

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

На правах рукописи

ШИРЯЕВ Андрей Владимирович

УДК 621.391.2: 004.9+528.8.04

**МЕТОД СНИЖЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ВИДЕОПОТОКА ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

05.12.02 - телекоммуникационные системы и сети

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
БАРАННИК Владимир Викторович

Харьков – 2012

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1. ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ВИДЕОТРАФИКА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ.....	13
1.1 Оценка возможности доставки видеотрафика в телекоммуникационных системах.....	14
1.2 Обоснование влияния интенсивности видеотрафика на производительность телекоммуникационных систем.....	27
1.3 Оценка эффективности использования методов сжатия для снижения интенсивности видеотрафика.....	37
1.4 Обоснование направления для совершенствования технологий компрессии видеоданных.....	49
1.5 Постановка задач на исследование.....	54
Выводы.....	59
РАЗДЕЛ 2. МЕТОД КВАДРАТУРНОГО СЖАТИЯ АППРОКСИМИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ПОЛИАДИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ.....	61
2.1 Обоснование выбора базиса для вейвлет-преобразования.....	62
2.2 Разработка метода сжатия НН-квadrатуры в полиадическом пространстве.....	74
2.3 Построение способа сжатия и совместной обработки составляющих LN и NL-квadrатур.....	98
2.4 Разработка метода сжатия и обработки LL-квadrатуры.....	107
Выводы.....	114
РАЗДЕЛ 3. МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ПОЛИАДИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ.....	115
3.1 Разработка метода восстановления НН-квadrатуры.....	116

3.2 Разработка метода совместного восстановления LH- и HL-кватратур.....	124
3.3 Разработка метода восстановления LL-кватратуры.....	131
Выводы.....	136
РАЗДЕЛ 4. МЕТОД ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СЖАТИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ	138
4.1 Оценка характеристик разработанного метода сжатия.....	139
4.2 Сравнительная оценка производительности телекоммуникационных систем с использованием различных методов компрессии.....	144
Выводы.....	159
ВЫВОДЫ	161
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	166
Приложение А. Примеры обрабатываемых реалистических изображений.....	178
Приложение Б. Примеры восстановленных реалистических изображений в случае воздействия помех в канале связи.....	179
Приложение В. Листинг программной реализации разработанного метода снижения интенсивности видеопотока.....	180
Приложение Д. Акт реализации научно-прикладных результатов исследований.....	190

СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АК	-	арифметическое кодирование
АТС	-	автоматическая телефонная станция
Битрейт	-	интенсивность видеопотока на выходе кодера
ДКП	-	дискретное косинусное преобразование
ДПУ	-	двумерное преобразование Уолша
ДПФ	-	дискретное преобразование Фурье
КДС	-	метод кодирования длин серий
КМС	-	комбинированный метод сжатия
КС	-	канал связи
МП	-	микропроцессор
МПК	-	метод полиадического кодирования
МПК	-	метод полиадического кодирования
НКРС	-	национальная комиссия регулирования связи
ПОСШ	-	пиковое отношение сигнал/шум
СКО	-	среднеквадратическое отклонение
ТКС	-	телекоммуникационные системы
ФМС	-	фрактальный метод сжатия
ЭМС	-	электромагнитная совместимость

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В настоящий момент тенденции развития инфотелекоммуникационных технологий, а в частности предоставление видеoinформационных услуг, доля объема передаваемого трафика которых составляет более 80% по отношению к всему объему, превосходят по степени роста развитие структуры телекоммуникационных систем [115]. Это приводит к тому, что производительности телекоммуникационных систем недостаточно для обслуживания возросшего объема передаваемых данных и следовательно видеoinформационные услуги не могут быть предоставлены с надлежащим качеством.

Следовательно, снижение интенсивности видеoinформационного потока для повышения производительности телекоммуникационных систем является актуальной *научно-прикладной задачей*.

Одним из эффективных направлений повышения производительности телекоммуникационных систем возможно при снижении интенсивности входного видеопотока на основе его компрессии [29, 59, 70, 76, 79, 81, 97, 98, 100]. В этом случае снижается загрузка узлов коммутации, время задержки и вероятности потерь пакетов на узлах телекоммуникационных систем. [6; 9; 17; 22; 26; 40; 60; 65, 90, 123].

Значительный вклад в развитие теории и разработку методов сжатия внесло много ученых. Среди них Королев А.В., Поляков П.Ф., Баранник В.В., Рябко Б.Я. и др. Из зарубежных исследователей большой вклад внесли Зив Дж., Прэтт У.К., Шеннон К., Хартли Р.Л., и др.

В зависимости от требований, предъявляемых к качеству восстанавливаемых изображений, все методы компактного представления разделяются на два базовых класса [24]. Первый класс составляют методы с внесением безвозвратных изменений. При сжатии используются принципы распознавания образов. На выходе процесса сжатия изображений формируются семантические описательные конструкции. Методы второго класса осуществляют

обработку без внесения погрешности. В данном случае исходное изображение восстанавливается на приемной стороне с нулевой погрешностью (не учитываются другие виды погрешностей, например, квантования, канала связи). Основными представителями методов данного класса являются кодирование Хаффмана, арифметическое кодирование (АК), метод кодирования длин серий (КДС), метод LZW [2, 3, 4, 37, 43, 46, 55, 62].

Основные недостатки таких методов состоят в том, что:

- временные затраты на сжатие, восстановление и передачу изображений достигает нескольких минут [35];

- коэффициент сжатия при приемлемом качестве восстановленных изображений не обеспечивает существенного снижения объема передаваемых данных [90];

- даже при 1% потерь пакетов в ходе передачи трафика видеoinформационных услуг психовизуальное восприятие восстановленных изображений на приемной стороне становятся неприемлемыми [17].

Значит, существующие методы сжатия *не обеспечивают необходимого коэффициента сжатия видеоданных* при допустимом качестве восстановленных изображений для повышения производительности телекоммуникационных систем. Отсюда следует, что разработка новых методов и технологий компактного представления объемов данных видеoinформационных услуг с сохранением заданного качества восстановленных изображений для повышения производительности функционирования телекоммуникационных систем является актуальным направлением научно-прикладных исследований.

На основе проведенного анализа [22, 25, 32, 50, 51, 52, 87, 88, 90, 93, 92, 94] недостатков существующих методов сжатия следует, что для повышения оперативности доведения информации необходимо разработать метод, обеспечивающий:

1) сжатие изображений с контролируемой потерей качества с использованием ортогональных преобразований имеющих следующие свойства: работают в области целочисленных значений; позволяют минимизировать

количество операций умножения; обеспечивать уменьшение временной сложности преобразования и снижение ошибки аппроксимации для сильнонасыщенных изображений, обладающих определенной анизотропностью [7, 10, 24, 31, 34, 38, 39, 74, 121];

2) сжатие трансформант преобразований на основе выявления закономерностей не только статистической природы, но и закономерностей комбинаторной природы [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 24, 52].

Таким образом, тематика диссертационных исследований, связанная с разработкой метода снижения интенсивности видеотрафика для повышения продуктивности телекоммуникационных систем на основе применения технологий компрессии, является актуальной.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Диссертационные исследования проводились в соответствии со следующими программами и нормативными документами: Закона Украины «Про Концепцію Національної програми інформатизації» от 04.02.1998 № 75/98-ВР, Концепцією розвитку зв'язку України от 9.12.1999 р. N 2238, Национальными космическими программами Украины от 30.09.2008 N 608-VI, планам научной, научно-технической деятельности Харьковского национального университета радиоэлектроники, в рамках которых была выполнена НИР «Разработка цифровых технологий преобразования и управление информационными потоками в интеллектуальных сетях связи» (ИР № 0103U001563), в которой автор диссертации был исполнителем.

Цель исследований. Цель диссертационной работы заключается в разработке метода снижения интенсивности видеоинформационного потока на основе его компрессии для повышения производительности телекоммуникационных систем.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие частные задачи:

1. Обосновать направления для повышения производительности телекоммуникационных систем на основе снижения интенсивности входного видеопотока.

2. Разработать метод сжатия изображений для снижения интенсивности видеопотока.

3. Создать метод декомпрессии изображений для обеспечения заданного качества видеoinформационных услуг.

4. Построить программную реализации созданного метода.

Объект исследования: Процессы снижения интенсивности видеoinформационного потока для повышения производительности функционирования телекоммуникационных систем.

Предмет исследования: Модели и методы снижения интенсивности видеoinформационного потока на основе компактного представления изображений.

Методы исследования. Обоснование направления повышения производительности телекоммуникационных систем осуществлялось на основе системного подхода с использованием теоретического аппарата исследования сложных систем. Разработка метода компрессии и реконструкции изображений проводилась с использованием положений теорий информации и кодирование. Исследование свойств трансформированных изображений организовывалось на базе методов спектрального и вейвлет-анализа. Оценка адекватности теоретических и практических результатов проводилась на основе методов математической статистики.

Научная новизна обусловлена разработкой метода снижения интенсивности входного видеопотока для повышения производительности телекоммуникационных систем за счет сокращения объема видеoinформации на базе квадратурного полиадического кодирования вейвлет-трансформант. Научная новизна результатов исследований заключается в том, что:

1. Впервые разработан метод компрессии изображений на основе полиадического кодирования квадратур вейвлет-преобразований. В отличии от

существующих, метод кодирования строится по двухуровневому дифференцированному принципу с учетом структурных и статистических особенностей каждой квадратуры. Это позволяет повысить степень сжатия изображений и снизить интенсивность видеопотока в заданных условиях по оперативности его формирования и качества восстанавливаемых изображений.

2. Впервые разработан метод восстановления изображений на основе предварительного обратного вейвлет-трансформирования. Отличие заключается в том, что восстановление квадратур осуществляется по дифференцированному принципу в зависимости от концентрации высокочастотных и низкочастотных компонент вейвлет-преобразования. Это позволяет повысить качество видеотрансляционных услуг за счет снижения искажений в реконструируемых изображениях.

3. Получил дальнейшее развитие метод повышения производительности телекоммуникационных систем на основе снижения интенсивности входного видеопотока, состоящий в том, что сокращение объема изображений достигается на базе квадратурного полиадического кодирования вейвлет-трансформант. Это позволяет снизить интенсивность видеопотока и повысить производительность телекоммуникационных систем для заданного качества реконструируемых изображений.

4. Усовершенствована модель оценки характеристик производительности телекоммуникационных систем, состоящее в том, что дополнительно учитывается влияние на интенсивность, размеры пакетов и буферных устройств величины степени сжатия входного видеопотока. Это позволяет провести оценку возможности повышения производительности телекоммуникационных систем при обеспечении качества предоставляемых услуг на основе снижения интенсивности видеопотока.

Новизна полученных результатов подтверждается отсутствием разработанных моделей и методов в существующих положениях теории и практики систем обработки информации и кодирования.

Практическое значение полученных результатов исследований состоит в том, что в результате программной реализации полученных методов снижения интенсивности видеопотока обеспечивается:

1) снижение интенсивности входного видеопотока в телекоммуникационных системах в среднем на 23% за счет:

- повышение степени сжатия в среднем на 24% относительно известных технологий компрессии с использованием вейвлет-преобразований с заданным качеством реконструкции. Это достигается как сокращением длины информационной части кодограммы (устраняется структурная избыточность в результате дополнительного учета структурных особенностей квадратур трансформант), так и снижением количества служебных данных на построение системы оснований;

- снижения количества служебных данных в среднем на 63% относительно существующих технологий полиадического кодирования;

2) обеспечивается сокращение времени обработки для среднекогерентных изображений в среднем на 12% относительно существующих технологий сжатия вейвлет-трансформированных изображений.

Это приводит к повышению производительности телекоммуникационных систем, а именно:

1) снижение времени задержки пакета на 30%;

2) сокращение времени доставки видеоданных в телекоммуникационных системах;

3) уменьшение вероятности потери пакетов на буферных устройствах за счет снижения длины очереди на 66% и с другой стороны обеспечить повышение производительности коммутационного оборудования за счет сокращения длины буферных устройств.

Практическая значимость полученных результатов диссертации подтверждается их применением при выполнении исследовательско-конструкторских работ в Центральном научно-исследовательском институте МВД Украины (акт реализации от 14.05.2012 г.).

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

- в статье [9] - обосновывается использование вейвлет-преобразований для трансформирования изображений;

- в статье [11] - разработан метод сжатия изображений на основе обработки трансформант дискретных вейвлет-преобразований;

- в статье [12] - обосновывается способ кодирования LH и HL-квадратур вейвлет-трансформант изображений;

- в статье [18] - строится метод сжатия HH квадратуры вейвлет-преобразованного изображения на основе полиадического кодирования;

- в статье [19] - разрабатывается способ декодирования трансформант вейвлет-преобразования в двухмерном полиадическом пространстве;

- в статье [20] - создается метод восстановления трансформант вейвлет-преобразований в полиадическом двухуровневом пространстве;

- в статье [21] - осуществляется обоснование использования полиадического кодирования вейвлет-трансформант изображений;

- в статье [90] - проводится анализ влияния процесса сжатия видеoinформации на основные характеристики производительности телекоммуникационных систем.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертации докладывались и были одобрены на:

- IV міжнародна наукова конференція "Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації", 2010 (Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, м. Кам'янець-Подільськ, Україна);

- Перша міжнародна науково-технічна конференція "Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку", 2010 р. (ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», Київ, Україна);

- Друга міжнародна науково-технічна конференція "Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку", 2011 р. (ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», Київ, Україна);

– III міжнародна науково-практична конференція "Обробка сигналів і негаус-сівських процесів", 2011 р. (Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна);

– XIX Міжнародна науково-практична конференція (MicroCAD-2011) "Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я", 2011 р. (Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна);

– 24-я международная конференция "Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины", 2011 г. (Українська державна академія залізничного транспорту, Алушта, Україна);

– 11th International Conference TCSET'2012 "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science", 2012 y. (Lviv Poly-technic National University, Lviv – Slavske, Ukraine);

– V міжнародна наукова конференція "Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації", 2012 р. (Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, Кам'янець-Подільськ, Україна);

– Третья Міжнародна науково-практична конференція "Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія", 2012 р. (Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна).

Публикации. Основные положения диссертационной работы изложены в 18 научных трудах и включают 9 научных статей, опубликованных в научных журналах, которые входят в перечень ВАК, 9 тезисов докладов на международных научных конференциях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Айфичер Э. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание.: Пер. с англ. / Э. Айфичер, Б. Джервис. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. - 992 с.
2. Александров Н.В. Представление и обработка изображений. Рекурсивный подход / Н.В. Александров, Н.Д. Горский. – Л. : Наука, 1985. – 192 с.
3. Анисимов Б.В. Распознавание и цифровая обработка изображений: учебное пособие для студентов вузов / Б.В. Анисимов, В.Д. Курганов, В.К. Злобин. – М. : Высшая школа, 1983. – 295 с.
4. Ансон Л., Барнсли М. Фрактальное сжатие изображений // Мир ПК. - 1992. - №4. - С. 23 - 27.
5. Асташкин А.А. Космические системы, аппараты и приборы для решения задач природопользования и экологического контроля / А.А. Асташкин. – М. : ВИНТИ, 1991. – 142 с.
6. Аудиовизуальные системы связи и вещания: новые технологии третьего тысячелетия, задачи и проблемы внедрения в Украине / [О.В. Гофайзен, А.И. Ляхов, Н.К. Михалов и др.] // Праці УНДІРТ. – 2000. – № 3. – С. 3-40.
7. Ахмед Н. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Н. Ахмед, К.Р. Рао; пер. с англ. под ред. И.Б. Фоменко. – М. : Связь, 1980. – 248 с.
8. Баранник В.В. Динамическое кодирование трансформант изображений в двухуровневом полиадическом пространстве / В.В. Баранник, И.В. Хаханова, В.В. Елисеев // Радиоэлектроника и информатика. – Вып. 2. – 2007. - С. 90 – 96.
9. Бараннік В.В. Модель оцінювання інформативності диференційного представлення [Текст] / В.В. Бараннік, В.В. Шинкарев, А.В. Ширяев. // Наукоємні технології. – К.: НАУ, 2009, - №4(4), - С. 88-92.

10. Баранник В.В. Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева - Х.: ХУПС, 2009. – 252 с.

11. Баранник В.В. Сжатие изображений на основе обработки трансформант дискретных вейвлет-преобразований. [Текст] / В.В. Баранник, А.В. Ширяев, М.В. Думанский // Сучасна спеціальна техніка, К.: ДНДІ МВС України, 2010, - №3(22), - С. 45-51.

12. Баранник В.В. Способ кодирования LH и HL-квадратур вейвлет-трансформант изображений. [Текст] / В.В. Баранник, А.В. Ширяев, А.В. Пивнюк. // Сучасна спеціальна техніка, К.: ДНДІ МВС України, 2010. - №4(23), - С. 67-72.

13. Баранник В.В. Кодирование коэффициентов wavelet преобразования [Текст] / В.В. Баранник, А.В. Ширяев // IV міжнародна наукова конференція ["Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації"], (Кам'янець-Подільськ, 25 - 28 квітня 2010 р.), Кам'янець-Подільськ, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2010, - С. 250-251.

14. Баранник В.В. Кодирование высокочастотных составляющих wavelet-преобразования [Текст] / В.В. Баранник, А.В. Ширяев // Перша міжнародна науково-технічна конференція ["Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку"], (Київ, 5-6 липня 2010 р.) / К.: ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», 2010, - С. 25.

15. Баранник В.В. Метод кодирования мультимедийных данных для повышения эффективности функционирования телекоммуникационных систем [Текст] / В.В. Баранник, А.В. Ширяев // Друга міжнародна науково-технічна конференція ["Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку"], (Київ-Харків, 15 - 16 грудня 2011 р.) / К.: ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», 2011, - С. 16.

16. Баранник В.В. Оценка квадратурного сжатия трансформант вейвлет-преобразования в двумерном полиадическом пространстве [Текст] / В.В. Баранник, А.В. Ширяев // XIX міжнародна науково-практична конференція (MicroCAD-2011) ["Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я"], (Харків, 01-03 червня 2011 р.), Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2011, - С. 78.

17. Баранник В.В. Уменьшение задержки передачи, ожидания в очереди и вероятности потери пакетов за счет сжатия передаваемых данных [Текст] / В.В. Баранник, А.В. Ширяев // 24-я международная конференция ["Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины"], (Алушта, 23-27 вересня 2011 р.), Алушта: УДАЗТ, 2011, - С. 137-138.

18. Баранник В.В. Метод стиснення НН-квадратури вейвлет-перетвореного зображення на основі поліадичного кодування [Текст] / В.В. Баранник, А.В. Ширяєв, П.Н. Гуржій // Наукоємні технології. К.: НАУ, 2011. - №1-2(9-10), - С. 69-72.

19. Баранник В.В. Декодування вейвлет-трансформант зображень у дворівневому поліадичному просторі [Текст] / В.В. Баранник, П.Н. Гуржій, А.В. Ширяєв // Наукоємні технології. К.: НАУ, 2011. - №3-4(11-12), - С.64-67.

20. Баранник В.В. Метод восстановления трансформант вейвлет преобразования в полиадическом двухуровневом пространстве [Текст] / В.В. Баранник, А.В. Ширяев // Системи управління навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НУ, 2011, - №1(17), - С. 269-272.

21. Баранник В.В. Метод квадратурного сжатия трансформант вейвлет- преобразования в двумерном полиадическом пространстве [Текст] / В.В. Баранник, А.В. Ширяев // Сучасна спеціальна техніка, К.: ДНДІ МВС України, 2011, - №2(25) - С. 73-80.

22. Баранник В.В. Анализ влияния квадратурного сжатия изображений на характеристики сети доступа и транспортной сети [Текст] / В.В. Баранник, А.В. Ширяев // V міжнародна наукова конференція ["Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації"], (Кам'янець-Подільськ, 26 - 28 квітня 2012 р.), Кам'янець-Подільськ: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2012, - С. 10-11.

23. Баранник В.В. Обоснование влияния характеристик сжатия видеоданных на параметры передачи трафика в телекоммуникационных сетях [Текст] / В.В. Баранник, А.В. Ширяев // Третья міжнародна науково-практична конференція ["Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія"], (Вінниця, 29-31 травня 2012 р.), Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2012, - С 43

24. Баранник В.В., Поляков В.П. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах. - Монографія. – Х.: ХУПС, 2010. – 212 с.

25. Баранник В.В., Поляков В.П., Слободянюк А.В. Кодирование трехмерных моделей видеокладов в инфокоммуникационных системах. - Монографія. – Х.: ХУПС, 2011. – 220 с.

26. Багатоканальний електров'язок та телекомунікаційні технології: Підручник для студентів вищих навч. закладів / За редакцією Поповського В.В. - Харків: «Компанія СМІТ»; 2003.- 512 с.

27. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов: Пер. с англ. – М.: Мир, – 1989. – 448 с.

28. Бондарев В.Н., Трестер Г., Чернега В.С. Цифровая обработка сигналов: методы и средства. Учебное пособие для вузов. 2-е изд. – Х.: Конус, 2001. – 398с.

29. Будников В.Ю., Пономарев Б.А. Технологии обеспечения качества обслуживания в мультисервисных сетях / Вестник связи. - 2000. - №9.

30. Буров Є. Комп'ютерні мережі. - Львів: Бак, 1999. - 468 с.

31. Быков Р.Е. Цифровое преобразование изображений / Р.Е. Быков. – М. : Горячая линия - Телеком. – 2003. – 228 с.
32. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / [Т.С. Хуанг, Дж.О. Эклунд, Г.Дж. Нуссбаумер и др.]; под ред. Т.С. Хуанга; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.
33. Василенко Г.И., Тараторин А.М. Восстановление изображений. - М.: Радио и связь, 1986. - 304с.
34. Васильев В.Н. Компьютерная обработка сигналов / В.Н. Васильев, И.П. Гуров. - СПб: БХВ Санкт-Петербург, 1998. - 240 с.
35. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2003. – 384с.
36. Введение в контурный анализ: приложения к обработке изображений и сигналов / [Я.А. Фурман, А.В. Кревецкий, А.К. Передреев и др.]; под ред. Я.А. Фурмана. – [2-е изд.]. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
37. Воробьев В.И. Теория и практика вейвлет – преобразования / В.И. Воробьев, В.Г. Грибунин. – СПб.: ВУС, 1999. – 203 с.
38. Гимельфарб Г.Л. Аппаратные средства и особенности программного обеспечения диалоговой цифровой обработки изображений // Зарубежная радиоэлектроника. - 1985. - №10. - С. 87- 128.
39. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1073 с.
40. Гургенидзе А.Т., Корше В.И. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа.-С.-П.,2003.-434с.
41. Дмитриев В.И. Прикладная теория информации. - М.: Высш. шк., 1989. – 320 с.
42. Засядько А.А. и др. К анализу эффективности алгоритмов и программ быстрых ортогональных дискретных преобразований // Электрон. моделирование. - 1998. - №6. - С. 109 - 111.

43. Залманзон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях / Л.А. Залманзон. – М. : Наука, 1989. – 496 с.
44. Золотарев В.В. Реальный энергетический выигрыш кодирования для спутниковых каналов / В.В. Золотарев // Спутниковая связь – ICSC-2000: IV междунар. конф.: труды конф. – М. : МЦНТИ, 2000. – Т. 2. – С. 20-25.
45. Зуборев Ю.Б., Глориозов Г.Л. Передача изображений. - М.: Радио и связь, 1989. – 332с.
46. Иванов В.Г. Формальное описание дискретных преобразований Хаара // Проблемы управления и информатики. - 2003. - №5. - С. 68 – 75.
47. Каргаполов Юрий. Новые тенденции информационных технологий и их связь с NGN. // <http://it.news.ua/rubrikator/item/1374-novie-tendentsii-informatsionnich-technologiy-i-ich-svyaz-s-ngn.html>
48. Климов А.С. Форматы графических файлов. - С.-Пб.: ДиаСофт, 1995. - 385 с.
49. Корнеев В.В. Современные микропроцессоры / В.В. Корнеев, А.В. Киселев. - СПб.: БВХ-Петербург, 2003. – 448 с.
50. Королев А.В. Метод комплексной обработки изображений / А.В. Королев, В.В. Баранник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – № 5. – С. 10 – 17.
51. Королев А.В., Баранник В.В. Метод восстановления трансформант дискретного косинусного преобразования // Системи обробки інформації.- Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ.-2000.-Вип. 3(9).-С. 83-86.
52. Королева Н.А., Красноруцкий А.А. Кодирование трансформант преобразований Уолша // Збірник наукових праць. Випуск 1(1). – Харків: ХУ ПС, 2005. – 101-103.
53. Кравченко В.Ф., Рвачев В.А. "Wavelet"– системы и их применение в обработке сигналов // Зарубежная радиоэлектроника. – №4. – 1996. – С. 3 – 20.

54. Красильников Н.Н. Теория передачи и восприятия изображений. Теория передачи изображений и ее приложения / Н.Н. Красильников. – М. : Радио и связь, 1986. – 248 с.
55. Красноручский А.А. Оценка информативности трансформант ДПУ // Збірник наукових праць. Випуск 2(8). – Харків: ХУ ПС, 2006. – С.85-88.
56. Кривошеев М.И. Цифровое телевидение. – М.: Связь, 1980. – 285 с.
57. Кричевский Р.Е. Сжатие и поиск информации. – М.: Радио и связь, 1989. – 150с.
58. Крук Б.И. Телекоммуникационные системы и сети. Том 1, 2, 3 / Б.И. Крук, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов. - М.: Горячая линия-Телеком, 2003. - 647 с.
59. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения.-СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
60. Куракин, О.В. Оценка влияния характеристик канала передачи на показатели качества видеоизображения в мобильной связи / О.В. Куракин // Международный телекоммуникационный симпозиум «Мобильная связь»: тез. докл. / Санкт-Петербургское отделение международной академии связи. – СПб, 2007. – С. 19 – 29.
61. Куракин, О.В. Оценка качества видеоизображения при передаче в сети GSM / О.В. Куракин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2008. – № 6. – С. 23 –27.
62. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов: Пер. с англ. – М.: Мир, 2005. – 671 с., ил.
63. Мастрюков Д. Алгоритмы сжатия информации. Часть 2. Арифметическое кодирование // Монитор. – 1994. – №1. – С. 20 – 23.
64. Мастрюков Д. Алгоритмы сжатия информации. Часть 4. Алгоритм LZW // Монитор. – 1994. – №2. – С. 8 – 11.

65. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В.В. Поповський, С.О. Сабурова, В.Ф. Олійник, Ю.І. Лосєв, Д.В. Агєєв та ін.: За загал. ред. В.В. Поповського. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.
66. Миано Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии: учебное пособие / Дж. Миано; пер. с англ. – М. : Триумф, 2003. – 336 с.
67. Мусман Х.Г., Пирш П., Гарллет Х.Й. Достижения в области кодирования изображений // ТИИЭР. - 1985. - №4. - С. 31 - 39.
68. Назаров А.Н. Модели и методы расчета структурно-сетевых параметров сетей АТМ.-М.:Наука,2002.-315с.
69. Нетравали А.М., Лимб Дж.О. Кодирование изображений // ТИИЭР. - 1980. - №3. - С. 76 - 124.
70. Николаев Ф.А., Фолин В.И., Хохлачев Л.М. Проблемы повышения достоверности в информационных системах. -Л.: Энергоатомиздат, 1982. - 138 с.
71. Обработка изображений и цифровая фильтрация / [под ред. Т.С. Хуанга]. – М. : Мир, 1979. – 318 с.
72. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы. - М. Литер, 2002 - 668с.
73. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. - СПб.: Питер, 2006. - 958 с.
74. Осипов Л.А. Обработка сигналов на цифровых процессорах / Л.А. Осипов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 112 с.
75. Поляков П.Ф. Метод комбинированного полиадического кодирования массивов длин серий / П.Ф. Поляков, В.В. Баранник, Н.А. Корольова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – №5. – С. 42 – 46.
76. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ. / Под ред, Д.Д Кловского. – М.: Радио и связь. 2000. - 800 с.

77. Протоколы сети доступа. Том 2 (3-е издание) . Гольдштейн Б.С. СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2005 – 288 с.
78. Прэтт У. Методы передачи изображений. Сокращение избыточности. – М.: Радио и связь, 1983. – 263 с.
79. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: в 2 т. / У. Прэтт; пер. с англ. – М. : Мир, 1985. – 736 с.
80. Свириденко В.А. Анализ систем со сжатием данных. – М.: Связь 1978.- 183с.
81. Семёнов Ю.А. Телекоммуникационные технологии. ГНЦ ИТЭФ 2004.
82. Сети абонентского доступа. Принципы построения. Соколов Н.А. ИПК "Звезда". г. Пермь, 1999, 254 с.
83. Сети связи. Учебник для ВУЗов Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г.Г. СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2011. – 400 с.
84. Синепол В.С. Системы компьютерной видеоконференцсвязи / В.С. Синепол, И.А. Цикин. – М.: ООО “Мобильные коммуникации”, 1999. – 166 с.
85. Справочник по телекоммуникационным протоколам. Гольдштейн Б.С., Крюков Ю.С., Пинчук А.В., Хегай И. П., Шляпоберский В.Э. СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2006, 160 с.
86. Стрелков А.И., Барсов В.И., Воронин А.В. Исследование влияния случайного шума на степень сжатия изображения по алгоритму JPEG // Системи обробки інформації. – Харків: ХВУ – 2004. – Вип. 12 (40). – С. 218 - 221.
87. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон. – М: Техносфера, 2004. – 368 с.
88. Чернега В.С. Сжатие информации в компьютерных сетях / В.С. Чернега. – Севастополь: Изд – во СевГТУ, 1997. – 214 с.
89. Ширяев А.В. Динамическое декодирование вейвлет-трансформант изображений в двухуровневом полиадическом пространстве [Текст] / А.В. Ширяев // III міжнародна науково-практична конференція ["Обробка сигналів

і негауссівських процесів"], (Черкаси, 24 – 27 травня 2011 р.) / Черкаси: Черкаський державний технологічний університет, 2011, - С. 178-179.

90. Ширяев А.В. Анализ влияния процесса сжатия видеoinформации на основные характеристики телекоммуникационной сети [Текст] / А.В. Ширяев, А.А. Красноручкий // Сучасна спеціальна техніка, К.: ДНДІ МВС України, 2012, - №1(28) - С. 42-47.

91. Шульгин В.И. Основы теории передачи информации. Ч. I. Экономное кодирование / В.И. Шульгин. - Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003. - 102 с.

92. Яковенко А.В. Методологічні основи комплексного представлення зображень з контрольованою погрішністю / А.В. Яковенко // Системи озброєння і військова техніка – Х.: ХУПС. – 2008. – Вип. 2(14). – С. 128-131.

93. Яковенко А.В. Восстановление трансформант Уолша на основе плавающего двумерного декодирования / А.В. Яковенко // 21-я международная научно-практическая конференция "Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины", Алушта, 2008 г. – С. 30.

94. Яковенко А.В. Технология кодирования трансформант преобразования Уолша / А.В. Яковенко, А.А. Красноручкий, С.Л. Никитченко // Сучасна спеціальна техніка. – 2009. – Вип. 3(14). – С. 128-135.

95. Abramov S.K. Multiplicative Noise Variance Evaluation in MM-band Radar Images Using Myriad Estimation / S.K. Abramov, V.V. Lukin, A.A. Zelensky // Physics and Engineering of Millimeter and Sub-Millimeter Waves: Proceeding of the Fourth International Kharkov Symposium, June 2001. – Kharkov, Ukraine, 2001. – Vol. 1. – P. 429–431.

96. Andrews H.C., Hunt B.R. Digital Image Restoration.- Englewood Cliffs (NJ): Prentice Hall, 1977. - XVIII, 238 p.

97. Barlaud M. Pyramidal lattice vector quantization for multiscale image coding / M. Barlaud // IEEE Trans. image Proc. – 1994. – V. 3. – № 4. – P. 367-381.

98. Beaumont J.M. Image data compression using fractal techniques / J.M. Beaumont // *BT Technological Journal*. – 1991. – V. 9. – № 4. – P. 92-109.
99. Digital image processing / Collect.: Chellappa R. – los Alamitos (Ca) etal.: IEEE computer soc. press, 1992. – IX, 801p.
100. Donoho D.L., Johnstone I.M., Kerkyacharian G., Picard D. Wavelet shrinkage: asymptotia // *Jour. Roy. Stat. Soc.* – 1995. – Series B, vol. 57, №2. – P. 301 – 369.
101. Exploiting Hyperspectral Imagery // *IEEE Signal Processing Magazine*. – 2002. – Vol 19. – №1. – 80 p.
102. Christophe E. Quality criteria benchmark for hiperspectral imagery / E. Christophe, D. Lager, C. Mailhes // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – Sept 2005. – Vol. 43. – No 9. – P. 2103 - 2114.
103. Cohen A. Compression of Multichannel ECG Through Multichannel Long-Term Prediction / A. Cohen, Y. Zigel // *IEEE Engineering in Medicine and Biology*. – 1998. – P. 109 - 115.
104. Fractal image compression: theory and application./ Ed.: Y.Fisher. - New York, 1995. - XVIII, 341 p.
105. Gopinath R.A. On cosine-modulated wavelet orthogonal bases / R.A. Gopinath, C.S. Burrus // *IEEE Trans. Image Proc.* – 1995. – V. 4. – № 2. – P. 162 - 177.
106. Good J. The interaction algorithm and practical Fourier analysis // *J. Royal Stat. Soc. (London)*. - 1958. - V. B-20. - P. 361-372.
107. Gofaizen O.V., Mykhaylov M.K., Zaitsev A.A., Fomin K.V., Shishkin V.V. “On choice of parameters of digital sound for Enhanced SECAM TV system” – Proceeding of the UNIRT, No. 7, 1996.
108. Gofaizen O.V., Zaitsev A.A., Kryukova T.D., Fomin K.V. “Basic principles and parameters of Enhanced SECAM TV system” – Proceeding of the UNIRT, No. 7, 1996.
109. Gray R.M. Vector Quantization // *IEEE ASSP Magazine*. - April 1984. - P. 4 - 29.

110. Habibi A., Wintz P.F. Image coding by linear transformation and block quantization // IEEE Trans. Commun. Tech. – 1971. V. COM – 19. - №1. P.50-63.
111. Jaquin A.E. Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformations // IEEE Trans. Image Proc. - 1992. -V.1. -№1. - P. 18 - 30.
112. Kaarna A. Blockwise Distortion Measure for Lossy Compression of Multispectral Image / A. Kaarna, J. Parkkinen // Proceeding of the 10-th European Signal Processing Conference, 5-8 September 2000. – Tampere, Finland, 2000. – P. 2197-2200.
113. Kang H. R. Color Technology for Electronic Imaging Devices, Vol. PM28, SPIE Press, Bellingham, WA, 1997.
114. Kossentini F., Chung W.C., Smith M. Subband image coding using entropy-constrained residual vector quantization // Information Processing and Management. - 1994. -V.30. -№6. - P. 887 - 896.
115. PC Week. Cisco огласила результаты ежегодного исследования VNI 2009-2014 [Электронный ресурс] // <http://www.pcweek.ua/themes/detail.php?ID=128179>
116. Petrou M. Image Processing The Fundamentals, John Wiley & Sons, Inc., 1999, 355 p.
117. Ponomarenko N., Lukin V., Egiazarian K., Astola J., Partition Schemes in DCT Based Image Compression, // Technical Report 3-2002, ISBN 952-15-0811-6, Tampere University of Technology, Finland, 2002, 100 p.
118. Pratt W.K., Chen W.H., Welch L.R. Slant transform image coding // Proc. Computer Processing in communications. – New York: Polytechnic Press, 1969. P. 63-84.
119. Pratt K. Digital Image Processing: PIKS Inside, Third Edition. John Wiley & Sons, Inc., 2001, 738 p.
120. Sayood Khalid. Introduction to Data Compression. – San Francisco: Morgan Kaufman Publishers Inc., 1995. – 453p.

121. Senoo T., Giord B. Vector quantization for entropy coding of image subbands // IEEE Trans. Image Proc. - 1992. -V.1. -№4. - P. 526-532.
122. Stefanoiu D. Introduction to signal processing with wavelets // Studies on Information and Control. -1994. - V.3. - №1. - P. 97-110.
123. Storer J.A. Data compression: Methods and theory / J.A. Storer. – Rockville (Md): Computer science press, 1988. – X. – 413 p.
124. Tan K.H. Layered image coding using the DCT pyramid / K.H. Tan, M. Ghanbari // IEEE Trans. Image Proc. – 1995. – V. 4. – № 4. – P. 512-516.
125. Vladimir Barannik Quadrature Compression of Images in Polyadic Space [Текст] / Vladimir Barannik, Andrey Shiryaev // 11th International Conference TCSET'2012 ["Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science"], (Lviv-Slavske, Ukraine, february 21–24, 2012) / Lviv – Slavske: Lviv Polytechnic National University, 2012, - C. 422
126. Wallace G.K. Overview of the JPEG (ISO/CCITT) Still image compression: image processing algorithms and techniques / G.K. Wallace // Processing of the SPIE. – 1990. – Vol. 1244. – P. 220-233.
127. Wallace G.K. The JPEG algorithm for image compression standard / G.K. Wallace // Communications of the ACM. – 1991. – Vol. 34. – № 4. – P.30-44.