

**МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ВОЗДУШНЫХ СИЛ  
ИМЕНИ ИВАНА КОЖЕДУБА**

*На правах рукописи*

**ГУРЖИЙ Павел Николаевич**

УДК 621.327: 681.5

**МЕТОД СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ  
СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ СМЕШАННОГО ПОЛИАДИЧЕСКОГО  
КОДИРОВАНИЯ**

**05.12.02 - телекоммуникационные системы и сети**

**Диссертация на соискание ученой степени кандидата  
технических наук**

**Научный руководитель  
доктор технических наук,  
старший научный сотрудник  
В.В. БАРАННИК**

**Харьков – 2009**

## СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1. ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕЛЕ- КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЗА СЧЕТ ПОДСИСТЕМЫ СЖА- ТИЯ ВИДЕОДАНЫХ.....	14
1.1. Анализ направлений повышения эффективности телекоммуника- ционных систем.....	14
1.2. Выбор показателей качества и разработка критерия эффективно- сти процесса сжатия и передачи изображений.....	22
1.3. Обоснование выбора направления совершенствования методов компактного представления видеоданных в телекоммуникационных системах.....	25
1.4. Постановка задач на исследование.....	37
Выводы.....	39
РАЗДЕЛ 2. МЕТОД СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СМЕ- ШАННОГО ПОЛИАДИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ ЦВЕТОВЫХ КО- ОРДИНАТ И ДЛИН СЕРИЙ.....	41
2.1. Обоснование представления массивов цветowych координат и длин серий в смешанном полиадическом пространстве для снижения времени доведения информации в телекоммуникационных системах.....	41
2.2. Разработка представления массивов цветowych координат в раз- ностном полиадическом пространстве.....	59
2.3. Построение компактного представления массивов длин серий в смешанном полиадическом пространстве.....	63
2.4. Создание упаковочного кодового представления служебных данных.....	67
2.5. Разработка метода сжатия цветowych координат и длин серий в смешанном полиадическом пространстве.....	70
2.6. Определение времени обработки и коэффициента сжатия изо- бражений, для разработанного метода в телекоммуникационных сис- темах.....	75
Выводы.....	101

РАЗДЕЛ 3. МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДЕКОДИРОВАНИЯ ПОЛИАДИЧЕСКИХ КОДОВ ЦВЕТОВЫХ КООРДИНАТ И ДЛИН СЕРИЙ В СМЕШАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ.....	105
3.1. Разработка метода восстановления цветковых координат и длин серий на основе декодирования полиадических кодов в смешанном пространстве.....	105
3.2. Определение количества операций, затрачиваемых в процессе восстановления изображений.....	118
Выводы.....	121
РАЗДЕЛ 4. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ СЖАТИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ДОВЕДЕНИЯ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ.....	122
4.1. Сравнительная оценка результатов сжатия и восстановления изображений для разработанного и существующих методов.....	122
4.2. Техническая реализация разработанного метода сжатия.....	127
4.3. Оценка помехоустойчивых свойств сжатых кодовых комбинаций к ошибкам в канале связи.....	140
Выводы.....	143
ВЫВОДЫ.....	146
Приложение А. Примеры сжатия и восстановления изображений разработанным методом.....	152
Приложение Б. Примеры обрабатываемых изображений.....	161
Приложение В. Акты реализации результатов исследований.....	165
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	171

## СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АПД	–	аппаратура передачи данных
АПП	–	абсолютное полиадическое пространство
АСУ ЖТ	–	автоматизированная система управления железнодорожным транспортом
БЗУ	–	буферное запоминающее устройство
БЦПХ	–	быстрого целочисленного преобразования Хаара
ВЗУ	–	внешнее запоминающее устройство
ДКП	–	дискретное косинусное преобразование
ДПУ	–	дискретное преобразование Уолша
ДС	–	длины серий
ЖДТ	–	железнодорожный транспорт
ИВС	–	информационно вычислительные средства
ИСЗ	–	искусственный спутник Земли
ИУС ЖТ	–	информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте
КС	–	канал связи
ЛПР	–	лицо принимающее решение
МДС	–	массив длин серий
ММДС	–	модифицированный метод длин серий
МП	–	микропроцессор
МПК	–	метод полиадического кодирования
МСИ	–	массив служебной информации
МЦК	–	массив цветowych координат
ПСВ	–	подсистема сжатия видеоинформации
РПП	–	разностное полиадическое пространство
СИ	–	служебная информация
СОИ	–	система отображения информации
СПП	–	смешанное полиадическое пространство
ТС	–	телекоммуникационные системы
ЦК	–	цветовые координаты



## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** На современном этапе развития телекоммуникационных систем одной из важных задач является повышение оперативности, достоверности и полноты информации о состоянии объектов управления и контроля. Для обеспечения безопасности и эффективности функционирования сложных систем управления необходимо своевременно обеспечить диспетчерские центры, различных уровней управления, достоверной и наглядной информацией. Наибольшей информативностью и наглядностью обладают видеоданные, в связи с этим расширяется доля видеоинформационного взаимодействия. Однако поскольку видеоданные имеют большие объемы, использование видеоинформации приводит к резкому росту нагрузки на каналы связи и информационно-вычислительные средства, увеличению времени передачи информации и снижению оперативности принятия решения. Следовательно, существует противоречие, вызванное с одной стороны необходимостью своевременного доведения видеоданных больших объемов, а с другой стороны – ограниченными возможностями вычислительных средств и технических характеристик телекоммуникационных сетей.

Поэтому актуальной **научно-прикладной задачей** является обеспечение снижения суммарного времени на обработку и передачу изображений с заданной степенью достоверности в телекоммуникационных системах.

Одним из направлений решения данного противоречия является использование методов компактного представления видеоинформации. Таким образом, необходимо разработать методы и средства компактного представления изображений, позволяющие уменьшить их объемы.

Анализ известных методов обработки и передачи информации показал, что уменьшение объема и времени передачи видеоинформации происходит за

счет уменьшения избыточности. Большой вклад в решение данной проблемы внесли многие ученые. Среди них Зубарев Ю.М., Королев А.В., Котельников В.А., Красильников Н.Н., Рябко Б.Я., Свириденко В.А. и др. Из зарубежных исследователей большой вклад внесли Зив Дж., Кунт М., Прэтт У.К., Шеннон К., Хартли Р.Л., Хаффман Д.А., и др.

Анализ известных методов сжатия видеоинформации [1-26, 29, 36, 39-49, 55-61, 63-64, 67-72, 74-86, 89-94, 96-97, 103-106, 110-113, 117-126, 128-143] показал, что наибольшие коэффициенты сжатия достигаются при применении методов с потерей качества, использующих различные ортогональные преобразования и уменьшающих психовизуальную избыточность. Однако для методов данного класса характерны два основных недостатка:

- большие временные затраты на обработку, достигающие нескольких десятков минут;
- использование данных методов может привести к безвозвратным потерям важной информации.

Значит использование таких методов сжатия невозможно в сложных системах управления.

Проведенный анализ характеристик известных методов, осуществляющих сжатие без потери качества, показал что:

- при использовании методов кодирования уменьшающих статистическую избыточность, временные затраты на сжатие и передачу изображений больших объемов достигают нескольких десятков минут. Это объясняется большим временем обработки, затрачиваемым на вычисление статистических характеристик сжимаемого изображения и недостаточно высоким коэффициентом сжатия сильнонасыщенных изображений, в связи с не стационарностью и равномерностью закона распределения значений пикселей;
- методы сжатия, основанные на представлении изображений длинами серий и методы словарного кодирования, сокращают как статистическую, так и структурную избыточность изображений, и требуют меньших временных затрат. Данные методы обладают следующими преимуществами:

а) простотой технической реализации. Для кодирования и декодирования изображения требуется относительно небольшое количество операций;

б) сжатие изображения происходит без потери качества восстановленных изображений.

Вместе с достоинствами метод обладает недостатками, связанными с:

– проблемой правильного выбора максимальной длины серии, неправильный выбор которой приводит к тому, что при обработке сильнонасыщенных реалистических изображений возможно увеличение первоначального объема изображения до **2,5** раз;

– тем, что максимальные коэффициенты сжатия достигаются только для искусственных и слабонасыщенных видеоданных.

Частично устранить эти недостатки позволяет метод полиадического кодирования, сокращающий комбинаторную избыточность в массивах длин серий и цветовых координат. При этом ему характерны следующие особенности:

а) коэффициент сжатия зависит от динамического диапазона обрабатываемых массивов и с его ростом стремится к **1**;

б) для сильнонасыщенных изображений резко увеличивается количество серий. Это приводит к росту количества разрядов на представление цветовых координат;

в) отбор элементов для полиадического кодирования осуществляется на основе по-столбцовой схемы. Такая обработка приводит к повышению времени затрачиваемого на сжатие изображений и уменьшению коэффициента сжатия.

Таким образом, разработка и использование в телекоммуникационных системах метода сжатия изображений за счет исключения комбинаторной избыточности в массивах длин серий и цветовых координат позволит дополнительно снизить суммарное время обработки и передачи видеoinформации.

Поэтому тематика диссертационной работы связанная с разработкой метода сжатия изображений в телекоммуникационных системах на основе смешанного полиадического кодирования, является актуальной.

**Цель и задачи исследований.** Целью диссертационной работы является разработка методов сжатия и восстановления изображений с заданной степенью достоверности для уменьшения суммарного времени обработки и передачи данных в телекоммуникационных системах, на основе смешанного полиадического кодирования длин серий и цветовых координат.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе сформулированы и решены следующие *задачи*:

1. Разработать метод сжатия изображений на основе смешанного полиадического кодирования длин серий и цветовых координат, который удовлетворяет требованиям телекоммуникационных систем относительно достоверности информации.

2. Разработать метод восстановления изображений на основе декодирования полиадических кодов цветовых координат и длин серий в смешанном полиадическом пространстве

3. Разработать программно-аппаратные реализации методов сжатия и восстановления изображений.

**Объект исследования.** Процесс обработки и передачи изображений в телекоммуникационных системах.

**Предмет исследования.** Методы компактного представления изображений в телекоммуникационных системах которые позволяют восстановить видеоданные с заданной мерой достоверности.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Диссертационные исследования проводились в соответствии со следующими нормативными документами:

1. Концепції розвитку Єдиної Національної системи зв'язку України на 2000 – 2010 рр.

2. Законом Украины “Про Загальнодержавну (Національну) космічну програму України на 2003-2007 роки” от 24.10.02 № 203-IV;

3. Законом Украины “Про затвердження Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2008 – 2012 роки” от 30.09.08

№ 608-VI.

4. Законом Украины “О связи” (постановление ВР N 161/95-ВР від 16.05.95).

5. Законом Украины “Про Національну програму інформатизації” от 04.02.98 № 74/98-ВР

6. Планами научной и научно-технической деятельности Харьковского военного университета и Харьковского университета Воздушных Сил, в рамках которых были выполнены НИР: «Оцінка можливості використання телекомунікаційної мережі АСУ “Дніпро” для забезпечення достовірності, оперативності та інформаційної безпеки при оповіщенні про повітряну обстановку в АСУ спеціального призначення (шифр “Інтеграція – ХУПС”, № 01010000439)», «Розробка методів обробки інформації в інформаційно – телекомунікаційних системах (Шифр “Тор-1”, № 0101U000615)».

7. Комплексної цільової програми Укрзалізниці: “Програми підвищення безпеки руху на залізницях”.

8. “Концепції інформатизації залізничного транспорту України”.

**Методы исследования.** Исследование роли подсистем сжатия видеоданных в процессе функционирования телекоммуникационных систем основывалось на методах теории сложных систем. Исследование свойств фрагментов изображений, описываемых цветовыми координатами и длинами серий проводилось на базе методов структурного анализа изображений. Разработка представления данных в смешанном полиадическом пространстве проводилось на основе теории информации и комбинаторного анализа. Оценка степени сжатия изображений и времени на обработку осуществлялось на основе статистической теории связи, теории вероятностей и математической статистики. Оценка адекватности теоретических и практических результатов проводилась на основе методов математической статистики.

**Научная новизна полученных результатов** обусловлена решением задач уменьшения суммарного времени обработки и передачи видеоинформации

в телекоммуникационных системах без потери качества за счет сокращения структурной и статистической избыточностей изображений.

1. Впервые построен и исследован метод сжатия массивов цветовых координат серий на основе их рекуррентного кодирования в разностном полиадическом пространстве, который отличается дополнительным учетом нижнего порога динамического диапазона данных и формированием неравномерных полиадических чисел. Это позволяет дополнительно увеличить степень сжатия изображений без внесения погрешности.

2. Впервые разработан и исследован метод сжатия массивов длин серий на основе смешанного полиадического кодирования. Данный метод отличается от существующих тем, что обработка элементов массивов длин серий проводится совместно в абсолютном и разностном полиадических пространствах с адаптивным выбором начального уровня отсчета кодов - номеров. Это позволяет дополнительно уменьшить количество служебных данных и увеличить степень сжатия массивов длин серий без потери информации.

3. Впервые разработан метод восстановления изображений на базе смешанного полиадического декодирования, который отличается от известных методов тем, что массивы цветовых координат та длин серий представляются в качестве чисел в смешанном полиадическом пространстве. Это позволяет своевременно получить изображения без внесения погрешности.

4. Получила дальнейшее развитие модель оценки информативности изображений на основе сокращения комбинаторной избыточности в массивах длин серий и их цветовых координат, которая отличается применением смешанных ограничений на динамические диапазоны обрабатываемых данных. Это позволило определить степень сжатия и количество операций на обработку видеоданных.

Новизна полученных результатов подтверждается отсутствием аналогов в положениях теории и практики систем кодирования, обработки и передачи данных.

**Практическое значение полученных результатов** исследований состоит в том, что:

1. Разработанные методы сжатия и восстановления изображений без потери качества на основе устранения комбинаторной избыточности, доведенные до программно – аппаратных реализаций, позволяют обеспечить коэффициент сжатия в среднем от **2,2** до **67** раз в зависимости от степени насыщенности изображений мелкими деталями.

2. Построено рекуррентное смешанное полиадическое кодирование, представленное в виде способов и алгоритмов, позволяет снизить время на обработку относительно постолбцового кодирования до **15%**.

3. Разработанные методы по сравнению с известными методами сокращают суммарное время обработки и передачи видеоданных в среднем на **20%**.

Результаты диссертации использовались при первичной обработке информации принятой с космического аппарата в Центре контроля космического пространства НКАУ (акт реализации от 12.03.2006 г.), при выполнении опытно-конструкторских работ на ДНВП “Об'єднанні Комунар” НТ СКБ “ПОЛІСВІТ” (акт реализации от 12.09.2006 г.), а также в учебном процессе Харьковского университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба (акт реализации от 17.04.2006 г.).

**Личный вклад автора** диссертационной работы в публикации, выполненные в соавторстве, заключается в следующем:

в статье [25] – получена оценка эффективности сжатия цифрового телевизионного сигнала;

в статье [26] – проведен выбор направления, позволяющего дополнительно повысить степень сжатия изображений без потери качества на основе методов с выделением серий одинаковых элементов;

в статье [27] – предложено осуществлять адаптивный выбор начального уровня формирования кодов - номеров массивов цветовых координат в разностном полиадическом пространстве. Обосновано, что представление массивов

цветовых координат в разностном полиадическом пространстве обеспечивает дополнительное исключение комбинаторной избыточности;

в статье [28] – разработано смешанное полиадическое кодирование массивов длин серий без потери качества;

в статье [29] - разработано компактное представление массивов служебных данных с учетом неравномерности их динамических диапазонов;

в статье [30] - создан метод сжатия видеоданных без потери качества на основе смешанного полиадического кодирования массивов цветовых координат и длин серий;

в статье [32] – сделано обоснование того, что в результате представления массивов длин серий в смешанном полиадическом пространстве обеспечивается дополнительное уменьшение объема кодового представления изображений;

в статье [33] – разработан метод восстановления массивов длин серий и цветовых координат в смешанном полиадическом пространстве;

в статье [34] – разработан метод восстановления массивов цветовых координат;

в статье [35] – получена оценка степени сжатия видеоданных методом сжатия изображений на основе смешанного полиадического кодирования массивов цветовых координат и длин серий.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты диссертации докладывались и были одобрены на следующих научно-технических конференциях и семинарах:

- международной научно-практической конференции "Системы и средства передачи и обработки информации" (г. Одесса, 2004 г.);

- 4-й и 5-й международных научно-технических конференциях "Проблемы информатики и моделирования" (г. Харьков, 2004, 2005 г.);

- першій науково-технічній конференції Харківського університету Повітряних Сил (г. Харьков, 2005г.);

- международной научно-практической конференции "Системы и средства передачи и обработки информации" (г. Черкасы, 2005 г.);



- науково-технічній конференції (г. Киев, 2005 г.);
- другій науковій конференції Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (г. Харьков, 2006 г.).

**Публикации.** Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в 18 научных трудах, включающих 11 научных статей в научных журналах и сборниках научных трудов, которые включены в перечень научных специализированных изданий ВАК [25-35], 7 тезисов – докладов на международных научно-технических и научно-практических конференциях [37-43].