanilgan. Bunda lokal, global va kombinatsiyalangan sahna harakati, katta va kichik tuzilmalarga ega bo'lgan testlash videosyujetlari (ayiq, kapalak, sharshara) ustida tadqiqotlar olib borildi. Shuningdek, 28 Mbit/sdan ortiq bitreytga ega yarim professional kameralar bilan suratga olingan kuchsiz va kuchli lokal harakatga, optik masshtablashtirish va aylanishga ega sahnalardan foydalanildi. Qolaversa, televideniye vizual kuzatuv tizimi bo'lgani uchun tabiiyki, tasvir sifatini tomoshabin baholaydi. Biroq, idrok etishning sub'ektivligi tufayli sub'ektiv baholash usuli ham bitta kodekning kodlash parametrlarini, ham turli kodeklarning kodlash algoritmlarini taqqoslashning miqdoriy baholashni bermaydi. SHuning uchun amalda ko'pincha turli ko'rsatkichlarni hisoblash asosida tasvir sifatini obyektiv baholash usullari qo'llaniladi. SHunday qilib, MSE ko'rsatkichlari (*Mean Squared Error – o'rtacha kvadratik xatolik*) dastlabki va dekodlangan tasvirlarning piksellari qiymatlarining og'ishlarini quyidagi formula bo'yicha baholaydi:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i, j) - K(i, j)|^2 \quad (1)$$

bu yerda L - dastlabki tasvir, K – aks ettiriladigan tasvir, M va N - tasvirning gorizontal va vertikal o'lchamlari. L(i, j) - (i, j) koordinatalarga ega X tasvirning piksel qiymati.

Agar tasvirlar mos kelsa, u holda MSE qiymat 0 ga teng. Mos ravishda, ko'rsatkichlar qiymati tasvirdagi buzilishlar ortishi bilan ortadi.

Amalda tez-tez qo'llaniladigan yana bir ko'rsatkich eng yuqori signal/shovqin nisbati (*peak-to-peak signal-to-noise ratio, PSNR*) deyiladi. Bu ko'rsatkich ko'pincha tasvirlarni siqishda buzilish darajasini o'lchash uchun ishlatiladi, u quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (2)$$

bu yerda MAX_I^2 - tasvirdagi piksel qabul qiladigan maksimal qiymat. Agar piksellar 8 bit razryadlilikka ega bo'lsa, $MAX_I = 255$ bo'ladi.

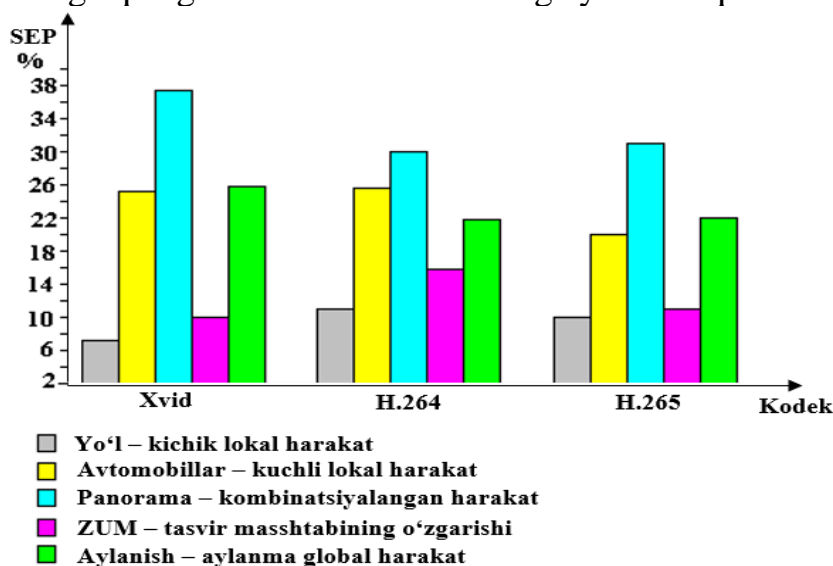
Bu ko'rsatkichlar blokli buzilishlarda piksellarning o'rtacha qiymatlari kam o'zgaradi, garchi vizual tasvir kuchli buzilgan qabul qilinishi mumkin bo'lsada, shuning uchun ularning qiymatlari past olinishiga bog'liq kamchiliklarga ega. Shuning uchun yanada mos baholash uchun dastlabki va qayta tiklangan tasvirlarning piksellar qiymatlarini bashoratlash xatoliklari yig'indisini solishtirishdan iborat bo'lgan piksellar qiymatlarini bashoratlash xatoliklarining yig'indisini (SEP) hisoblashga asoslangan usul ishlab chiqilgan. Shu maqsadda turli xil interpolatorlardan, masalan, uch nuqtali filtrdan foydalanish mumkin:

$$D_1 = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} b'_{(1)i}, \quad D_2 = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} b'_{(2)i}, \quad \text{gde } b'_i = \frac{b_i - (b_{i-1} + b_{i+1})}{2} \quad (3)$$

D_1 va D_2 - mos ravishda dastlabki va dekodlangan kadrlarning piksellar qiymatlarini bashoratlashdagi xatoliklar yig'indisi; b - dastlabki va dekodlangan tasvir massivlarining piksellar qiymatlari. Bunda kadrning SEP qiymatini quyidagi formula bo'yicha aniqlash mumkin:

$$SEP = \frac{D1 - D2}{D1} * 100\% \quad (4)$$

Bu usulni tanlash bitreytni boshqaradigan kodek kvantlagichining ishlashi tasvirning ravshanligini pasaytiradigan yuqori chastotali komponentlarini yo'qotilishiga, rang relefini silliqilanishiga va yorqinlik darajalari sonini kamayishiga olib kelishiga asoslanadi. Shuning uchun, bu ko'rsatkich MSE va PSNR ko'rsatkichga qaraganda vizual idrok etishga yaxshiroq mos keladi.



1-rasm. Xvid, H.264, H.265 kodeklari bilan kodlangan testlash sahnalari kadrlarining maksimal buzilishlari gistogrammalari

1-rasmda keltirilgan Xvid, H.264, H.265 kodeklar bilan beshta testlash videosyujetlarini kodlash samaradorligini tadqiq qilish natijalari shuni ko'rsatadiki, turli harakat tezligi, masshtab va aylanishlarga ega syujetlarni kodlashda barcha turdagi tadqiq qilinadigan kodeklarja HK faqat kichik va o'rta tezliklardagi harakatlarda va masshtablar o'zgarishlariga ega sahnalarda ishlaydi (1-jadval). Bu 7-11% sathdagi nisbatan past buzilishlar qiymatini ko'rsatadi. Tez va kombinatsiyalangan harakatga ega sahnalarda esa HK ishlashni to'xtatadi, chunki

kadrlardagi videoobyektlarning surilishi harakatni baholash uchun o'rnatilgan qidiruv zonasidan oshadi.

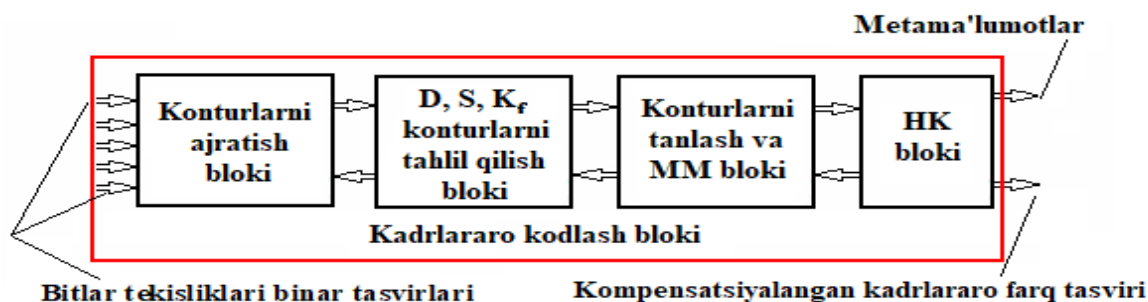
Kameraning aylanishiga ega tasvirlarga ham, garchi bu maqsadlar uchun kameraning aylanishlari va harakatlarini kompensatsiyalash uchun parametrik modellarning maxsus usullari ishlab chiqilgan bo'lsa-da, harakat kompensatorlari orqali ishlov beriladi. Ammo 22-26%gacha bo'lgan yuqori buzilishlar qiymatlari bu modellar kodeklarda ishlatilmasligini ko'rsatadi.

Dissertatsiyaning **“Televizion tasvirlarni kadrlararo kodlash usullari, algoritmlari va qurilmalarini ishlab chiqish”** uchinchi bobida real vaqt rejimida TV tasvirlarni kadrlararo kodlash usullari va algoritmlariga hamda ularning ishlashini modellashtirish uchun dasturlash tilini va muhitini tanlashga qo'yiladigan talablar shakllantirilgan. Natijada, eksperimental tadqiqotlarni o'tkazish qulayligini ta'minlash uchun kodeklarni boshqarish interfeyslari grafik qobiqlarini yetarlicha oddiy qurish va olingan natijalarni eks ettirish imkonini beradigan Borland Builder-6 muhitidagi C++ dasturlash tili tanlandi(2-rasm).



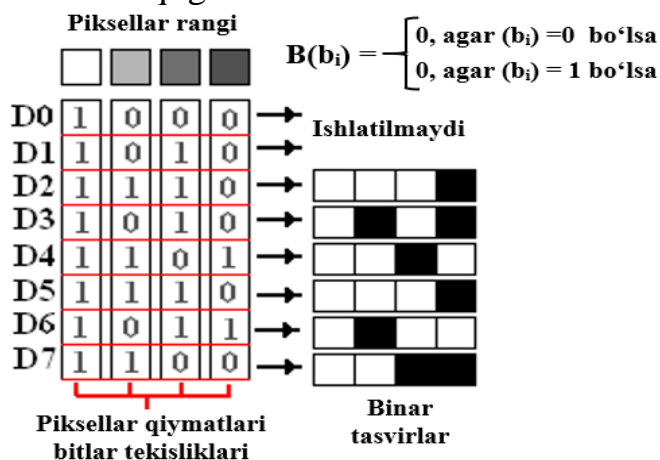
2-rasm. Ikkita kadrda avtomobilning dastlabki tasvirlari va ularning yorug'lik tasvirlari bilan interfeys panelining ko'rinishi

Shakllantirilgan talablar asosida butun kadr maydoni bo'ylab obyektning chiziqli harakatining yuqori tezligiga ega bo'lgan videosyujetlarni kadrlararo kodlash samaradorligini oshirishni ta'minlaydigan obyekt konturlarini ajratish asosida veyvlet videokodek kadrlararo kodlashning tuzilish sxemasi ishlab chiqilgan (3-rasm).



3-rasm. TV tasvirlarni kontur asosida kadrlararo kodlash qurilmasining umumlashtirilgan tuzilish sxemasi

Ishlash printsipti 4-rasmda keltirilgan bo'sag'aviy binarlashtirish usullariga qaraganda real vaqt rejimida videoobyektlarning eng yaxshi sifatini ta'minlaydigan piksellar qiymatlarining bitlar tekisliklari bo'yicha binar (ikkilik) tasvirlarni shakllantirish usuli ishlab chiqilgan.

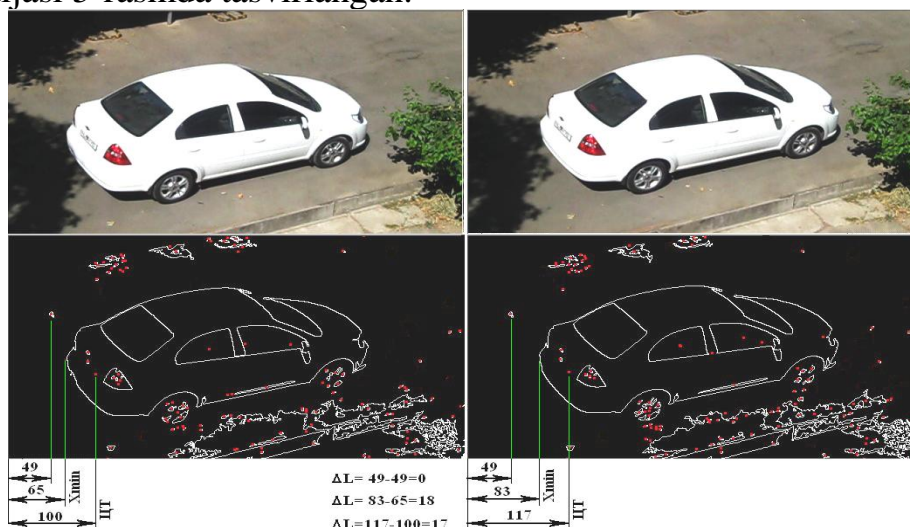


4-rasm. Piksellar qiymatlarining bitlar tekisliklari bo'yicha binar tasvirlarni shakllantirish usulining ishlash printsipti

Quyidagi formulalar bilan aniqlanadigan perimetr, maydon, shakl koeffitsienti va massalar markazi (MM) kabi kontur parametrlarini taqqoslash asosida tez harakatlanadigan obyektning chiziqli harakatini konturli baholash usuli ishlab chiqilgan:

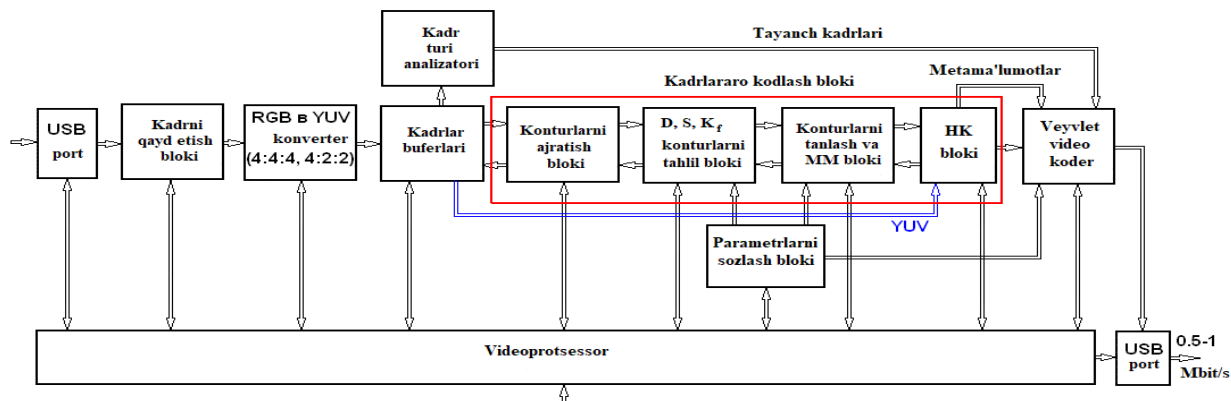
$$O_x = \sum_{j=1}^m \frac{(x2_j - x1_j) / 2 + x1_j}{m}; \quad O_y = \sum_{i=1}^n \frac{(y2_i - y1_i) / 2 + y1_i}{n} \quad (5)$$

bu yerda: O_x va O_y - kontur massalar markazining mos gorizontal va vertikal koordinatalari; $x2$, $x1$ - konturning gorizontal bo'yicha koordinatalarining maksimal va minimal qiymatlari; $y2$, $y1$ - konturning vertikal bo'yicha koordinatalarining maksimal va minimal qiymatlari; n va m - kontur kengligi va balandligining piksellardagi o'rta kesim qiymatlari. Bu usul butun kadr maydoni bo'ylab real vaqt rejimida harakatni kompensatsiyalashni ta'minlaydi, uning ishlash natijasi 5-rasmda tasvirlangan.



5-rasm. Qo'shni kadrlarda obyektning surilishlarini aniqlashga misol

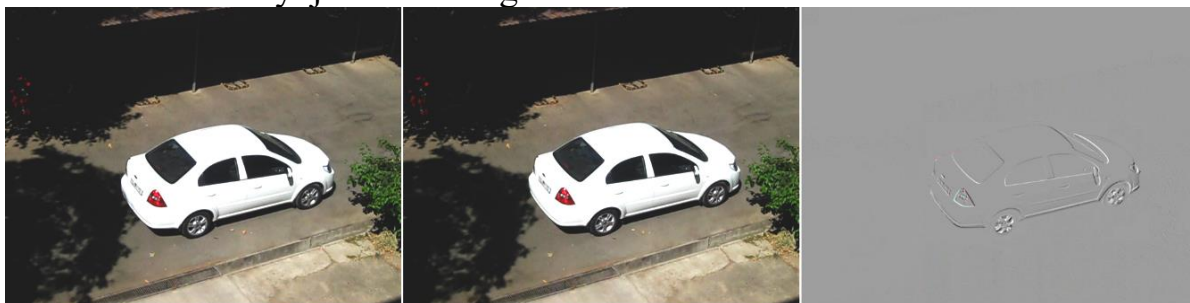
Veyvlet videokodekning kadrlararo kodlash mexanizmi ham kompensatsiyalangan kadrlararo farqni shakllantirish asosida takomillashtirilgan, uning umumlashtirilgan tuzilish sxemasi 6-rasmda, uning ishlash natijasi esa 7-rasmda keltirilgan.



6-rasm. Kontur asosida kadrlararo kodlashga ega veyvlet videokodekning takomillashtirilgan umumlashtirilgan tuzilish sxemasi

Ishlab chiqilgan usullar va algoritmlarning samaradorligini baholash bo'yicha eksperimental tadqiqotlar o'tkazish uchun kodlashni boshqarish qulay grafik interfeysiga ega Borland Builder-6 muhitida C++ dasturlash tilida eksperimental kodek dasturi ta'minoti ishlab chiqilgan.

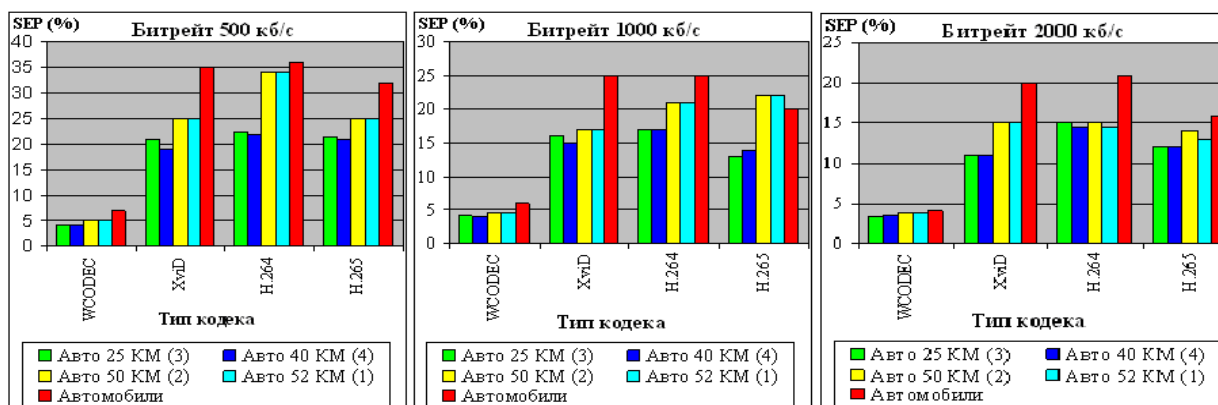
Ishlab chiqilgan TV tasvirlarni kadrlararo kodlash usullarining samaradorligini baholash uchun "Videomaster" dasturiy paketi tarkibiga kiradigan oldin tadqiq qilingan Xvid, H.264 va H.265 kodeklariga nisbatan eksperimental **WCODE** veyvlet kodekining ishlashini tadqiq qilish o'tkazilgan. Bunda ishlab chiqilgan kodlararo kodlash usullari tadqiq qilingan kodeklar qo'llamaydigan yuqori tezliklardagi obyektlarning chiziqli harakatini HKni ta'minlashga qaratilganligini hisobga olish bilan avtomobillarning yuqori tezlikli harakati va yo'l harakati videosyujetlari tanlangan.



7-rasm. Ikki qo'shni kadrning tasvirlari va ularning kompensatsiyalangan kadrlararo farqining natijasi

Testlash sahnalarini siqish bo'yicha o'tkazilgan tadqiqotlar gistogrammalarda tasvirlanganidek, oldin tadqiq qilingan kodeklarga nisbatan ishlab chiqilgan kadrlararo kodlash usullarining yuqori samaradorligini ko'rsatdi (8-rasm).

Bunda harakat kompensatorini qurish uchun ishlab chiqilgan usul murakkab iteratsion hisoblash jarayonlarini o'z ichiga olmaydi, videokuzatuv tizimlarida muhim bo'lgan sodda va arzonroq mikroprotessorlar texnikasidan foydalanishga imkon beradigan sodda va tezkor algoritmlardan foydalanadi.



8-rasm. Tadqiq qilindigan kodeklarning 500, 1000 va 2000 Kbit/s bitreytlardagi kiritadigan buzilishlarni baholash natijalari

Uzatish va amaliy televideniye tizimlari uchun ishlab chiqilgan TV tasvirlarni kadrlararo kodlash qurilmasini amalga oshirish uchun zamonaviy mikroprotessorlar bazasini tanlash uchun tahlil va asoslash amalga oshirilgan. Bunda uzatish televideniyesi uchun “ELVIS” ilmiy-ishlab chiqarish markazi OAJ da yaratilgan 1892VM10Ya mikrokontrolleri asosidagi NVCom-01MEM-3U sozlash moduli platasidan foydalanish taklif etilgan. Bu qurilma real vaqt rejimida tasvirlarga ishlov berishga mo‘ljallangan, zarur tashqi qurilmalar va xotiraga ega 3-yadroli mikrokontrollerga ega. Bundan tashqari, 1892VM10 mikrokontrolleriga o‘rnatilgan 2 ta yuqori tezkor raqamli signallar protessorlari (DSP) bu moduldan nafaqat videooqimlarni, balki audiosignallarni kodlash uchun ham samarali foydalanish imkonini beradi.



9-rasm. A12A55 videoprotessori asosidagi Hikvision DS-2CD2625FWD-IZS videokuzatuv kamerasi va boshqaruv platasining tashqi ko‘rinishi

Amaliy televideniye tizimlari uchun ko‘plab turdagi videokuzatuv kameralarida, jumladan, eksperimentlarni o‘tkazish uchun ishlatiladigan Hikvision DS-2CD2625FWD-IZS kamerasida qo‘llaniladigan narxi 10-15 AQSH dollar bo‘lgan, 9-rasmda ko‘rsatilgan arzon A12A55 protessori tanlangan.

XULOSA

Tadqiqot natijalariga ko‘ra dissertatsiyada quyidagi xulosalar keltirilgan:

1. Televizion tasvirlarni kadrlararo kodlashning mavjud usullarini tasniflash amalga oshirildi, bu ularning afzalliklari va kamchiliklari asosida kadrlararo kodlash usulini tanlashga xizmat qildi.

2. Eng keng tarqalgan MPEG-2, MPEG-4 AVC, H.264 va H.265 standartlarining videokodeklarini qurish va ishlash tamoyillari tahlil qilingan va

har xil turlardagi obyektlar harakatlariga ega testlash videosahnalarda ularning ishlash samaradorligi tadqiq qilindi, ularning natijalari bo'yicha tadqiqot maqsadlari aniqlandi.

3. Piksellar qiymatlarining bitlar tekisliklari bo'yicha ikkilik tasvirlarni yaratish usuli ishlab chiqilgan bo'lib, u real vaqt rejimida videoobyektlarning bo'sag'aviy binarizatsiyalash usullariga qaraganda eng yaxshi sifatini ta'minlaydi

4. Obyekt konturlarini ajratish asosida veyvlet videokodekni kadrlararo kodlash tuzilish sxemasi ishlab chiqilgan bo'lib, u butun kadr maydoni bo'ylab obyektlarning yuqori tezlikli chiziqli harakatiga ega videosahnalarni kadrlararo kodlash samaradorligini oshirishni ta'minlaydi;

5. Perimetr, maydon, shakl koeffitsiyenti va massalar markazi kabi kontur parametrlarini taqqoslash asosida tez harakatlanadigan obyektlarning chiziqli harakatini konturli baholash usuli ishlab chiqilgan bo'lib, u butun kadr maydoni bo'ylab real vaqtda harakatni kompensatsiyalashni ta'minlaydi;

6. Kompensatsiyalangan kadrlararo farqdan foydalanish asosida veyvlet videokodekning kadrlararo kodlash mexanizmi takomillashtirildi. Modernizatsiyalangan veyvlet videokodek bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, obyektlarning yuqori tezlikla chiziqli harakatiga ega bo'lgan videosahnalarda tasvirlarning sifati MPEG-2, MPEG-4 AVC, H.264 va H.265 kodeklar bilan solishtirganda 4 yoki ortiqqa yaxshilanishi bo'lib o'tadi. Bu, ayniqsa, videooqimining yuqori siqilishida sezilarli bo'ladi.

7. Uzatish televizideniyesi videokodeki uchun ishlab chiqilgan veyvlet harakat kompensatorini apparatli amalga oshirilishi uchun "Elvis" kompaniyasining real vaqt rejimida tasvirlar va videooqimlarga ishlov berishga mo'ljallangan 1892VM10YA 3 yadroli mikrokontrollerdagi NVCom-01MEM-3U ko'p funksiyali yig'ish moduli tanlandi. Uzatish televizideniyesi tizimlar uchun, masalan, videokuzatuvda ishlatiladigan tizimlar uchun esa tajribalarni o'tkazish uchun ishlatiladigan Hikvision DS-2CD2625FWD-IZS kamerasida ishlatiladigan Ambarella firmasining A12A55 videoprotsessori ko'rib chiqildi.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.13/30.12.2019.T.07.02 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES**

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

MUKHAMEDOVA DIYORABEGIM BAKHTIYOR QIZI

**METHODS OF INTERFRAME VIDEO STREAM CODING FOR
BROADCAST AND APPLIED TELEVISION SYSTEMS**

**05.04.02 – Radio engineering, radionavigation, radiolocation and television systems. Mobile,
fibrous-optical communications systems**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON
TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2025

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme attestation commission at the Ministry of higher education, science and innovation of the Republic of Uzbekistan under number B2024.1.PhD/T4351.

The dissertation has been prepared at the Tashkent university of information technologies named after Muhammad al-Khwarizmi.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the Scientific Council website www.tuit.uz and on the website of «ZiyoNet» Informaton and Educational portal www.ziynet.uz.

Scientific adviser:

Gavrilov Igor Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, associate professor

Official opponents:

Davronbekov Dilmurod Abdujalilovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

Yarmukhamedov Alisher Agbarovich

Candidate of Technical Sciences, associate professor

Leading organization:

Military institute of information communication technologies and signals

The defence will take place on “_____” of _____ 2025 at _____ the meeting of Scientific Council DSc.13/30.12.2019.T.07.02 at Tashkent university of information technologies. (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (99871) 238-64-15; e-mail: info@tuit.uz).

The dissertation could be reviewed in the Information Resource Centre of Tashkent university of information technologies named after Muhammad al-Khwarizmi. (registration number No. _____). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur str., 108. Tel.: (99871) 238-64-15).

The abstract of dissertation is distributed on “_____” _____ 2025.
(protocol at the register № _____ “_____” _____ 2025)

B.Sh. Makhkamov

Chairman of the Scientific Council awarding scientific degrees, doctor of economical sciences, professor

M.S. Saitkamolov

Scientific secretary of Scientific Council awarding scientific degrees, doctor of economical sciences, docent

D.Ya. Irgasheva

Chairman of the academic Seminar under the Scientific Council awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research is to improve the efficiency of interframe coding of video clips with high speeds of linear movement of video objects for broadcast and applied television systems.

The object of the research work is video data of standard and high definition television images.

The scientific novelty of the research work as follows:

a high-speed method for forming binary images based on the use of bit planes of pixel values has been developed, which ensures greater accuracy in detecting object contours than threshold binarization methods;

a method for contour estimation of the linear motion of fast-moving objects has been developed, using such parameters of video objects as perimeter, area, shape factor and center of mass, which ensures real-time compensation of motion across the entire frame field;

a structural diagram of an interframe coding device based on contour compensation of object motion has been developed, ensuring better image quality across the entire frame field on scenes with high speeds of linear motion of objects;

an interframe coding mechanism for video streams for a wavelet video codec has been improved, using compensated interframe difference, allowing for increasing video stream compression by 1,1-1,5 times on scenes with fast movement.

Implementation of the research results. Based on the developed methods and algorithms for contour compensation of the linear motion of high-speed video objects and background across the entire frame field, compensated interframe difference and video data coding on wavelet transforms:

a system for effective compression of television programs was introduced at the Tashkent Radio and Television Transmission Center (certificate of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan No. 33-8/1346 dated February 28, 2023). The results of the study established the possibility of increasing the visual quality of sports, entertainment and video broadcasts, as well as increasing the capacity of the transmission channel by 1,2-1,5 times;

a system of more efficient video data compression in video surveillance systems was recommended for use in SETKO LLC (certificate of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan No. 33-8 / 1346 dated February 28, 2023). The results obtained make it possible to improve the quality of road traffic images and increase the duration of video recordings in video servers by 1,3-1,5 times.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, three chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 116 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть; I part)

1. Гаврилов И.А, Отто С.Э., Бобобекова Д.Б., Пузий А.Н. Влияние выбора вейвлет фильтра на эффективность сжатия изображений. Научно-технический журнал «Вестник ТУИТ». Ташкент-2013. №1-2. ISSN 2010-9857. –С. 37-44 (05.00.00; №31).

2. Пузий А.Н., Бобобекова Д.Б., Умаров У.А. Анализ методов сжатия данных ТВ изображений. Научно-технический журнал «Вестник ТУИТ». Ташкент-2013. №1-2. ISSN 2010-9857. –С. 53-62 (05.00.00; №31).

3. Mukhamedova D.B Principles of Construction and Operation of Video Codecs on Wavelet Transforms. // European Journal of “Innovation in Nonformal Education (EJINE)”. Vol.4, Iss.9. Belgium - 2024. ISSN: 2795-8612. -P. 234-247 (O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiyasi komissiyasining dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro‘yhati kitobi 3-betida keltirilgan bazasida indekslangan jurnal) (№14 ResearchBib IF 10.48/2024).

4. И.А. Гаврилов, А.Н. Пузий, Д.Б.Мухамедова, А.Х. Ахмедова. Оценка меж кадрового движения видеообъектов и параллаксных разностей стереопар в телевизионных системах беспилотных летательных аппаратов. Журнал «Авиакосмическое приборостроение». №10, 2021. -С. 13-22 (05.00.00; Mustaqil davlatlar hamdo‘stligi mamlakatlari nashrlari №2).

5. Mukhamedova D.B, Gavrilov I.A., Puziy A.N. Analysis of block methods for motion estimation in inter-frame TV coding.// “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. №2(20)/2022. ISSN-21-81-9211. –P. 130-138 (05.00.00; №10).

6. Mukhammedova D.B, Gavrilov I.A., Puziy A.N., Alkhamov R.R. The hybrid wavelet video encoder with interframe coding on a contour selection basis and its efficiency estimation. // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. №1(23)/2023. -P. 94-102 (05.00.00; №10).

7. I.Gavrilov, D.Mukhammedova, A.Puziy, A.Akhmedova. Improving the efficiency of the motion determining of video objects used the contours of their binary images International Conference on Information Science and Communications Technologies, “ICISCT 2021”. Tashkent, Uzbekistan -2021.-doi:10.1109/ICIST52966.2021.9670392. -4p (OAK riyosatining qarori 30.09.2021 yil №525)

8. I.Gavrilov, A.Puziy, D.Mukhammedova, A.Akhmedova. Improving the efficiency of determining paired points in frames of a stereo pair based on the edge detection from their binary images. International Conference on “Information Science and Communications Technologies, ICISCT 2022”. Tashkent, Uzbekistan, 2022. DOI:10.1109/ ICIST55600.2022.10146871. -5p

9. Д.Б.Мухамедова. Принципы построения и работы видеокодеков на вейвлет преобразованиях. “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. №3(29)/2024. -С. 278-287 (05.00.00; №10).

II bo'lim (II часть; II part)

10. Д.Б. Мухамедова. Исследование зависимости эффективности сжатия изображений от выбора типа вейвлет фильтра. Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции молодых ученых, исследователей, магистрантов и студентов «Информационные технологии и проблемы телекоммуникаций». Часть 4. Ташкент-2013. –С. 179-180.

11. Д.Б. Мухамедова. Обеспечение больших коэффициентов сжатия видеопотоков в реальном масштабе времени. Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции «Проблемы информационных и Телекоммуникационных технологий». Часть 3. Ташкент-2015. -С. 419-421.

12. Д.Б. Мухамедова, Гаврилов И.А. Методы повышения эффективности сжатия видеоданных ТВ изображений в реальном масштабе времени. Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции «Проблемы информационных и телекоммуникационных технологий». Часть 4. Ташкент -2016. -С. 409-412.

13. Mukhammedova D.B. Ensuring High Compression Ratio for Real-Time Video Streams. International Scientific-Practical Conference “Formation and Development of Pedagogical Creativity”. Belgium -2024. –P. 32-33.

14. Mukhammedova D.B. Study of the Dependence of Image Compression Efficiency on the Choice of Wavelet Filter Type. International Scientific-Practical Conference, “Formation and Development of Pedagogical Creativity”. Belgium - 2024. –P. 34-35

15. Д.Б.Мухамедова, И.А.Гаврилов. Сравнительная оценка межкадровой обработки видеопотоков в видеокодеках вещательного телевидения. Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции «Роль информационно-коммуникационных технологий в инновационном развитии отраслей экономики». Ташкент-2020. -С. 330-332.

16. А.Н.Пузий, Д.Б.Мухамедова. Сравнительная оценка эффективности компрессии видеопотоков в IP-камерах видеонаблюдения. Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции «Роль информационно-коммуникационных технологий в инновационном развитии отраслей экономики». Ташкент-2020. -С. 333-335.

17. Д.Т. Бобобекова, Д.Б. Мухамедова. Особенности видеокодирования в стандарте H.264. Сборник докладов в Республиканской научно-технической конференции «Значение информационно-коммуникационных технологий в инновационном развитии отраслей экономики». Часть 2. Ташкент-2021. -С. 78-81.

18. Д.Б.Мухамедова. Внутрикадровое кодирование изображений в стандарте H.264. Сборник докладов в Республиканской научно-технической конференции «Значение информационно-коммуникационных технологий в инновационном развитии отраслей экономики». Часть 2. Ташкент-2021. -С. 81-83.

19. Гаврилов И.А., Мухамедова Д.Б., Носиров.Х.Х. Контурный метод определения парных точек стереопары на основе бинарных изображений. Сборник трудов V Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и образования в современном вузе». Республика Башкортостан, Стерлитамак -2021. -С. 188-193.

20. Гаврилов И. А., Мухамедова Д. Б., Ахмедова А. Х. Контурный метод определения движения видеообъектов по их бинарным изображениям. Сборник трудов V Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и образования в современном вузе». Республика Башкортостан, Стерлитамак-2021. -С. 194-199.

21. Гаврилов И.А., Мухамедова Д.Б. Пузий А.Н. Контурный механизм видеокompрессии для спутниковых спектрально-аналитических ТВ систем. International scientific-practical conference Actual problems of space technologies and satellite communications, "ISPC-2021". Tashkent-2021. -С. 152-155.

22. Д.Б. Мухамедова, И.А. Гаврилов, А.Н. Пузий. Анализ методов бинаризации изображений. «Iqtisodiyot tarmoqlarining innovatsion rivojlanishida axborotkommunikatsiya texnologiyalarining ahamiyati». Respublika ilmiy-texnik anjumani ma'ruzalar to'plami. 2-qism. Toshkent-2022. -С. 210-213.

23. Д.Б. Мухамедова, И.А. Гаврилов, А.Н. Пузий. Анализ методов сегментации изображений для выделения видео объектов. «Iqtisodiyot tarmoqlarining innovatsion rivojlanishida axborotkommunikatsiya texnologiyalarining ahamiyati». Respublika ilmiy-texnik anjumani ma'ruzalar to'plami. 2-qism. Toshkent -2022. -С. 220-223.

24. Д.Б. Мухаммедова, И.А. Гаврилов, А.Н. Пузий. Блочные методы оценки движения для компенсации движения видеообъектов ТВ изображений. Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Цифровые технологии: проблемы и решения практической реализации в отрасли». Ташкент-2022. -С. 68-73.

25. Гаврилов И.А., Мухамедова Д.Б. Пузий А.Н. Wavelet video inter-frame encoder based on video object selection. International conference «Recent advances in intelligent information and communication technologies ISPC-2022». Tashkent-2022. -P. 368-372.

26. Авторское свидетельство № DGU 16024 Выделение контуров в бинарных изображениях. 09.05.2022.

27. Авторское свидетельство № DGU 16700 Программа для определения параметров контуров видеообъектов 08.06.2022.

28. Авторское свидетельство № DGU 17041 Программа для фильтрации полутоновых изображений 23.06.2022.

29. Авторское свидетельство № DGU 17047 Программа для фильтрации бинарных изображений битовых плоскостей пиксельных значений 23.06.2022.

30. Авторское свидетельство № DGU 17734 Программа для селекции контуров видеообъектов по пространственным признакам 18.07.2022.

