

На правах рукописи

Жуков Сергей Владимирович

**АЛГОРИТМЫ И УСТРОЙСТВА МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ В
СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ**

Специальность: 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства и
телевидения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2008

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете “ЛЭТИ” им. В.И. Ульянова (Ленина)

Научный руководитель-
доктор технических наук, профессор Н.В. Лысенко

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор В.Н. Малышев
кандидат технических наук, С.А. Третьяк

Ведущая организация - **ФГУП “НИИ Вектор”**

Защита диссертации состоится “17” декабря 2008 г. в 14 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.238.03 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета “ЛЭТИ” им. В.И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке университета.

Автореферат разослан “14” ноября 2008 г.

Ученый секретарь совета по защите
докторских и кандидатских диссертаций

С.А. Баруздин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Телевизионное вещание и телевизионная индустрия многих стран мира уже полностью вовлечены в необратимый процесс перехода к цифровым технологиям на всех этапах - от создания, производства и хранения до распространения и доставки непосредственно к потребителям аудиовизуальной информации. В настоящее время разработаны и широко используются системы цифрового телевидения на основе стандартов DVB(Digital Video Broadcasting – цифровое видео вещание), ATSC (Advanced Television Systems Committee – комитет по системам перспективного телевидения), ISDB (Integrated Services Digital Broadcast – интегрированные службы цифрового вещания), а также системы IPTV (Internet Protocol TV – телевидение в IP-сетях).

В настоящее время наблюдается существенное увеличение количества телевизионных программ (ТВ программ) и рост трафика IP-сетей, передаваемых через системы цифрового телевидения. Это объясняется как увеличением количества абонентов подключаемых к системам цифрового телевидения, так и появлением в них новых служб, таких как VoD (Video on Demand – видео по требованию), IP-телефония и др. В связи с возрастающей нагрузкой, емкостей существующих каналов передачи информации, составляющих системы цифрового телевидения, зачастую оказывается недостаточно для обслуживания абонентов. Решением этой задачи, наряду с увеличением емкостей существующих и строительством новых каналов передачи информации, является повышение эффективности использования существующих каналов передачи информации. Повышение эффективности использования каналов передачи информации может быть достигнуто за счет использования статистических способов объединения информационных потоков, передаваемых по системам цифрового телевидения, и учета внутренней структуры информационных потоков.

Таким образом, актуальной является задача повышения эффективности обработки информационных потоков в системах цифрового телевидения, на основе собранной в реальном времени информации о структуре и распределении скоростей информационных потоков, а также разработка устройств реализующих соответствующую эффективную обработку информационных потоков.

Цель и задачи работы. Целью работы является задача повышения эффективности обработки информационных потоков в системах цифрового телевидения, на основе собранной в реальном времени статистической информации, для снижения емкости канала связи на выходе мультиплексора. Для достижения указанной цели требуется решение следующих задач:

1. Анализ существующих систем цифрового телевидения с точки зрения их использования в различных средах распространения сигнала.
2. Анализ структуры информационных потоков в системах цифрового телевидения.
3. Анализ существующих алгоритмов и устройств объединения информационных потоков.
4. Разработка алгоритма статистического объединения информационных потоков.
5. Моделирование работы разработанного алгоритма.
6. Исследование возможностей разработанного алгоритма и формулировка требований к структуре объединяемых информационных потоков.
7. Сравнение мультиплексора работающего согласно разработанному алгоритму с мультиплексорами работающими в соответствии с существующими алгоритмами объединения информационных потоков.

8. Исследование влияния потерь при передаче информационных потоков на качество телевизионного изображения.

Предметом исследования являются исследования объединения информационных потоков при использовании существующих и разработанного алгоритмов мультиплексирования информационных потоков в системах цифрового телевидения.

Методы исследования. В диссертации использованы методы математического аппарата цифровой обработки изображений, теории вероятности, теории передачи информации, теории алгоритмов и теории принятия решений. Экспериментальная часть исследования базировалась на обработке и анализе реальных информационных потоков системы цифрового телевидения DVB с помощью ПЭВМ с последующей численной и визуальной оценкой результатов. Для программной реализации разработанного алгоритма использовались системы математического моделирования Mathcad и MATLAB.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Внесен вклад в теорию обработки телевизионных сигналов: формализована модель работы сглаживающего алгоритма статистического мультиплексирования без изменения детализации изображения.
2. Сформулированы требования к структуре цифровых телевизионных потоков, заключающиеся в том, что в процессе объединения телевизионных сигналов согласно сглаживающему алгоритму статистического мультиплексирования без изменения детализации изображения, необходимо выбирать максимально различные структуры последовательностей кадров объединяемых цифровых телевизионных сигналов.
3. На основании исследования влияния информационных потерь на качество декодируемого телевизионного изображения, установлено, что потери 15%, передаваемой информации, приводят к снижению субъективной оценки качества телевизионного изображения с оценки 5 на оценку 4, по пятибалльной формализованной шкале категорий.
4. В результате сопоставительного анализа существующих алгоритмов объединения информационных потоков с разработанным алгоритмом, выявлены следующие преимущества: снижение емкости канала передачи информации на выходе мультиплексора, необходимой для передачи многопрограммного информационного потока составило от 20% до 50%, в зависимости от того, с каким из существующих алгоритмов проводилось сравнение.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Модель сглаживающего алгоритма статистического мультиплексирования позволяет рассчитать: емкость канала передачи информации, необходимую для передачи многопрограммного информационного потока; выбрать структуру последовательности кадров, используемую в обрабатываемых информационных потоках.
2. Разработанный алгоритм позволяет ввести в систему цифрового телевидения дополнительные телевизионные программы без увеличения емкости канала передачи информации на выходе мультиплексора.
3. Мультиплексор, работающий согласно разработанному алгоритму в системах цифрового телевидения, позволяет снизить емкость канала передачи информации на выходе мультиплексора на 20%-30%, по сравнению с мультиплексорами, работающими согласно существующим

алгоритмам статистического объединения информационных потоков и до 50% по сравнению с мультиплексорами, работающими согласно существующим алгоритмам объединения с постоянной скоростью информационных потоков.

4. Алгоритм сглаживающего статистического мультиплексирования предпочтительнее при организации многопрограммных информационных потоков в системах цифрового телевидения.

Практическая ценность диссертационной работы:

1. Разработан мультиплексор на основе сглаживающего алгоритма статистического мультиплексирования цифровых телевизионных каналов, позволяющий снизить емкость канала передачи информации на выходе мультиплексора на 20%-30%, по сравнению с существующими мультиплексорами статистического объединения информационных потоков и до 50% по сравнению с существующими мультиплексорами объединяющими информационные потоки с постоянной скоростью.
2. Применение разработанного мультиплексора позволяет ввести в системы цифрового телевидения дополнительные телевизионные программы без увеличения емкости вещательного канала передачи информации.
3. Разработанный алгоритм позволит производить оценку полосы пропускания канала передачи информации необходимую для передачи нескольких телевизионных каналов.
4. Разработанный алгоритм позволит выбрать структуру последовательности кадров кодируемых телевизионных каналов.

Внедрение результатов работы

Результаты диссертационной работы используются в ООО «КОМИН» г. Санкт-Петербург в процессе расчета пропускной способности необходимой для организации спутникового телевизионного вещания.

Результаты теоретических и прикладных исследований, полученные в работе, использованы при выполнении научно-исследовательской работы «Исследование методов и алгоритмов обработки информации в интегрированном комплексе разнородных РЛС и телевизионной аппаратуры видимого и инфракрасного диапазонов», проводимой в СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Достоверность полученных результатов обеспечена:

Их базированием на известных концепциях математического аппарата теории вероятностей, цифровой обработки изображения, теории передачи информации, теории алгоритмов и теории принятия решений и подтверждена:

1. Результатами экспериментов по оценке эффективности разработанного сглаживающего алгоритма статистического мультиплексирования без изменения детализации изображения.
2. Апробацией и публикацией полученных результатов.

Апробация работы.

Результаты работы, полученные на различных стадиях ее выполнения были доложены автором на следующих конференциях:

1. 61 научно-техническая конференция НТО РЭС им. А.С. Попова, СПб, 2006 г.
2. 5-я международная конференция «Телевидение. Передача и обработка изображений», СПб, 2007 г.
3. Конференция профессорско-преподавательского состава СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПб, 2006 г. и получили положительную оценку.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 научных работ, из них – 3 статьи (2 статьи опубликованы в изданиях, определенных ВАК) и 2 работы в материалах международных и российских научно-технических конференций.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 84 наименования, и трех приложений. Основная часть работы изложена на 131 страницах машинописного текста. Работа содержит 50 рисунков и 11 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, дается характеристика работы, приводится краткое содержание работы по главам.

Первая глава (разделы 1.1-1.6) посвящена аналитическому обзору существующих систем цифрового телевидения, реализованных на основе стандартов ATSC, DVB, ISDB, а также на основе IP-сетей.

В *разделе 1.1* рассматриваются предпосылки перехода от аналогового к цифровому телевидению, этапы разработки стандартов ATSC, DVB, ISDB и цели, которые должны были быть достигнуты при построении систем цифрового телевидения на основе этих стандартов.

В *разделе 1.2* рассмотрены вопросы интеграции таких служб как цифровое телевидение, IP-телефония и передача данных IP-сетей в системе цифрового телевидения. Выделено положение о том, что интеграция служб становится возможной за счет использования пакетного способа передачи информации. Относительно интеграции указанных служб в системе цифрового телевидения, одним из основных элементов выделен мультиплексор, как устройство, объединяющее информационные потоки, соответствующие рассматриваемым службам. Объединение информационных потоков должно производиться с учетом требований предъявляемых для передачи каждого вида информации, т.е. должны быть обеспечены фиксированное время передачи пакетов соответствующих службам цифрового телевидения и IP-телефонии, а также отсутствие потерь пакетов в ходе процесса мультиплексирования и их передачи по каналам связи, входящим в состав системы цифрового телевидения.

В *разделе 1.3* представлен сравнительный анализ систем цифрового телевидения на основе стандартов ATSC, DVB и ISDB. В силу исторических особенностей развития рассматриваемых стандартов, сравнительный анализ проводится на примере использования эфирных каналов передачи информации.

В данном разделе показано, что модуляция COFDM, используемая в DVB-T и ISDB-T, превосходит модуляцию VSB-8, применяемую в ATSC, а также, технология ISDB-T обеспечивает наилучшие показатели при приеме сигнала в сложных городских условиях распространения сигнала. Однако стандарт ISDB не имеет широкого распространения в мире, в силу того, что был стандартизирован значительно позже ATSC и DVB.

В *разделе 1.4* рассмотрены особенности цифрового телевизионного вещания в IP-сетях. Использование IP-сети как среды передачи для построения системы цифрового телевидения позволяет реализовать такие службы как коммутируемое широковещание и видео по требованию. При организации коммутируемого широковещания из всего списка вещаемых ТВ программ группе пользователей доставляется только часть ТВ программ, выбранная самими пользователями. Возможность выбора пользователями необходимого набора принимаемых ТВ программ обеспечивается применением обратной связи пользователей с вещательным центром, реализованной за счет использования IP-сети в качестве вещательной среды. Видео по требованию является интерактивной службой, когда запрашиваемые пользователем ТВ программы передаются только данному пользователю.

Введение в систему цифрового телевидения такой службы как видео по требованию, более чем на два порядка увеличит нагрузку на каналы передачи информации.

В *разделе 1.5* рассмотрены вопросы структуры информационных потоков передаваемых в системах цифрового телевидения. Информационные потоки имеют иерархическую пакетную структуру, в которой выделяют три уровня: уровень элементарного потока, уровень элементарного пакетированного потока и уровень транспортного потока. В заголовках пакетов каждого уровня иерархической модели содержится информация необходимая и достаточная для реализации процессов объединения и декодирования информационных потоков.

В *разделе 1.6* представлено обоснование целей и задач диссертации. Новые службы значительно повышают интерес пользователей к системам цифрового телевидения, за счет чего происходит увеличение количества их пользователей. Возрастающее количество абонентов предъявляет большие требования к емкости каналов передачи информации в системах цифрового телевидения. В свою очередь, существенное увеличение емкости каналов передачи информации не всегда является экономически оправданным, поэтому повышение эффективности обработки информационных потоков становится важной задачей при построении систем цифрового телевидения.

Вторая глава (разделы 2.1-2.3) посвящена анализу структуры информационных потоков и вопросам их формирования.

В *разделе 2.1* рассмотрены вопросы формирования информационных потоков. Как показано на рисунке 1, для формирования транспортного потока соответствующего одной телевизионной программе, кодер генерирует элементарный поток видео информации и элементарные потоки аудио информации. Кодер служебной информации обеспечивает синхронность элементарных потоков при формировании транспортных потоков аудио и видео информации, а также формирует транспортный поток служебной информации, содержащий набор обязательных служебных таблиц и информацию о синхронизации приемного и передающего оборудования. Далее транспортные потоки поступают в мультиплексор, который выполняет функции объединения транспортных потоков в один информационный поток.

Для обеспечения синхронной работы кодирующего и декодирующего оборудования применяются три типа штампов времени. Штамп о времени декодирования IVP-кадров (Decoding Time Stamp - DTS), штамп о времени представления IVP-кадров (Presentation Time Stamp - PTS), т.е. штамп о времени представления информации содержащейся в IVP-кадрах пользователю (на экран телевизора), штамп времени, отвечающий за общую синхронизацию декодера - ссылка на программные часы (Program Clock Reference – PCR). Штампы DTS и PTS обеспечивают синхронность декодирования и представления декодированного телевизионного изображения на экран. Значение штампов изменяется при переходе от одного IVP-кадра к другому. При получении каждого IVP-кадра, декодер сравнивает значение времени декодирования пришедшего кадра и внутренних часов декодера, синхронизированных с внутренними часами кодера посредством штампов PCR. Следует отметить, что в силу особенностей алгоритмов MPEG-2/MPEG-4, декодирование В-кадров возможно лишь после декодирования соответствующих I- и Р-кадров.

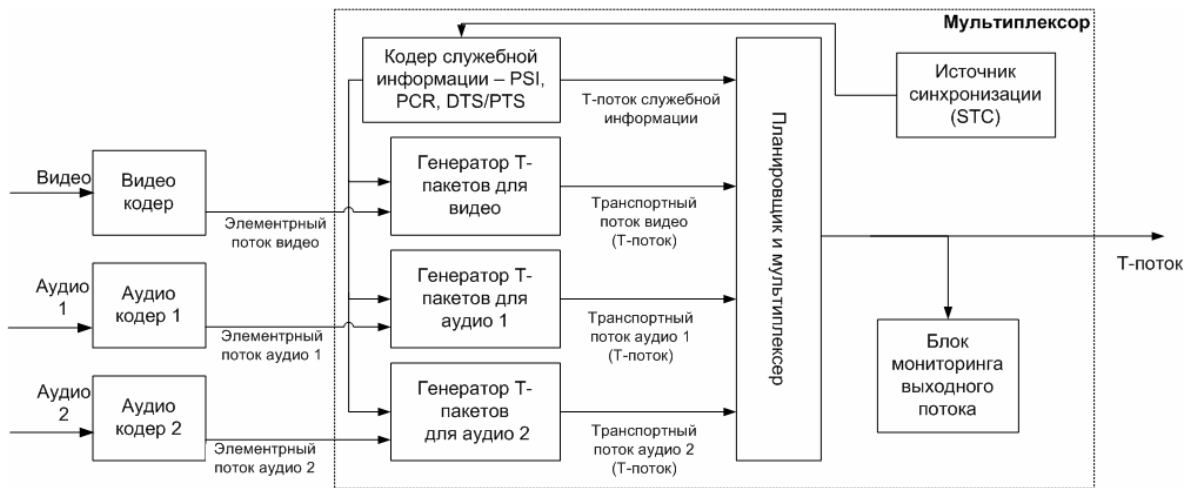


Рис. 1 Блок-схема процесса формирования однопрограммного Т-потока.

В разделе 2.2 рассмотрены вопросы, связанные с требованиями, предъявляемыми к разрабатываемым алгоритмам кодирования, мультиплексирования и декодирования информационных потоков. А именно, информационные потоки сформированные, согласно новым разработанным алгоритмам, должны удовлетворять основным принципам идеализированной модели стандартного декодера телевизионного сигнала.

В разделе 2.3 проведен анализ структуры информационного потока. В непрерывном потоке транспортных пакетов (Т-пакетов), могут быть выделены отдельные группы Т-пакетов, принадлежащие различным передаваемым ИВР-кадрам транспортного потока, содержащего видео информацию, с определенным значением PID. Это реализуется за счет того, что штамп DTS для ИВР-кадра, установленный кодером в заголовке соответствующего PES-пакета, считается временем декодирования соответствующего ему Т-пакета и всех последующих Т-пакетов до тех пор, пока не будет получен следующий штамп DTS либо обнаружено начало следующего PES-пакета. Начало следующего Т-пакета определяется наличием флага “начало PES-пакета” в заголовке Т-пакета (рисунок 2). Таким образом, каждой такой группе транспортных пакетов соответствует определенный штамп DTS. Это положение позволяет структурно описать информационный поток и обеспечить доступ к составляющим его отдельным ИВР-кадрам.

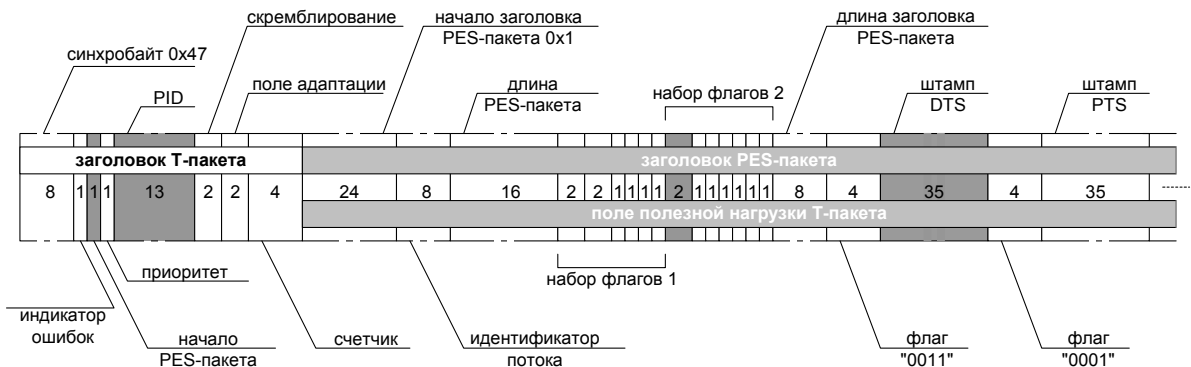


Рис. 2 Структура заголовков Т-пакета и PES-пакета, содержащих ИВР-кадр.

На рисунке 2 приведена структура заголовков Т-пакета и PES-пакета содержащих ИВР-кадр, где PES-пакет помещен в поле полезной нагрузки транспортного пакета. Структура заголовков представлена с детализированными полями заголовков каждого вида пакетов и указанием их размера в битах.

В **третьей главе** (разделы 3.1–3.5) произведен анализ существующих алгоритмов мультиплексирования информационных потоков в системах цифрового телевидения. Процесс кодирования телевизионного изображения может производиться с постоянной скоростью информационного потока на выходе кодера и с постоянным качеством изображения. Наиболее прогрессивным является кодирование с постоянным качеством изображения. При использовании подобного типа кодирования, в процессе мультиплексирования, возможно учитывать мгновенные скорости объединяемых информационных потоков, динамически перераспределяя ресурс канала передачи информации на выходе мультиплексора между всеми информационными потоками – данный процесс называется статистическим мультиплексированием.

В *разделе 3.1* произведен анализ и моделирование в среде MATLAB алгоритма мультиплексирования информационных потоков с постоянной скоростью. Согласно данному алгоритму, при объединении информационных потоков учитывается только их максимально допустимая скорость, значение которой передается в заголовке соответствующих PES-пакетов и остается фиксированным на протяжении процесса мультиплексирования.

В *разделе 3.2* произведен анализ алгоритма мультиплексирования сглаженных информационных потоков. Объединения информационных потоков осуществляется исходя из максимальной скорости каждого информационного потока, после применения сглаживания. Алгоритм сглаживания позволяет сгладить флуктуации скорости транспортного потока при переходе от кадра к кадру, основываясь на том, что I-кадр значительно больше P-кадра, а P-кадр значительно больше B-кадра. Алгоритм обеспечивает сглаживание без изменения детализации изображения, т.к. сглаживание достигается за счет буферизации T-пакетов на выходе кодера.

В *разделе 3.3* произведен анализ алгоритма статистического мультиплексирования со снижением детализации изображения. Данный алгоритм основан на статистическом объединении информационных потоков, входные информационные потоки в процессе мультиплексирования компенсируют пиковые всплески друг друга. В случае если битовый ресурс необходимый для передачи всех транспортных потоков превышает битовый ресурс канала передачи информации, соответствующим кодерам мультиплексор отправляет сигнал о том, что необходимо уменьшить битовый ресурс, выделяемый каждым кодером для кодирования текущего телевизионного изображения.

В *разделе 3.4* произведен анализ и моделирование в среде MATLAB алгоритма статистического мультиплексирования без изменения детализации изображения. В процессе объединения информационных потоков канал передачи информации на выходе мультиплексора разбивается на несколько виртуальных каналов. По каждому виртуальному каналу передается информационный поток от соответствующего кодера, битовый ресурс доступный в виртуальном канале динамически изменяется в зависимости от скорости соответствующего информационного потока, генерируемого кодером. Суммарный битовый ресурс всех виртуальных каналов равен итоговому битовому ресурсу канала передачи информации на выходе мультиплексора. Процессом распределения битовых ресурсов виртуальных каналов управляет алгоритм мультиплексирования.

В *разделе 3.5* разработан и произведено моделирование в среде MATLAB сглаживающего алгоритма статистического мультиплексирования без изменения детализации изображения. Данный алгоритм позволяет динамически перераспределять ресурс канала связи на выходе мультиплексора

на основе значений мгновенной скорости всех обрабатываемых информационных потоков и на основе структуры последовательности ИВР-кадров, передаваемых в них.

Пусть на входы мультиплексора поступают n информационных потоков, каждый информационный поток имеет порядковый номер – e . Время каждого цикла мультиплексирования составляет $1/25$ с., соответственно текущее время на внутренних часах мультиплексора:

$$t_q := \frac{q}{25} \quad (1)$$

где q – номер цикла мультиплексирования

Цикл мультиплексирования состоит из трех стадий – инициализации, стадии проверки штампов DTS и стадии планировки.

В начале каждого цикла мультиплексирования, на стадии инициализации, производится оценка количества Т-пакетов поступивших на вход мультиплексора от каждого из входных информационных потоков – величина $K_{q,e}$, на основе значения штампов DTS определяется время декодирования Т-пакетов поступающих из канала e , в цикле мультиплексирования q , величина $T_{q,e}$.

На стадии проверки штампов DTS производится сравнение значений $T_{q,e}$ со значениями t_q , соответствующими каждому входному информационному потоку. В случае если значение $T_{q,e}$ меньше или равно t_q , то Т-пакет будет передан в данном цикле мультиплексирования, если $T_{q,e}$ больше t_q , то пакет будет задержан в буфере мультиплексора до следующего цикла мультиплексирования.

Т-пакеты каждого входного информационного потока, прошедшие стадию проверки штампов DTS, подготавливаются к отправке в канал связи на стадии планировки, их количество определено переменной $S_{q,e}$. На данном этапе осуществляется проверка - возможно ли пропустить поступившее количество Т-пакетов через канал связи с пропускной способностью Bw на выходе мультиплексора. Для этого производится пересчет размерности полосы пропускания (переменная Bw) из количества бит за секунду в количество Т-пакетов за цикл мультиплексирования (переменная SBw). В процессе разработки алгоритма, было принято допущение, что скорость канала передачи информации на выходе мультиплексора ограничивается суммой средних скоростей входных информационных потоков, средние скорости информационных потоков определены в переменной V_e .

$$SBw := \frac{n \cdot V_e \cdot 0.04}{8 \cdot TS} \quad (2)$$

где, $TS=188$ – размер Т-пакета в байтах длительность цикла мультиплексирования – 0.04 с

В соответствии с проверкой проводимой на стадии планировки, количество Т-пакетов участвующих в процессе мультиплексирования $S_{q,e}$ сравнивается со значением SBw . На данном этапе происходит ветвление алгоритма.

Пропускной способности канала передачи информации на выходе мультиплексора не достаточно:

$$\sum_e S_{q,e} > SBw \quad (3)$$

Осуществляется выделение среднего битового ресурса V для каждого входного информационного потока в формируемом многопрограммном

информационном потоке, в соответствии с (4), т.е. осуществляется формирование виртуальных каналов для передачи Т-пакетов для каждого входного информационного потока:

$$V := \frac{SBw}{n} \quad (4)$$

На данном этапе фазы планировки производится сравнение $S_{q,e}$ со значением V :

$$V < S_{q,e} \quad (5)$$

При выполнении (5), т.е. если количество Т-пакетов, поступивших в данном цикле мультиплексирования от соответствующего информационного потока, меньше среднего битового ресурса – то в соответствующий виртуальный канал передается количество Т-пакетов равное $S_{q,e}$. Оставшийся битовый ресурс в данном виртуальном канале, определяемый величиной $W_{q,e}$ распределяется между остальными информационными потоками:

$$W_{q,e} := V - S_{q,e} \quad (6)$$

При невыполнении (5), т.е. когда количество Т-пакетов, поступивших в данном цикле мультиплексирования от соответствующего информационного потока, превышает значение V – в соответствующий виртуальный канал передается количество Т-пакетов равное значению V . Затем осуществляется проверка наличия оставшегося битового ресурса $W_{q,e}$ по всем виртуальным каналам, при его наличии и в соответствии с ним отправляются оставшиеся пакеты.

После стадии планировки проверяется наличие неотправленных Т-пакетов $D_{q,e}$:

$$D_{q,e} := S_{q,e} - C_{q,e} \quad (7)$$

Неотправленные Т-пакеты не участвуют в последующих циклах мультиплексирования, поскольку их штампы времени считаются просроченными.

В случае если пропускной способности канала передачи информации на выходе мультиплексора достаточно:

$$\sum_e S_{q,e} < SBw \quad (8)$$

Осуществляется передача всех Т-пакетов $S_{q,e}$ поступивших в данном цикле мультиплексирования. При этом оставшийся битовый ресурс, определяемый переменной W , может быть использован для передачи дополнительного информационного потока с данными IP-сетей или для передачи PES-пакетов, помещенных в буфер мультиплексора на стадии проверки штампов времени DTS:

$$W := SBw - \sum_e S_{q,e} \quad (9)$$

Далее алгоритм переходит к следующему циклу мультиплексирования. На рисунке 3 представлена блок схема разработанного алгоритма объединения информационных потоков.

В **четвертой главе** (разделы 4.1-4.5) произведено исследование разработанного алгоритма и его сравнение с существующими алгоритмами объединения информационных потоков.

В *разделе 4.1* проведен статистический анализ эффективности работы алгоритма статистического мультиплексирования без изменения детализации изображения и сглаживающего алгоритма статистического мультиплексирования без изменения детализации изображения. В результате анализа было установлено, что максимальные скорости многопрограммных информационных потоков,

сформированных в соответствии с рассматриваемыми алгоритмами, статистически различаются.

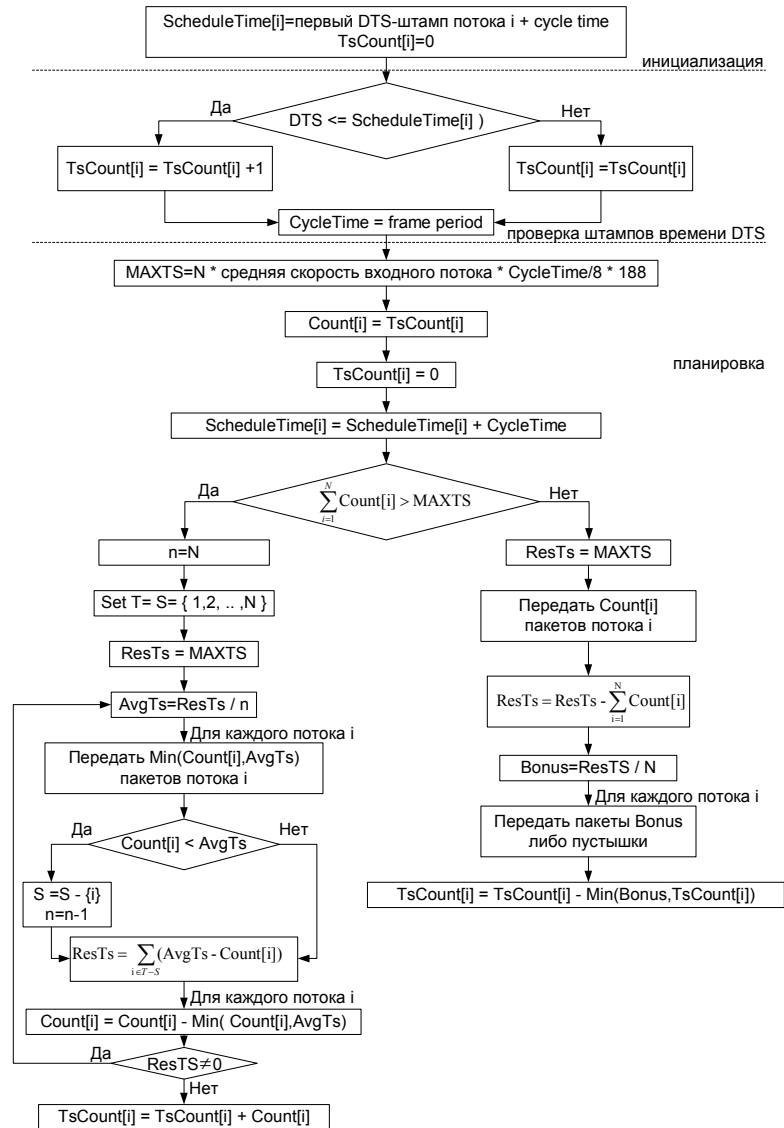


Рис. 3 Сглаживающий алгоритм статистического мультиплексирования информационных потоков без изменения детализации изображения.

В разделе 4.2 произведено сравнение алгоритма мультиплексирования с постоянной скоростью, статистического алгоритма мультиплексирования без снижения детализации изображения и сглаживающего алгоритма статистического мультиплексирования информационных потоков без снижения детализации изображения по скорости многопрограммного информационного потока на выходе мультиплексора.

На входы программных моделей соответствующих мультиплексоров были поданы одинаковые наборы информационных потоков. Мультиплексор, работающий согласно алгоритму мультиплексирования с постоянной скоростью, для осуществления мультиплексирования, принимает скорость информационного потока равной максимальной мгновенной скорости информационного потока, содержащейся в заголовке T-пакетов, соответствующего T-потока. При обработке информационных потоков согласно статистическим алгоритмам объединения

учитывается средняя и мгновенная скорость информационных потоков. Параметры поступающих информационных потоков приведены в таблице 1.

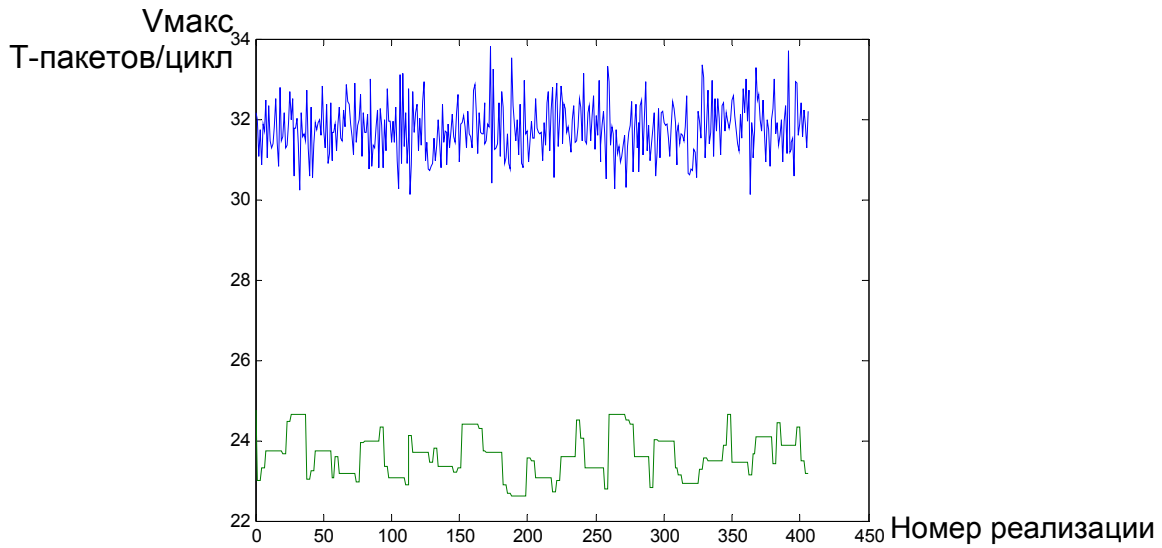


Рис. 4 Зависимость максимальной скорости многопрограммных информационных потоков организованных по алгоритму статистического мультиплексирования (сверху) и сглаживающему алгоритму статистического мультиплексирования в зависимости от различных GOP-структур объединяемых информационных потоков.

Параметры информационных потоков						Таблица 1
Поток	1	2	3	4	5	6
$V_{ср}$, Мбит/с	1.02	1.03	1.22	1.23	2.88	3.57
$V_{i,макс}$, Мбит/с	4.02	3.91	3.91	57	8.20	7.97
GOP-структура	(5, 25)	(5, 25)	(3, 12)	(3, 12)	(3, 9)	(3, 6)

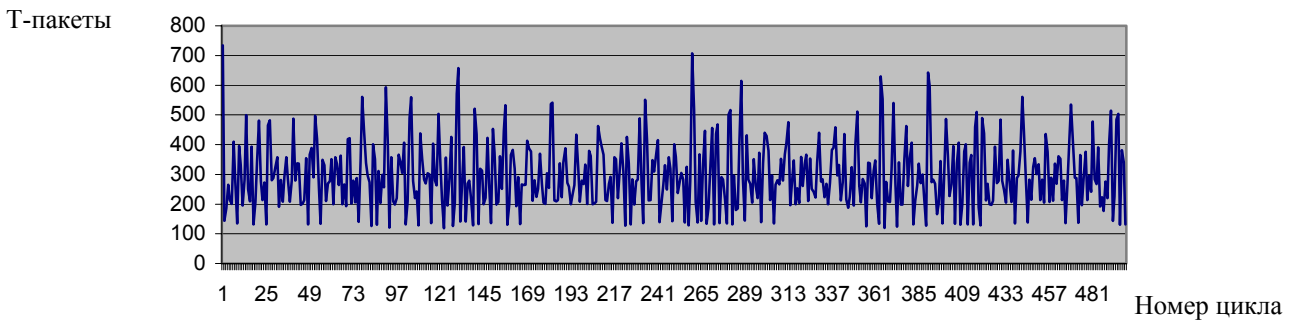


Рис.5а Многопрограммный информационный поток (статистическое мультиплексирование).

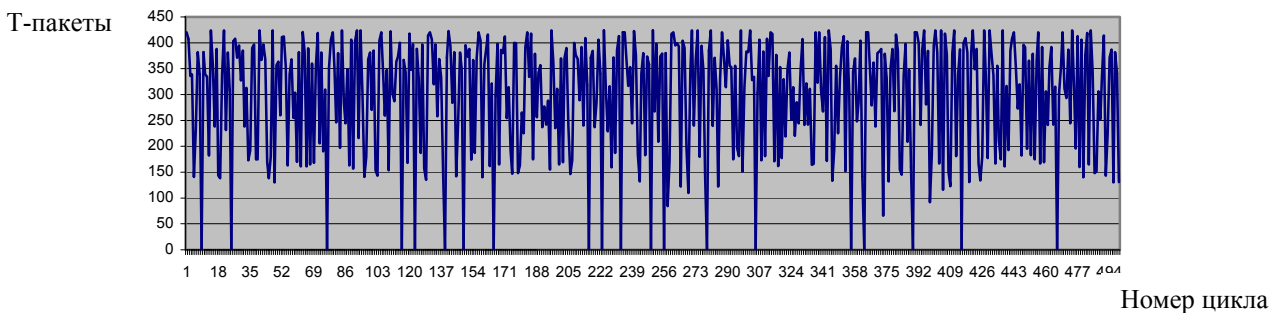


Рис.5б Многопрограммный информационный поток (сглаживающее статистическое мультиплексирование)

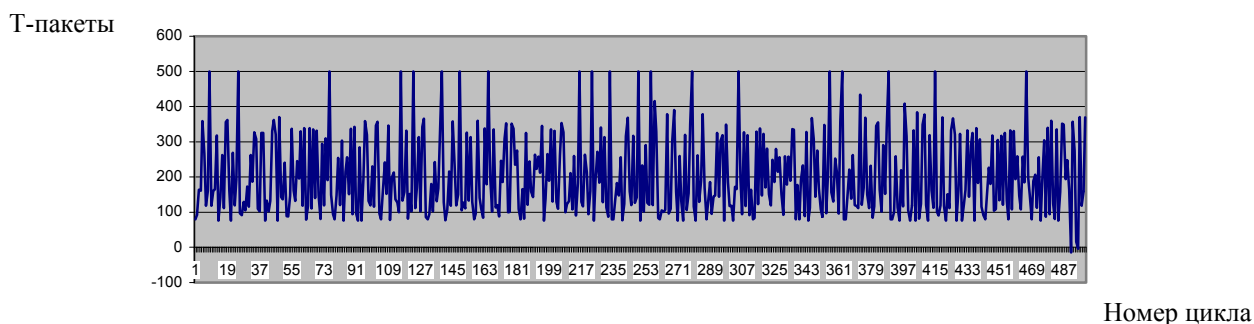


Рис.5в Выравнивающий информационный поток с данными IP-сетей.

В процессе объединения информационных потоков по алгоритму мультиплексирования с постоянной скоростью, скорость многопрограммного информационного потока на выходе мультиплексора составила $V_{\text{макс}}=V_{1\text{макс}}+V_{2\text{макс}}+\dots+V_{6\text{макс}}=32.18$ Мбит/с (Таб. 1). Согласно Рис.5а, скорость многопрограммного информационного потока на выходе статистического мультиплексора без изменения детализации изображения составила 26.02 Мбит/с. Скорость многопрограммного информационного потока на выходе сглаживающего статистического мультиплексора без изменения детализации изображения составила 15.98 Мбит/с. (рис. 5б) Таким образом, за счет использования разработанного сглаживающего алгоритма статистического мультиплексирования без изменения детализации изображения удалось снизить пропускную способность канала передачи информации на выходе мультиплексора, необходимую для передачи многопрограммного информационного потока, на 50 % по сравнению с алгоритмом мультиплексирования с постоянной скоростью и на 38 % по сравнению со статистическим алгоритмом мультиплексирования без изменения детализации изображения.

Для выравнивания скорости многопрограммного информационного потока, организованного на основе разработанного алгоритма на вход соответствующего мультиплексора необходимо подать информационный поток, содержащий данные компьютерных сетей (на основе протокола TCP/IP) рисунок 5.в. Этот информационный поток позволяет выровнять скорость многопрограммного информационного потока до фиксированной, и передать его по каналам системы цифрового телевидения, а также обеспечит “прямой” канал передачи данных IP-сетей пользователям. При объединении многопрограммного информационного потока (рис.5.б) и выравнивающего потока с данными (рис. 5.в) скорость многопрограммного информационного потока примет фиксированное значение 18.8 Мбит/с.

В разделе 4.3 произведено сравнение вероятности потери T-пакетов, при превышении скоростей входных информационных потоков относительно исходных, для алгоритма мультиплексирования с постоянной скоростью и разработанного алгоритма мультиплексирования информационных потоков.

Для оценки количества T-пакетов, потеря которых приведет к снижению качества декодируемого телевизионного изображения, были проведены натурные испытания. Оценка качества изображения проводилась на основе субъективного анализа, получаемого при декодировании, изображения и выводе его на экран телевизора, оценка могла принимать значение – хорошо, средне, плохо и очень плохо. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Результаты испытаний

Таблица 2

№ испытания	Скорость кодирования (Мбит/с)	Скорость на выходе кодера (Мбит/с)	ИВР-структура		
			I - кадры	IP - кадры	IBVBP - кадры
1	1,515	2,55	оч. плохо	плохо	средне
2	1,760	2,80	оч. плохо	средне	средне
3	1,995	3,00	оч. плохо	средне	средне
4	2,445	3,50	плохо	средне	средне
5	2,934	4,00	плохо	средне	средне
6	3,423	4,50	средне	хорошо	хорошо
7	3,913	5,00	хорошо	хорошо	хорошо

Из таблицы 2 видно, что в испытаниях 6 и 7 оценка, для I-кадров, меняется от “средне” к “хорошо”, скорости кодирования в соответствующих испытаниях различаются на 15%. Таким образом можно предположить, что потеря 15% T-пакетов приведет к снижению оценки качества с “хорошо” до “средне”. Для имитации подобной ситуации, пропускная способность канала передачи информации на выходе мультиплексора была снижена на 15%, при условии, что на входы обоих мультиплексоров поступают 4-е одинаковых информационных потока. Значения потерь T-пакетов в процессе мультиплексирования, для каждого информационного потока, приведены в таблице 3 и проиллюстрированы на рис. 6.

Значения потерь T-пакетов

Таблица 3

№ T-потока	1	2	3	4
Сглаживающий алгоритм статистического мультиплексирования без изменения детализации изображения, %	0,00	0,00	0,07	1,55
Алгоритм мультиплексирования с постоянной скоростью, %	0,02	1,91	8,22	14,99

Отброшенные T-пакеты

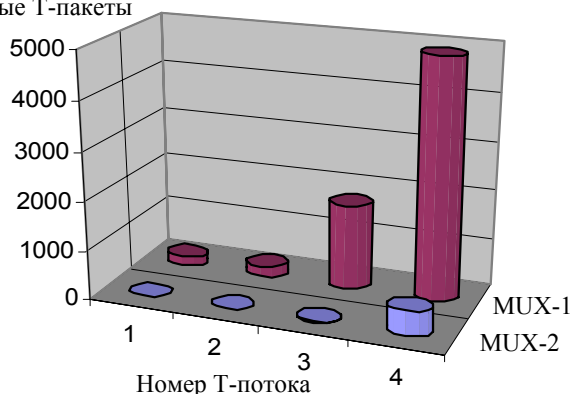


Рис.6 Количество отброшенных T-пакетов в процессе мультиплексирования.

MUX-1 –при мультиплексировании согласно алгоритму статистического мультиплексирования; MUX-2 –при мультиплексировании согласно разработанному алгоритму мультиплексирования

В разделе 4.4 произведена оценка влияния GOP-структуры информационного потока на эффективность сглаживающего алгоритма статистического мультиплексирования без снижения детализации изображения.

В данном разделе обосновано утверждение что, необходимо выбирать GOP-структуры, составляющие информационный поток, таким образом, чтобы снизить

вероятность одновременного появления I-кадров в нескольких потоках, т.е. использовать в мультиплексируемых информационных потоках различные GOP-структуры.

На рисунках 7а и 7б представлены многопрограммные информационные потоки, сформированные из информационных потоков с одинаковой и различной GOP-структурой, соответственно, их параметры приведены в таблицах 4а и 4б.

Параметры информационных потоков с одинаковой GOP-структурой Таблица 4а

Поток	1	2	3	4
$V_{ср}$, Мбит/с	2	2	3	4
GOP-структура	(3, 12)	(3, 12)	(3, 12)	(3, 12)

Параметры информационных потоков с одинаковой GOP-структурой Таблица 4б

Поток	1	2	3	4
$V_{ср}$, Мбит/с	2	2	3	4
GOP-структура	(5, 25)	(5, 20)	(4, 16)	(3, 9)

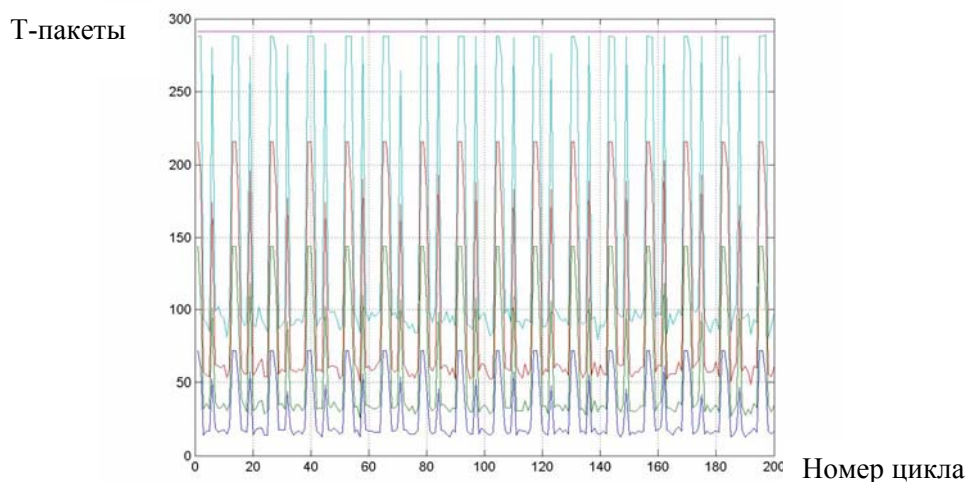


Рис. 7а Многопрограммный информационный поток с одинаковой GOP-структурой всех 4-х входных информационных потоков.

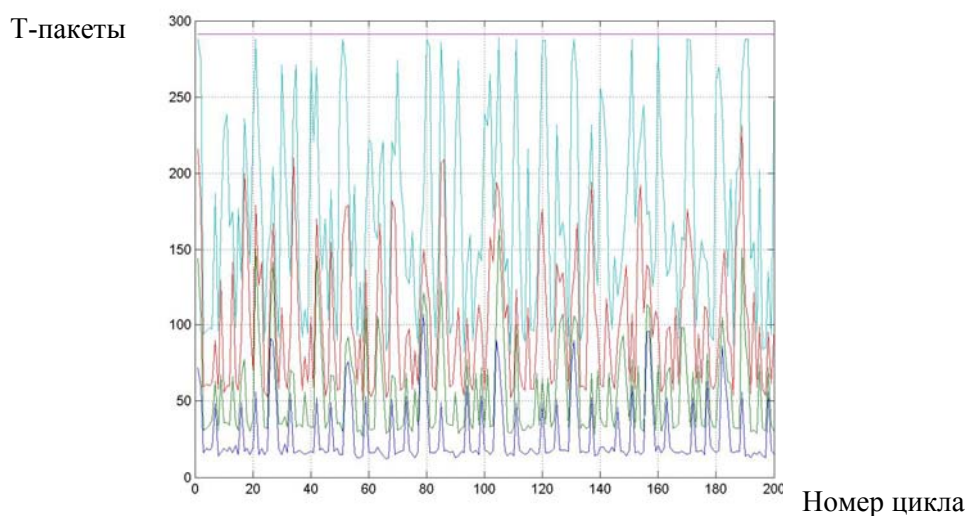


Рис. 7б Многопрограммный информационный поток с различной GOP-структурой 4-х входных информационных потоков.

Из рисунка 7а видно, что максимальные скорости всех четырех информационных потоков приходятся на одни и те же моменты времени, в то

время как у информационных потоков с различной GOP-структурой (рисунок 7б) пики максимальных скоростей разнесены относительно друг друга.

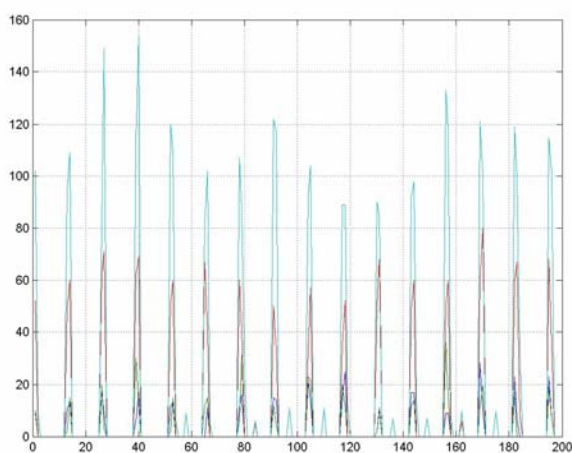
Поскольку пропускная способность канала передачи информации на выходе мультиплексора оставалась фиксированной независимо от GOP-структур информационных потоков, то в процессе объединения информационных потоков с одинаковой GOP-структурой возникло значительно больше потерь Т-пакетов, чем в случае использования при мультиплексировании информационных потоков с различными GOP-структурами. В таблице 5 приведены значения потерь Т-пакетов при мультиплексировании информационных потоков. На рис.8а и 8б представлены графики количества Т-пакетов потерянных при объединении информационных потоков.

Значения потерь Т-пакетов

Таблица 5

№ потока	1	2	3	4
Одинаковая GOP-структура входных информационных потоков, %	6.74	7.00	21.19	34.50
Различная GOP-структура входных информационных потоков, %	0.41	0.36	1.94	03.69

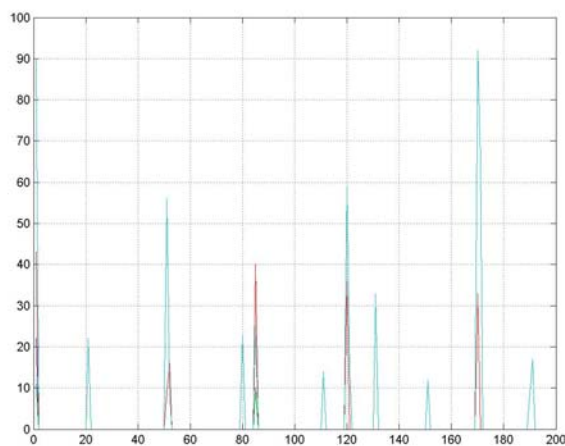
Т-пакеты



Номер цикла

Рис.8а Количество Т-пакетов пропавших при мультиплексировании информационных потоков с одинаковой GOP-структурой.

Т-пакеты



Номер цикла

Рис.8б Количество Т-пакетов пропавших при мультиплексировании информационных потоков с различной GOP-структурой.

В разделе 4.5 сформулированы выводы по главе 4.

В приложении 1 представлен листинг программы в среде Matlab для задачи моделирования сглаживающего алгоритма статистического мультиплексирования без изменения детализации изображения.

В *приложении 2* представлен листинг расчетов в среде Mathcad для задачи оценки эффективности сглаживающего алгоритма статистического мультиплексирования без изменения детализации изображения.

В *приложении 3* представлен детальный анализ однопрограммного транспортного потока, соответствующего телевизионному каналу - РГВК Дагестан, передаваемому через спутник Экспресс АМ1, в стандарте DVB-S.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Предложенная модель сглаживающего алгоритма статистического мультиплексирования позволяет рассчитать: емкость канала передачи информации, необходимую для передачи многопрограммного информационного потока в системах цифрового телевидения; выбрать структуру последовательности кадров в цифровых телевизионных каналах.
2. Применение разработанного мультиплексора позволит ввести в систему цифрового телевидения дополнительные телевизионные каналы при той же емкости канала передачи информации на выходе мультиплексора.
3. Использование мультиплексора, работающего согласно разработанному алгоритму, в системах цифрового телевидения позволяет снизить емкость канала передачи информации на выходе мультиплексора на 20%-30%, по сравнению с существующими алгоритмами статистического мультиплексирования и до 50% по сравнению с существующими статическими алгоритмами мультиплексирования телевизионных сигналов.
4. При использовании статистических алгоритмов мультиплексирование каналов с различной структурой последовательности кадров оказывается более эффективным с точки зрения минимизации емкости канала передачи информации.
5. Использование алгоритма сглаживающего статистического мультиплексирования предпочтительнее при организации многопрограммных телевизионных потоков в системах цифрового телевидения, за счет динамического распределения ресурсов канала передачи информации с учетом внутренней структуры информационных потоков.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 5 работах, среди которых 2 публикации в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК:

1. С.В. Жуков. Передача информации по спутниковым каналам связи на основе DVB// Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ"(Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета). Радиотехника и телекоммуникации. 2006. Вып.2. С.42-47.
2. С.В. Жуков. Формирование транспортного потока MPEG-2 // Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ" (Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета). Радиотехника и телекоммуникации. 2006. Вып. 2. С.47-51.

а также в других изданиях:

3. С.В. Жуков. Организация многопрограммных потоков MPEG-2 // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2007. Вып. 2. С.61-68.
4. С.В. Жуков. Особенности организации многопрограммного видеопотока с использованием кодеров переменной скорости кодирования // Материалы 61 научно-технической конференции им. А.С. Попова, СПб, 2006 г. С.117-119.
5. С.В. Жуков. Моделирование статистического мультиплексора транспортных потоков MPEG-2 // Материалы 5-ой международной конференции «Телевидение: Передача и обработка изображений», СПб, 2007 г. С.70-72.