

На правах рукописи



**ХАСАН ЯЗИД АБДУЛХАМИД Абдулла**

**АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ И УСТРОЙСТВА ДИСКРЕТНОГО  
КОСИНУСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Специальность: 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники  
и систем управления

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург - 2022

Работа выполнена на кафедре систем автоматизированного проектирования (САПР) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (ФГАОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, доцент **Фахми Шакиб Субхиевич**, профессор кафедры САПР ФГАОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

**Оппоненты:**

– доктор технических наук, профессор **Молодяков Сергей Александрович**, профессор Высшей школы программной инженерии ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург;

– кандидат технических наук **Тропченко Андрей Александрович**, доцент Факультета программной инженерии и компьютерной техники ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», Санкт-Петербург.

**Ведущая организация:**

Закрытое акционерное общество «ИНСТИТУТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ», Санкт-Петербург.

Защита диссертации состоится 28 июня 2022 года в 15<sup>30</sup> часов на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.238.02 ФГАОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ» по адресу: 197022, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, д. 5, литера Ф.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ» и на сайте [www.etu.ru](http://www.etu.ru) в разделе «Подготовка кадров высшей квалификации», «Объявления о защитах».

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 197022, Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, д. 5, литера Ф.

Автореферат разослан 27 апреля 2022 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.238.02



Н.М. Сафьянников

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

**Актуальность темы исследования.** Одной из распространённых технологий в области сжатия и восстановления видеoinформации является использование дискретного косинусного преобразования (ДКП) в задачах передачи при ограничении пропускной способности канала. Однако сдерживающими факторами в совершенствовании устройств сжатия и восстановления видеoinформации с улучшенными информационными показателями качества (точность восстановления, битовая скорость передачи и вычислительная сложность) долгое время являются отсутствия: а) адаптивных алгоритмов ДКП, б) адаптации к расположению коэффициентов в матрице ДКП для оптимального сканирования на этапе квантования и, в) учета специфики и статистических свойств транспортных сюжетов в видеосистемах наблюдения. Следовательно, актуальным является решение научной проблемы разработки адаптивных алгоритмов ДКП (далее АДКП) транспортных изображений, которые, в зависимости от целей решаемых задач, обеспечивают: требуемое качество результирующих изображений; минимальную битовую скорость передачи (т.е. количества бит на пиксель) и учёт вычислительной сложности устройств сжатия и восстановления транспортных изображений.

На формулировку цели и постановку задач диссертационного исследования оказали влияние научно-исследовательские работы, проводимые в институте проблем транспорта РАН исследований по созданию интеллектуальных транспортных видеосистем наблюдения реального времени.

**Степень разработанности темы.** Исследование ДКП изображений и разработка различных алгоритмов сжатия и восстановления изображений известны давно и наиболее известными работами в настоящее время представляют статьи Р. Bose Babu и M.S.Lakshmi «*An Efficient 16 Point Reconfigurable DCT Architecture Using Improved 8 Point DCT*» 2017г., Dariusz Puchala. *Approximate calculation of 8-point DCT for various scenarios of practical applications* 2021г., Damian Karwowski, Tomasz Grajek и др. «*20 Years of Progress in Video Compression –from MPEG-1 to MPEG-N HEVC*» 2019г. и др. Быстрый алгоритм ДКП предложен ещё в далеком 1977 году WEN-HSIUNG CHEN, S. HARRISON SMITH, AND S. C. FRALICK, в работе «*A Fast Computational Algorithm for the Discrete Cosine Transform*» и многие другие исследователи применяли его для решения разных прикладных задач передачи видеoinформации в реальном времени. Но во всех работах по применению ДКП отсутствует возможность использования косинусного преобразования с переменным размером матрицы для вычисления ДКП (8×8), в основном из-за увеличения сложности алгоритма. Другой важной новизной данной работы заключается в использовании адаптивных алгоритмов ДКП для передачи видеoinформации в транспортных системах наблюдения с учетом специфики

транспортных сюжетов: не подвижный фон-газоны, тротуар, дорожные знаки, высота съемки и т.д.

С учетом выше изложенного, данная работа является актуальной и востребованной в системах наблюдения на транспорте для оперативной доставки видеoinформации в реальном времени и обеспечения безопасности транспорта.

### **Цель и задачи диссертационной работы**

**Цель исследования** – Разработка специализированных устройств, на основе адаптивного косинусного преобразования для улучшения информационных показателей качества транспортных видеосистем сжатия и восстановления изображений в системах наблюдения на транспорте.

**Объект исследования** – адаптивные алгоритмы ДКП и специализированные устройства сжатия и восстановления изображений.

**Предмет исследования** – взаимосвязь информационных показателей (точность, битовая скорость передачи и сложность) и их влияние на качество устройств сжатия транспортных изображений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1) выполнить анализ основных существующих спектральных методов сжатия в устройствах систем транспортного наблюдения с приведением их достоинства и недостатки;

2) разработаны адаптивные алгоритмы сжатия и восстановления на основе адаптивного дискретного косинусного преобразования транспортных сюжетов;

3) Оценка эффективности алгоритмов, на основе показателя и критерий, которые включают триаду: ошибка восстановления, скорости передачи и сложности устройств;

4) разработана методика оценки алгоритмов сжатия и восстановления ДКП, на основе классификации и сформированной компактной выборки транспортных сюжетов;

5) разработка систематизации адаптивных алгоритмов ДКП транспортных изображений;

6) разработка методики оценки эффективности алгоритмов для поиска взаимосвязи информационных показателей качества устройств (точность, скорость и сложность) сжатия и восстановления транспортных изображений, обеспечивающих минимальное количество операции при заданных значения точности восстановления и битовой скорости канала связи;

7) разработка устройства адаптивного ДКП изображений с учетом свойств косинусной функции и особенности реализации на схемах с программируемой логикой.

**Главный результат** – достижение улучшения показателей качества устройств передачи (точности, битовой скорости и сложности) на основе адаптивных алгоритмов ДКП, реализация которых обеспечивает создание параллельных специализированных устройств сжатия и восстановления транспортных сюжетов.

**Научная новизна результатов исследования.** Новизна заключается в разработке новых адаптивных алгоритмов ДКП, учитывающих пространственные статистические свойства транспортных сюжетов и позволяющих увеличить степени сжатия, в частности количества бит на пиксель, для передачи с учетом пропускной способности канала связи в транспортных видеосистемах наблюдения.

**Теоретическая значимость работы** заключается в:

- созданию и совершенствовании теоретической базы средств вычислительной техники, обеспечивающей повышение информационных показателей качества транспортных видеосистем наблюдения;
- совершенствовании спектрального подхода сжатия и восстановления путём применения адаптивного косинусного преобразования и квантования трансформант с учётом особенностей транспортных сюжетов в системах наблюдения;

**Практическая значимость работы** заключается в:

- 1) построении параллельных структур на основе адаптивных алгоритмов ДКП изображений;
- 2) предложенной методике оценки алгоритмов сжатия транспортных изображений с учетом статистических свойств исходного сигнала;
- 3) предложенном способе классификации транспортных сюжетов для оценки эффективности алгоритмов сжатия на основе ДКП;
- 4) разработке систематизации алгоритмов ДКП изображений, позволяющей осуществить выбор оптимального (по критерию коэффициента сжатия и числа операции на пиксель) алгоритма в зависимости от прикладной задачи с учетом ограничения канала связи;
- 5) разработке специализированных устройств, ориентированных на создание быстрых алгоритмов АДКП изображений в системах видеонаблюдения на транспорте.

**Методы исследования** базируются на использовании математического аппарата спектральных преобразований сигналов; дискретной математики, теории информации, включая теорию кодирования заземленных нестационарных сигналов; теории сложности и имитационного моделирования.

### **Положения, выносимые на защиту:**

- 1) предложенные адаптивные алгоритмы ДКП, учитывающие пространственные корреляции изображений, позволяют увеличить коэффициент сжатия при сохранении качества передачи сжатых транспортных изображений;
- 2) впервые разработана систематизация алгоритмов дискретного косинусного преобразования транспортных сюжетов, которая позволяет определить осуществить выбор того или иного способа сжатия в зависимости от требований прикладной задачи и заданных показателей качества устройств обработки изображений;
- 3) показатель и критерий для оценки эффективности сжатия, включает весовые коэффициенты точности, битовой скорости и сложности, что позволяет определить области применения предложенных алгоритмов в транспортных системах;
- 4) классификация транспортных изображений для формирования компактной представительной выборки и оценки эффективности (коэффициент сжатия) алгоритмов сжатия, которая учитывает статистические свойства сигнала изображений.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

**Достоверность полученных научных результатов.** Разработанные соискателем диссертации методы и алгоритмы были применены при выполнении в НИР № 115013010038 «Разработка транспортных видео информационных систем на основе новых архитектурных решений» Института проблем транспорта им. В. Н. Соломенко РАН, а также при получении соответствующих экспериментальных результатов, с помощью инструментального программного обеспечения: Microsoft Visual Studio 2010.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы были представлены и обсуждались на следующих основных российских и международных конференциях: 1) XVIII Международной конференции «Современное образование: содержание, технологии, качество». СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017; 2) Транспорт России: проблемы и перспективы - материалы международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2018-2020 гг.

### **Публикации по теме диссертации**

По теме диссертации опубликовано 12 работ: 4 в журналах, входящих в перечень ВАК, 5 входящих в БД WoS, и 7 работ содержатся в материалах научных конференций. Получены 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

### **Структура и объём диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 144 наименований. Основной текст работы

изложен на 186 страницах машинописного текста. Работа содержит 65 рисунка и 8 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, указаны цель работы, определены задачи и методы исследования. Сформулированы научная новизна, практическая значимость работы, а также положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведен обзор существующих спектральных методов в области кодирования и декодирования изображений.

**Вторая глава** посвящена разработке алгоритмов АДКП транспортных изображений для оценки информационных показателей качества устройств сжатия с учётом триады: точность восстановления, битовая скорость передачи и сложность устройств.

В последнее время быстрыми темпами стали развиваться системы с применением субмикронных технологий класса «система на кристалле», а также появились различные видеосистемы на кристалле в составе умных камер наблюдения на транспорте, что привело ожесточению требований по вычислительной сложности. Следовательно, формализация проблемы сжатия с учётом вычислительной сложности устройств сжатия и восстановления изображений стало актуальным и востребованным для создания специализированных транспортных видеосистем. Если раньше разработчики стремились к разработке простых алгоритмов из-за ограниченной площади платы, то сейчас в связи с переходом на нанометровую норму проектирования стало необходимым рассмотреть основу создания элементов и устройств вычислительной техники для сжатия и восстановления с учетом триады: точность передачи по каналу (определяемая, как сигнал/шум -  $PSNR$ ), битовая скорость вычисляемая, как количества бит на пиксель ( $Br$  - *bitrate*) и вычислительная сложность устройств ( $W$  - *computational complexity*), являющимися показателями качества транспортных видеосистем передачи изображений.

Повышение эффективности транспортных видеосистем передачи изображений возможно осуществить, опираясь на выбор оптимальных комбинаций из вышеуказанных показателей качества. Следовательно, оценка взаимосвязи показателей должна осуществляться на основе обобщенного показателя эффективности ( $P$ ), включающего взвешенную сумму  $\{\Sigma P_i\}$  частных информационных показателей качества транспортных видеосистем сжатия и восстановления, которые имеют общую связь с ошибкой восстановления ( $\sigma$ ) результирующих изображений:

1) степень потери полезной информации на этапе восстановленных изображений  $\Delta I$ ;

- 2) битовая скорость для передачи по каналу связи  $B_r$ ;
- 3) вычислительная сложность кодера ( $W_k$ ) и декодера ( $W_d$ ).

Такая триада из трех составляющих показателя ( $P$ ) формируют вектор  $\{c_i\}$  весовых коэффициентов. Данный вектор называется вектором концепции транспортной системы передачи видеоинформации. А задача оптимизации при синтезе устройств сжатия транспортных изображений в целом, сводится к поиску оптимальных значений информационных показателей качества при заданных весовых коэффициентах, в то же время, обеспечивающих минимум обобщённого показателя:

$$P = c_0 \Delta I(\varepsilon) + c_1 R(\varepsilon) + c_2 W_k(\varepsilon) + c_3 W_d(\varepsilon) \rightarrow \min.$$

Решение данной задачи (по аналогии с условными экстремумами метода множителей Лагранжа) необходимо осуществлять с учетом специфики транспортной видеоинформации, полученной из различных камер наблюдения.

Алгоритмы АДКП включают в себя следующие процедуры (рис. 1):

- 1) предварительная обработка. Включающая анализ корреляции и формирование неравномерной сетки для ДКП;
- 2) выполнение двумерного ДКП-2D изображений (для видео трехмерного ДКП-3D);
- 3) адаптивное квантование;
- 4) энтропийное кодирование.

Суть АДКП вкратце заключается в следующем. Исходное изображение на предварительном этапе анализа статистики, разбивается на блоки (кубы для видео) различного размера в зависимости от значения заданных порогов ( $P_1, P_2, \dots, P_k$ ) по яркости. Данная процедура выполняется перед ДКП, на этапе формирования неравномерной сетки блоков ДКП. Далее сравниваются значение отклонения ( $\Delta v$ ) любых двух пикселей в пределах текущего блока ДКП для определения размера:

- если  $\Delta v < \rho_1$ , то размер блока ДКП равен  $2 \times 2$ ;
- если  $\rho_1 < \Delta v < \rho_2$ , то размер блока ДКП равен  $4 \times 4$ ;
- если  $\rho_2 < \Delta v < \rho_3$ , то размер блока ДКП равен  $8 \times 8$ ;
- если  $\rho_3 < \Delta v < \rho_4$ , то размер блока ДКП равен  $16 \times 16$  и т.д.

Следующим шагом является выполнение ДКП и заем адаптивное квантование с применением различных способов сканирования коэффициентов.

В работе использованы три способа сканирования матрицы ДКП в зависимости от расположения коэффициентов ДКП: горизонтальное, если коэффициенты расположены вдоль строки, вертикальное, если вдоль столбцам и зигзагообразное, если расположены хаотично по всей матрице.

**Третья глава** посвящена систематизации алгоритмов на основе ДКП, методике оценки алгоритмов сжатия транспортных изображений с учетом



статистических свойств исходного сигнала и математическому аппарату реализации дискретного косинусного преобразования.

Систематизация спектральных алгоритмов сжатия и восстановления изображений, основана на учете следующих признаков: 1) Область обработки; 2). Тип сжатия; 3) Тип визуальных данных; 4) Размер блоков ДКП; 5) Формат изображений и 6) Разрешение.

Систематизация алгоритмов кодирования и декодирования полутоновых транспортных изображений, на основе ДКП должна включать в себя сочетания различных свойств алгоритмов:

во-первых, связь между размером матриц ДКП и информационными показателями качества при сжатии и восстановлении;

во-вторых, связь между степенью корреляции соседних пикселей и размером блоков ДКП на начальном этапе формирования неравномерной сетки ДКП;

в-третьих, взаимосвязь информационных показателей качества транспортных видеосистем наблюдения;

в-четвёртых, общность подхода к решению задачи систематизации алгоритмов ДКП.



Рис. 1. Блок – схема алгоритм АДКП транспортных изображений

С точки зрения автора представление изображения в сжатой форме с учетом триады: точности, битовой скорости и сложности, и выполнение ДКП при анализе должны быть реализованы как единый процесс.

Предложенная систематизация позволяет выбрать наиболее эффективный вариант при решении разнообразных задач сжатия и восстановления изображений.

Приведённая систематизация (рис. 2) не исчерпывает всего изобилия и разнообразия алгоритмов сжатия на основе дискретного спектрального преобразования, но отражает все те алгоритмы и программы, которые являются стандартами и те алгоритмы, которые были разработаны в институте проблем транспорта РАН. Поэтому их систематизация необходима, как условие для выбора наиболее эффективного алгоритма с точки зрения специфики морских сюжетов и требования к решаемой проблеме.

Систематизация показала, что имеется огромное множество алгоритмов кодирования и декодирования на основе ДКП, поэтому для сравнения коэффициента эффективности сжатия различных алгоритмов необходимо следовать следующей методике:

1. ввести меру нестационарности и широкополосности (на основе статистических свойств исходного сигнала) и формировать соответствующую компактную выборку транспортных сюжетов (КВТС);
2. определить интервалы изменения вычисленных мер для большого набора разных транспортных сюжетов (морских, автомобильных, авиационных и др.);
3. формировать для каждого вида транспорта соответствующую представительную группу кадров путём разбиения (на равных) интервалов изменения мер неопределенности и широкополосности на три группы: малые средние и высокие;
4. отобрать кадры, которые принадлежат интервалам указанных мер;
5. выполнить сжатие КВТС требуемыми алгоритмами сжатия на основе ДКП из систематизации;
6. вычислить информационные показатели качества устройств: точность. битовая скорость (или коэффициента сжатия) и сложность для каждого алгоритма;
7. сравнить полученные результаты и выбрать тот алгоритм, который обеспечивает минимальную битовую скорость передачи при заданной точности и сложности устройств.

Математический аппарат реализации дискретного косинусного преобразования изображений:

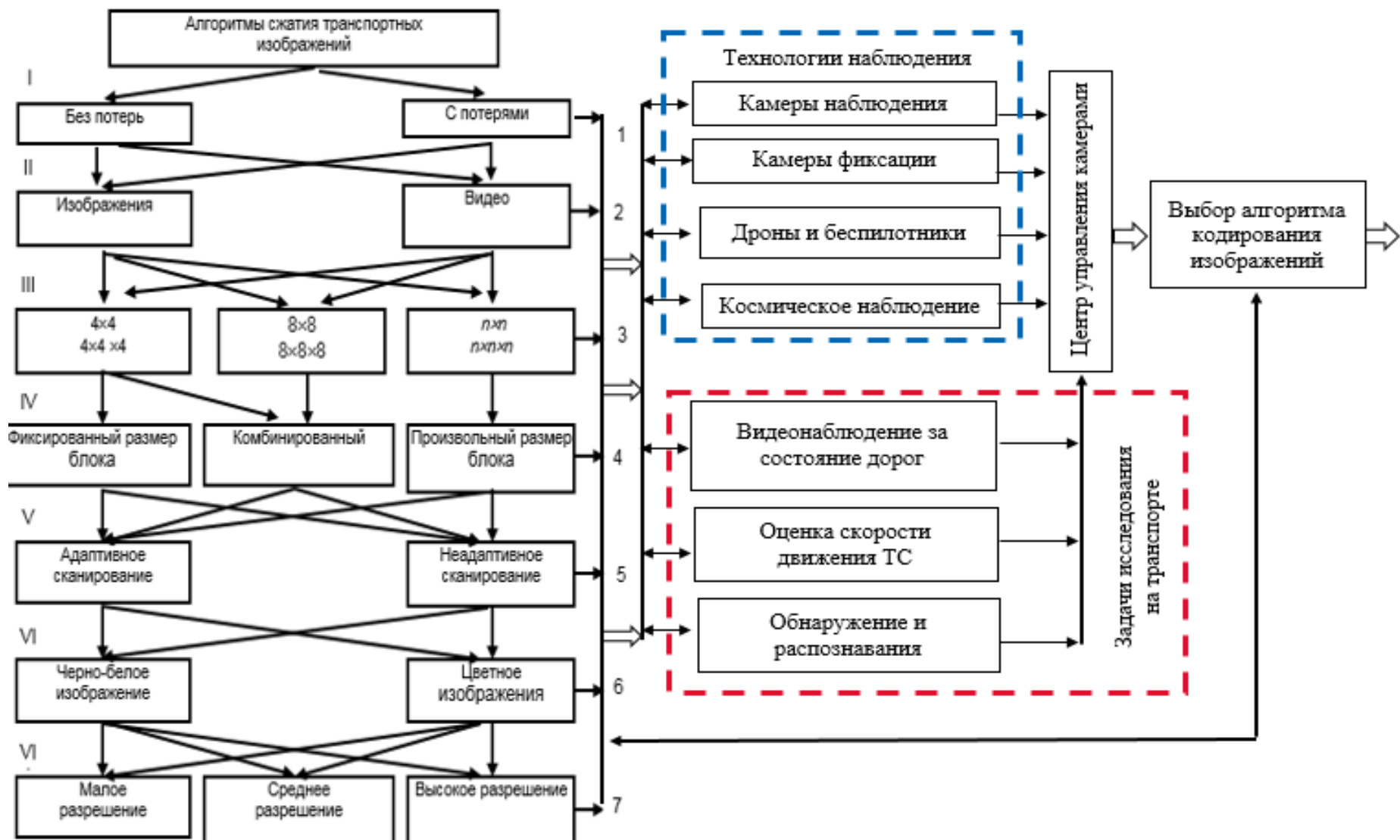


Рис. 2. Систематизация алгоритмов сжатия и восстановления транспортных сюжетов

**Прямое 2D-ДКП.** Прямое 2D-ДКП выполняется над элементами видеопотока  $X(k_1, k_2, k_3)$  с размером  $N \times N \times N$  по следующей формуле:

$$X(k_1, k_2) = \frac{8}{N^2} \varepsilon_{k_1} \varepsilon_{k_2} \sum_{n_1=0}^{N-1} \sum_{n_2=0}^{N-1} x(n_1, n_2) \times \cos\left(\frac{\pi}{2N}(2n_1+1)k_1\right) \times \cos\left(\frac{\pi}{2N}(2n_2+1)k_2\right) \quad (1),$$

где  $k_1, k_2 = 0, 1, 2, \dots, N-1$ , а  $x(n_1, n_2)$  - яркость пикселей исходного куба размером  $n_1 \times n_2 \times n_3$ .

**Обратное 2D-ДКП.** Обратное двумерное ДКП выполняется по следующей формуле:

$$x(n_1, n_2) = \sum_{k_1=0}^{N-1} \sum_{k_2=0}^{N-1} \varepsilon_{k_1} \varepsilon_{k_2} X(k_1, k_2) \times \cos\left(\frac{\pi}{2N}(2n_1+1)k_1\right) \times \cos\left(\frac{\pi}{2N}(2n_2+1)k_2\right) \quad (2), \text{ где } n_1, n_2 = 0, 1, \dots, N-1 \text{ и}$$

$$\varepsilon_{k_i} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{при } k_i = 0 \\ 1, & \text{в другом случае} \end{cases}, i = 1, 2, 3.$$

**Четвертая глава** содержит сравнительный анализ результатов моделирования предложенных адаптивных алгоритмов сжатия и восстановления транспортных изображений с известными стандартами сжатия изображений.

Эксперименты, моделирование алгоритмов и тестирование выполнены над изображениями из тестовой выборки, полученной в результате классификации транспортных изображений по мере неопределенности и широкополосности.

На практике, часто для достижения высокого коэффициента сжатия приходится расплачиваться высокой сложностью алгоритма. В работе исследованы различные алгоритмы на основе адаптивного ДКП к различным транспортным сюжетам для определения области применения каждого алгоритма в зависимости от статистики и корреляционных характеристик изображения. Также были обработаны транспортные изображения различных форматов, полученные из различных камер наблюдения на дорогах. А для определения взаимосвязи информационных показателей устройств сжатия и восстановления транспортных изображений, были вычислены значения всех информационных показателей качества транспортных устройств сжатия и восстановления на основе АДКП (рис. 3): точность ( $\varepsilon$ -СКО), битовую скорость ( $R$ ) и сложность устройств ( $W$ ).

Взаимосвязь информационных показателей устройств сжатия и восстановления транспортных изображений

Взаимосвязь битовой скорости и сложности устройств при фиксированной ошибке восстановления результирующих изображений показана на графике

(красные вертикальные линии для двух ошибок  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ ), где для каждого из исследованных алгоритмов сжатия источника изображений: (ДКП-классический алгоритм JPEG, ДВП- дискретное вейвлет преобразование и АДКП- предложенный алгоритм адаптивного косинусного преобразования) были найдены значения показателей качества.

В результате моделирования было показано, что увеличение сложности алгоритма ДКП на этапе предварительной обработки транспортных сюжетов и формирования неравномерной сетки для ДКП привело к уменьшению не только ошибки восстановления (субъективного качества изображений), но и к уменьшению битовой скорости передачи по каналу связи (рис. 4) при сохранении приемлемого качества.

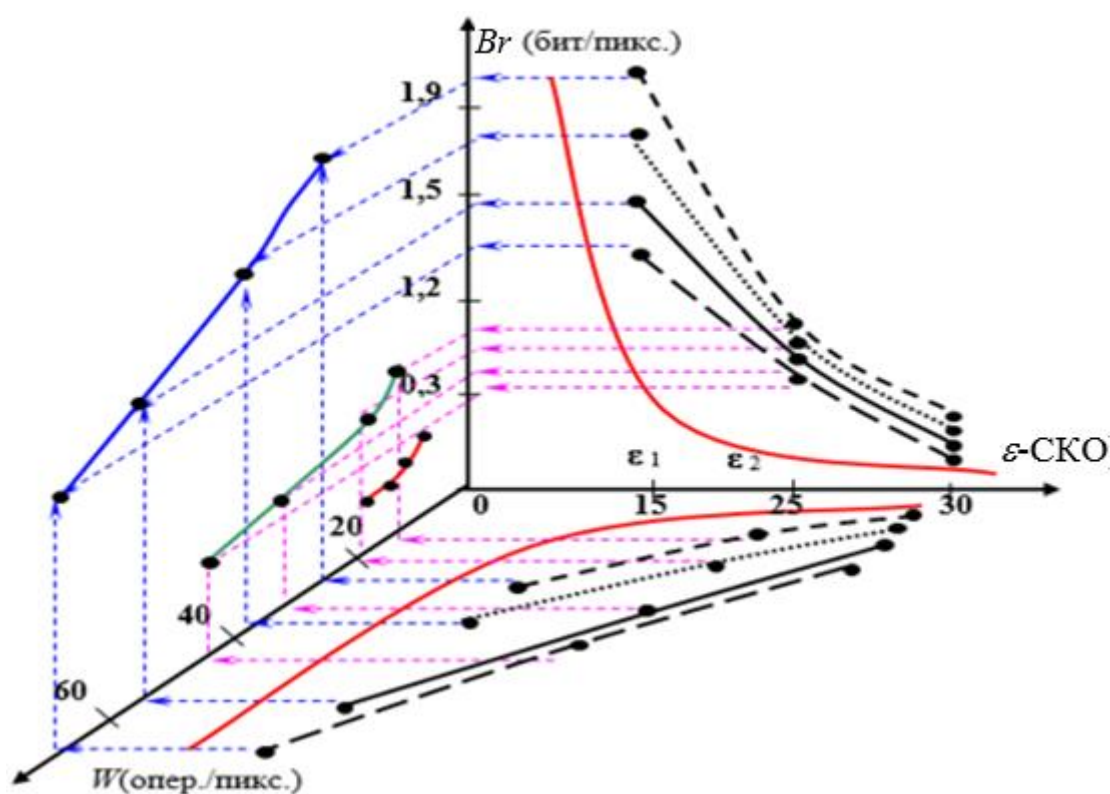


Рис. 3. Взаимосвязь информационных показателей: точность восстановления ( $\varepsilon$ -СКО), битовая скорость передачи ( $R$ ) и сложность ( $W$ ) устройств сжатия и восстановления транспортных изображений

Важно в заключение отметить, что выбор того или иного адаптивного алгоритма сжатия нестационарного источника транспортных изображений означает выбор конкретного соотношения весовых коэффициентов  $c_1$  и  $c_2$  в самом векторе концепций в критерии (1), а выбор назначаемой ошибки означает выбор отношения весового коэффициента  $c_0$  при потере в точности видеоинформации к коэффициентам  $c_1$  и  $c_2$ .

**Пятая глава** посвящена разработке общей структурной схемы устройства, на основе ДКП. Предложены узлы и устройства АДКП для сжатия и восстановления статических и динамических транспортных сюжетов.

Предложенная структурная схема устройства сжатия и восстановления изображений на основе АДКП -2D с переменным размером видеокуба включает следующие основные узлы (рис. 5):

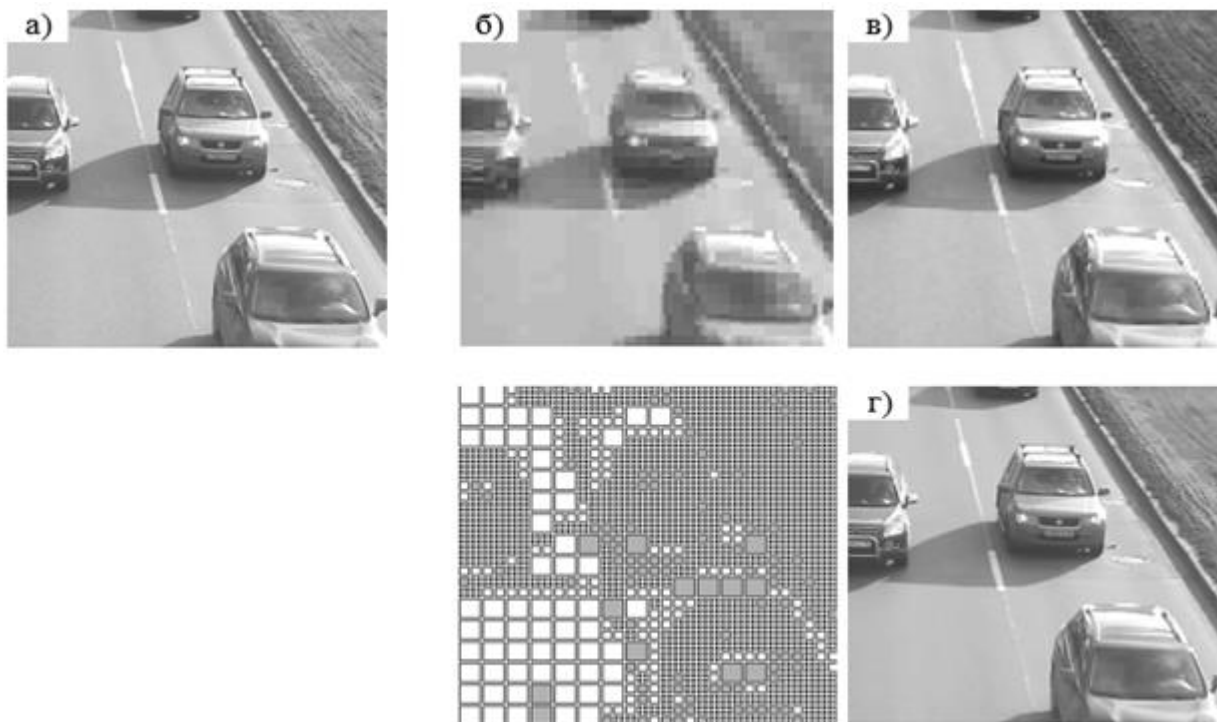


Рис. 4. Результаты сжатия изображений (при  $B_r=0,3$  и  $W=23$ ,  $256 \times 256$ ): а) исходное изображение, б) JPEG, в) ДВП и г) АДКП.

1) управление и анализ транспортного видеопотока для определения типа движения и формирования неравномерной сетки ДКП;

2) ДКП-3D осуществляющий преобразование последовательности изображений из пространственной области сигнала в спектральную область;

3) адаптивное квантование для сокращения числа коэффициентов ДКП (расширение диапазона нуля) для достижения требуемой степени сжатия источника;

4) энтропийный кодер для кодирования канала.

Для реализации алгоритмов АДКП в составе транспортной видеосистемы наблюдения, в работе были реализованы узлы различных реализаций ДКП на языках аппаратуры Verilog и VHDL.

Для создания устройств сжатия и параллельной аппаратной реализации алгоритма уменьшение числа множителей играет важную роль, так как они занимают определенную площадь кристалла. В работе также уделено внимание

таким механизмам, как регулярность, модульность в структуре вычислений ДКП и сложность схемы доступа к данным. В этом контексте архитектура, предложенная в работе, сокращает количество множителей, используемых для параллельной реализации. Коды модулей ДКП синтезированы на современных САПР (Quartus II Intel (Altera), Vivado Xilinx, ActiveHDL Aldec) и смоделированы с использованием САПР Modelsim.

Таким образом, в данной работе предложен новые алгоритмы вычисления 2D ДКП/ОДКП. Вычислительная сложность, измеряемая числом умножений, сведена к минимуму. Алгоритм поддается реализации с использованием ПЛИС. Реализован пример 2-DДКП для матриц:  $(4 \times 4)$  –  $(64 \times 64)$  ДКП/ОДКП и оценена его производительность

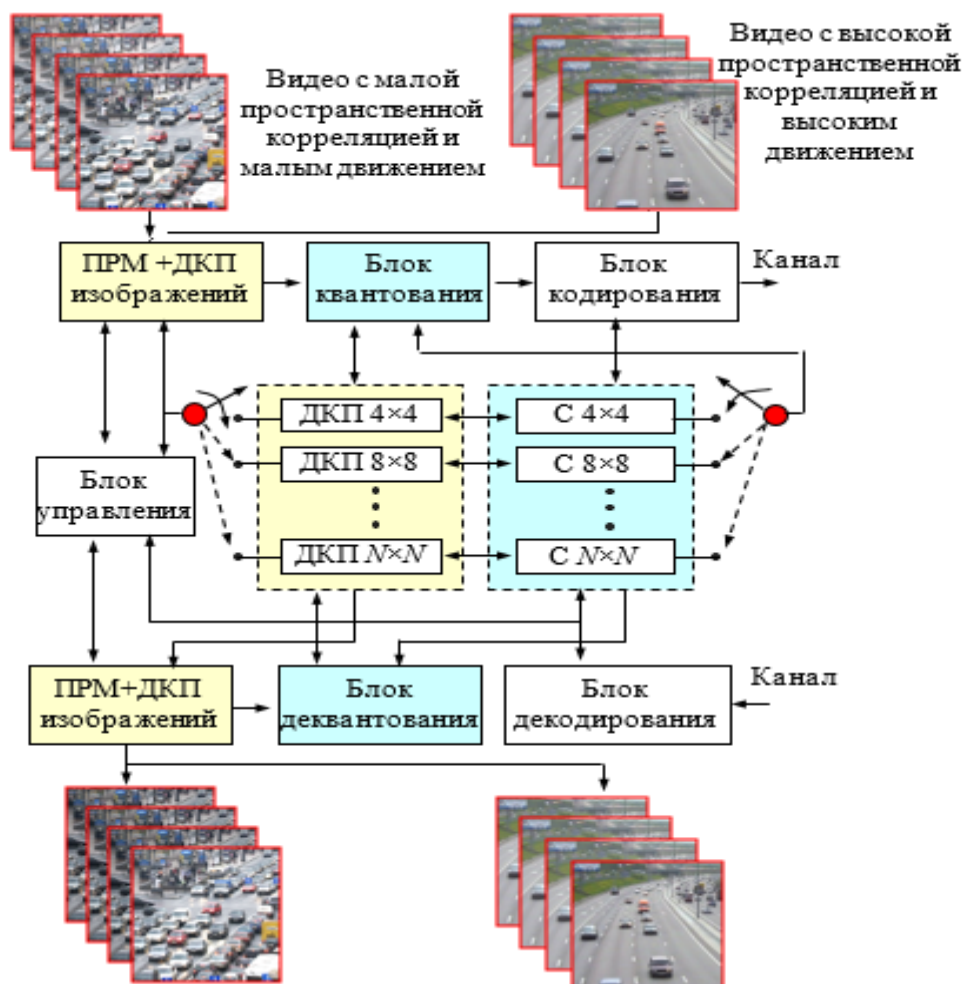


Рис. 5. Общая структурная схема устройства сжатия и восстановления транспортных сюжетов

В диссертации разработан ряд технических решений по оценке искажений, с учетом специфики, транспортных изображений при сжатии с потерями. При этом

референт-несжатого оригинала транспортных сюжетов получены от официальных источников, устанавливающих камер наблюдения.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате моделирования разработанных алгоритмов сжатия и восстановления изображений в составе транспортных видеосистем на кристалле получены следующие результаты:

1) проведен обзор и выполнен анализ основных существующих спектральных методов сжатия в устройствах систем транспортного наблюдения с приведением их достоинства и недостатки;

2) разработаны адаптивные алгоритмы сжатия и восстановления на основе адаптивного дискретного косинусного преобразования транспортных сюжетов;

3) разработан обобщенный показатель и критерий эффективности алгоритмов сжатия на основе косинусного преобразования транспортных изображений, включающий триаду: ошибка восстановления, скорости передачи и сложности устройств;

4) разработана методика оценки алгоритмов сжатия и восстановления ДКП, на основе предложенной классификации и сформированной компактной выборки транспортных сюжетов;

5) предложена систематизация, на основе адаптивных алгоритмов ДКП транспортных изображений;

6) предложена методика оценки эффективности алгоритмов для поиска взаимосвязи информационных показателей качества устройств (точность, скорость и сложность) сжатия и восстановления транспортных изображений, обеспечивающих минимальное количество операции при заданных значения точности восстановления и битовой скорости канала связи;

7) разработаны устройства адаптивного ДКП изображений с учетом свойств косинусной функции и особенности реализации на схемах с программируемой логикой.

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1) показано, что ценой увеличения вычислительной сложности кодера в 2,8 раза метод ДПП позволяет на 15% лучше, чем ДКП приблизиться к энтропии источника;

2) показано, что применение метода кодирования источника на основе АДКП позволяет достичь больше коэффициента сжатия транспортных изображений и по сравнению с классическим ДКП (в 2-3 раза), и по сравнению с Вейвлет кодированием (до 2 раза), при этом различие в эффективности исследованных методов кодирования зависит от класса изображений, определяемого его широкополосностью и нестационарностью;



3) разработан способ адаптации с переменными размерами пространственных ДКП-2D и временных ДКП-3D интервалов вычисления (в пределах от 4×4 до 64×64 пикселей и от 4 до 128 кадров), позволяющий уменьшить вычислительную сложность кодеров и декодеров (до 107 опер./сек.), что на 4 порядка меньше, чем у кодеров и на 2...3 порядка меньше, чем у декодеров, реализованных по стандартам MPEG.

## **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Статьи в изданиях, входящих в ВАК и WoS**

1) Хасан Я.А., Фахми Ш.С. Адаптивное трехмерное косинусное преобразование транспортных сюжетов// Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 3. С. 482-491.

2) Хасан Я.А., Рыжов Н.Г., Соколов Ю.М., Фахми Ш.С. Сжатие и восстановление транспортной видеоинформации на основе адаптивного трехмерного косинусного преобразования// Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 6. С. 53-59.

3) Фахми Ш.С., Рыжов Н.Г., Хасан Х.А., Калинина Е.С. Адаптивный алгоритм кодирования и декодирования изображений в транспортных системах наблюдения// Информационные технологии. 2019. Т. 25. № 8. С. 475-481.

4) Хасан Я.А., Рыжов Н.Г., Фахми Ш.С., Костикова Е.В. Адаптивный способ спектрального преобразования видеоинформации транспортных изображений// Информационные технологии. 2020. Т. 26. № 1. С. 39-45.

5) Фахми Ш.С., Селиверстов Я.А., Шаталова Н.В., Крюкова М.С., Хасан Я.А., Исмаил А.М.М., Ковалёв К.Е. Методы, алгоритмы кодирования и классификация изображений морских судов. Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 3-1 (45). С. 145-155.

6) Фахми Ш.С., Шаталова Н.В., Селиверстов С.А., Хасан Я.А., Абдулджаббар Н.Т.М., Иванов А.В. Гибридный метод преобразования изображений морских судов// Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 3-3 (45). С. 121-131.

7) Я.М.Хасан, Я.М. Адаптивное спектральное кодирование изображений в системах видеонаблюдения/ Е.В.Костикова, Ш.С.Фахми, С.А.Селиверстов, А.В.Соболев, Н.В.Подопригора// Морские интеллектуальные технологии. № 2 том 1, 2020/№ 2 part 1, 2020. С.134-143.

8) Фахми Ш.С., Крюкова М.С. Сравнение методом кодирования и передачи изображений лесных пожаров// В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы - 2018 Материалы международной-научно-практической конференции. 2018. С. 145-150.

9) Хасан Я.А., Фахми Ш.С., Шаталова Н.В., Крюкова М.С. Адаптивный метод передачи контуров транспортных средств на полутонных изображениях// В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы - 2018 Материалы международной-научно-практической конференции. 2018. С. 151-157.

10) Хасан Я.А., Крюкова М.С., Фахми Ш.С. Адаптивная спектральная обработка транспортной видеoinформации// В сборнике: Технологии построения когнитивных транспортных систем Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 129-138.

11) Хасан Я.А., Аль Ноумани С.М., Крюкова М.С., Фахми Ш.С.

Маршрут проектирования транспортных видеосистем на кристалле// В сборнике: Технологии построения когнитивных транспортных систем. Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 138-147.

12) Хасан Я.А., Фахми Ш.С., Крюкова М.С. Транспортная видеосистема на кристалле: метод и технология распознавания// В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы – 2019. Материалы международной-научно-практической конференции. ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, 2019. Коллектив авторов, 2019. 2019. С. 223-228.

13) Хасан Я.А., Фахми Ш.С., Шаталова Н.В., Крюкова М.С. Архитектура транспортной видеосистемы анализа и передачи изображений// В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы - 2019 Материалы международной-научно-практической конференции. ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, 2019. Коллектив авторов, 2019. 2019. С. 216-222.

Соискатель

Хасан Я.А.А.