

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»**

УДК 621.321.1.519

Копачев Алексей Геннадьевич

**МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА
ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ МУЛЬТИМЕДИА С
ЗАДАННЫМ УРОВНЕМ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ**

**Специальность 05.13.11 – математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей**

Автореферат

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

Минск 2003

Работа выполнена в Учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

- Научный руководитель - доктор технических наук,
Листопад Николай Измаилович
(Учреждение «Главный информационно-аналитический центр Минобразования»)
- Официальные
оппоненты: - доктор технических наук, профессор,
Вишняков Владимир Анатольевич
(Минский институт управления, кафедра менеджмента)
- кандидат физико-математических наук, доцент,
Воротницкий Юрий Иосифович
(Белгосуниверситет, центр информационных технологий)
- Оппонирующая
организация НИРУП «Национальный центр информационных ресурсов и технологий» Национальной академии наук Республики Беларусь

Защита диссертации состоится 11 сентября 2003 г. в 16.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д02.15.04 в Учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Республика Беларусь, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, корпус 1, ауд. 232 тел. 2398939

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан «29» июля 2003 года.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Переход от экстенсивного пути к внедрению качественно новых сетевых технологий и услуг становится основным направлением развития современных компьютерных сетей.

Глобальный процесс информатизации общества стимулирует стремительный рост числа пользователей компьютерных сетей, обладающих персональными компьютерами (ПК) с огромными техническими возможностями, включающих поддержку телекоммуникаций и обработку аудиовизуальной информации. Внедрение элементов технологии мультимедиа в ПК дало начало ее развитию в глобальных компьютерных сетях.

Существенный вклад в изучение и развитие систем мультимедиа, связанный с разработками моделей и алгоритмов определения перегрузок в компьютерных сетях, внесли *американские ученые* В.Якобсон и С.Флойд; *английскими учеными* Г.Коулсеном и А.Кэмпбеллом разработана базовая эталонной модель реализации услуг мультимедиа в соответствии с моделью взаимодействия открытых систем ISO; *российскими учеными* А.Б.Васильевым, М.В.Вязниковой и др. исследованы проблемы реализации и стандартизации услуг мультимедиа в широкополосных компьютерных сетях; Менджович А.С. и др. исследовали проблемы построения распределенных видеоконференций в условиях низкоскоростных каналов передачи данных, ими одними из первых на территории СНГ была реализована крупномасштабная распределенная видеоконференция с 17 интерактивными участниками; *украинские ученые:* академики М.З.Згуровский, М.Е.Ильченко исследовали общие вопросы создания и развития телекоммуникационных систем; В.И. Гриценко, Е.А. Котикова и др. разработали ряд моделей распределенных информационных систем. В Республике Беларусь вопросы синхронизации медиапоток и методы организации распределенных видеоконференций исследовались Н.И.Листопадом. В Белорусском государственном университете А.Н.Дудин и В.И. Клименок разработали вероятностные модели построения телекоммуникационных узлов для реализации высокоскоростных сетевых магистралей на их основе.

Отдельные вопросы построения систем мультимедиа исследовались другими учеными и специалистами и отражены в ряде публикаций. Вместе с тем, несмотря на усилия многих научных коллективов, единый подход к реализации систем мультимедиа с заданным уровнем качества обслуживания в настоящее время отсутствует.

Тема диссертации актуальна, в первую очередь, как практическая задача реализации новых телекоммуникационных услуг. Разработка темы диссертации шла параллельно с работами по практическому развитию

компьютерной сети UNIBEL Министерства образования Республики Беларусь.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнялась в рамках государственной программы по созданию Научно-информационной компьютерной сети (НИКС) Республики Беларусь (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 18.12.1997 года № 1677). Автор был непосредственным исполнителем 4-х тем.

Отраслевые проекты для системы образования Республики Беларусь, которые выполнялись при непосредственном участии автора:

- Разработка сетевой инфраструктуры связи региональных учреждений Минобразования с обеспечением доступа к глобальным компьютерным сетям. (1996-98 годы)
- Создание интегрированной информационно-коммуникационной среды по проблемам образования стран СНГ. Разработка системы информационного наполнения ведомственной компьютерной сети Минобразования. (1998 год)
- Создать республиканский информационный узел по вопросам образования, международным образовательным ресурсам и международному сотрудничеству в области образования на базе ВАЦ. (1998- 2000 годы)
- Разработка и апробация поисковой системы по информационным ресурсам Республики Беларусь с целью их представления в глобальной компьютерной сети Internet. (1999 год)
- Методы создания оптимальных конфигураций для распределенных видеоконференций. (2000 год)
- Разработка моделей и алгоритмов оптимального управления потоками данных в распределенных средах (2001 год)
- Создать на базе управляющего центра ВАЦ Минобразования систему управления доступом из НИКС к международным научно-техническим ресурсам ведущим научно-образовательным организациям Минобразования (2001 год)
- Разработка проекта создания коммуникационных узлов пилотных учебных заведений в рамках реализации программы БелНет (2002 год)

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка методов, на их основе алгоритмов и программных средств для обеспечения заданного уровня качества обслуживания в системах мультимедиа.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать методы, алгоритмы и программные средства для обеспечения гарантированной полосы пропускания в компьютерных сетях.
2. Разработать методы и алгоритмы для обеспечения качества обслуживания приложения мультимедиа.
3. Предложить новые методы и на их основе алгоритмы синхронизации медиапоток в распределенных сетевых средах.
4. Разработать организационно-техническую модель и алгоритмы построения крупномасштабных распределенных видеоконференций на базе разнородных компьютерных сетей.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются компьютерные сети. Предметом исследования являются информационные процессы в системах мультимедиа.

Гипотеза автора состоит в том, что медиапоток в компьютерных сетях, принадлежащие конкретному приложению мультимедиа, являются взаимозависимыми и должны обрабатываться как элементы единой целостной системы. Для обеспечения вышеназванной целостности автором вводится понятие синхронизованности всех медиапоток, составляющих данную систему.

Методология и методы проведенного исследования. Совокупность использованных в диссертации средств исследования базируется на формальном аппарате теории линейного программирования, теории оптимизации, теории вероятности, теории массового обслуживания, теории сетей. Главным методом экспериментальной проверки основных положений и результатов работы является апробация их в корпоративной компьютерной сети UNIBEL Министерства образования Республики Беларусь.

Научная новизна и значимость полученных результатов. На основании проведенного в диссертации анализа подходов к построению систем мультимедиа доказано, что главным критерием их построения является обеспечение заданного уровня качества обслуживания на всех уровнях эталонной модели ISO. Новизна предложенных решений состоит в следующем.

1. Разработан метод и на его основе алгоритм обеспечения качества сессии на прикладном уровне эталонной модели ISO, взаимодействующий с сетевым уровнем. Отличие от существующих подходов состоит в том, что качество сессии обеспечивается путем контроля индивидуальных параметров каждого медиапотока и их адаптации друг другу.

2. Предложен алгоритм и разработаны программные средства для обеспечения гарантированной полосы пропускания в компьютерных сетях отличающиеся от известных тем, что учитывается эффект нечувствительных медиапоток.

3. Разработан новый метод синхронизации медиапоток в компьютерных сетях, основанный на использовании временных меток. Метод позволяет при построении территориально распределенных видеоконференций анализировать суммарный медиапоток, сформированный N независимыми источниками.

4. Разработана организационно-техническая модель и алгоритмы реализации видеоконференций, оригинальность которых заключается в использовании разнородных сетей передачи данных с учетом обеспечения заданного уровня качества обслуживания интерактивных участников, подключенных к опорной сети каналами связи с существенно различающимися пропускными способностями.

5. Разработанные методы, алгоритмы и программные средства позволили создать новые оптимальные конфигурации аппаратно-программных комплексов для реализации систем мультимедиа с заданным уровнем качества обслуживания в глобальных и локальных компьютерных сетях.

Практическая значимость полученных результатов.

Результаты диссертационной работы использованы при:

- создании и развитии опорной сети UNIBEL в г.Минске, обеспечивающей возможность реализации услуг мультимедиа с заданным уровнем качества обслуживания;
- реализации проекта Евросоюза - NICE по глобальному взаимодействию национальных хостов;
- проведении международного распределенного конгресса Global 360, международного конгресса и выставки IST'98, в которых компьютерная сеть UNIBEL выступала в качестве интерактивного участника в составе ведущих компьютерных сетей мира;
- разработке научно-информационной компьютерной сети Республики Беларусь;

Результаты эксплуатации разработанных методов и алгоритмов показали их работоспособность и создают основу для совершенствования, развития и более широкого их использования в практику создания систем мультимедиа.

Результаты диссертационной работы внедрены в ходе модернизации опорной магистрали компьютерной сети UNIBEL с целью обеспечения заданного уровня качества обслуживания при доступе к информационным ресурсам глобальной компьютерной сети Internet.

Объектом внедрения являются:

1. Конфигурации аппаратно-программных комплексов удаленного доступа к информационным ресурсам.

2. Методы и алгоритмы обеспечения качества обслуживания и синхронизации медиапоточков в системах мультимедиа.

3. Оптимальные конфигурации аппаратно-программных комплексов для реализации распределенных видеоконференций.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. На защиту выносятся развитие актуального научного направления построения систем мультимедиа с заданным уровнем качества обслуживания. Автор защищает следующее:

- метод и на его основе алгоритм обеспечения качества обслуживания приложения мультимедиа, отличающиеся от известных тем, что все потоки являются взаимозависимыми и обрабатываются путем контроля индивидуальных параметров каждого потока из них и их адаптации друг к другу;

- алгоритм обеспечения гарантированной полосы пропускания в компьютерных сетях; новизна алгоритма состоит в том, что учитывается эффект «нечувствительных» потоков, что позволяет снижать нагрузку на опорную сеть передачи данных;

- метод и алгоритмы синхронизации медиапоточков в распределенных сетевых средах, позволяющие при реализации территориально распределенных видеоконференций анализировать суммарный поток, формируемый N независимыми источниками;

- организационно-технической модель построения распределенных видеоконференций на базе разнородных компьютерных сетей передачи данных.

Личный вклад соискателя. Все новые результаты, изложенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. В публикациях с соавторами вклад соискателя определяется рамками излагаемых в диссертации результатов.

Апробация результатов работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались:

- На международной конференции “Information Technologies for Education, Science and Business”, Minsk, Belarus, 1999г.

- На международной научно-методической конференции «Информационные технологии в образовании», Минск 1999г.

- На международной конференции “Сетевые компьютерные технологии”, Минск, 25-29 октября 2000.

- На международной конференции “Information and Society Technology”, Минск, 5-9 ноября 2002.

Результаты работы обсуждались на многочисленных семинарах и совещаниях, проводимых в рамках реализации проекта Комиссии

Европейских сообществ NICE в 1997-99 годах в Германии, Бельгии, Норвегии, Греции, Российской Федерации.

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 11 работ, из них 5 статей в научных, научно-методических и научно-практических журналах, 1 препринт, 2 статьи в сборниках материалов и трудов конференций, 3 тезиса докладов. Общее количество страниц опубликованных материалов – 81.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, 4 глав, заключения, списка используемых источников, приложений. Диссертация изложена на 137 листах машинописного текста и содержит 30 рисунков, расположенных на 11 листах, 3 таблицы на 2 страницах, список литературы из 101 наименования на 7 страницах, 5 приложений на 27 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Анализ проблем построения систем мультимедиа излагаются в главе 1. Особенностью природного восприятия информации человеком является мультисенсорность, т.е. восприятие несколькими органами чувств (слух, зрение, осязание и т.д.). Поэтому современные и перспективные разработки в области информационных технологий ориентированы на создание комфортного мультисенсорного интерфейса, чтобы предоставляемая информация была по возможности приведена к привычному для человеческого восприятия виду, а пользователь был избавлен от необходимости прохождения специальной подготовки.

С термином мультимедиа связано содержание тех возможностей, которые предоставляют инструментальные средства компьютеров для представления, хранения и обработки разнообразной информации. Такое разнообразие представлено *базовыми элементами мультимедиа* – медиаобъектами (текст, изображение, звук). Существуют изменяющиеся во времени и независящие от времени медиаобъекты. На основании вышеизложенного автором вводятся следующие определения.

Определение 1.1. *Мультимедиа называется процесс создания, представления и обработки существующей информации, состоящей из экземпляров двух или более взаимосвязанных медиаобъектов различных типов.*

Определение 1.3. *Приложение мультимедиа - это набор взаимосвязанных исполняемых программных модулей, в которых базовые элементы мультимедиа соединены между собой интерактивным пользовательским интерфейсом с помощью инструментальных средств специализированного пакета прикладных программ.*

Следует различать систему мультимедиа и способ механического объединения компьютера, телефона, аудио и видеооборудования в единый информационный центр. Поэтому автором вводится следующее определение.

Определение 1.4. *Системой мультимедиа называется комплекс технических средств, который обеспечивает интегрированную обработку различных типов медиаобъектов, как минимум один из которых является зависимым от времени.*

Далее приводится анализ существующих эталонных моделей построения систем мультимедиа и требований, предъявляемых к ним. Автором выделяется наиболее важное требование, положенное в основу большинства существующих моделей – обеспечение качества обслуживания (КУ) и вводится следующее определение.

Определение 1.6. *Качество обслуживания есть набор количественных и качественных характеристик некоторой системы мультимедиа, который обеспечивает достижение требуемой функциональности этой системы.*

Таким образом, применяя данное определение к эталонной модели взаимодействия открытых систем ISO, автором делается вывод о том, что качество обслуживания – это интегральная характеристика и должно обеспечиваться на каждом уровне указанной выше модели, при этом основное внимание в его обеспечении должно быть сосредоточено на сетевом уровне (глава 2). В отличие от известных подходов, в которых основные функции по обеспечению КУ возлагались на уровни протоколов управления потоками данных и поддержки распределенных систем, автором предлагается рассматривать КУ на всех уровнях эталонной модели ISO, в частности расширить функции подуровня синхронизации для согласования индивидуальных сетевых параметров медиапотоков в распределенных сетевых средах. По мнению автора, обеспечение качества обслуживания в компьютерной сети сводится к выполнению следующих процедур:

- определение перегрузок.
- обеспечению индивидуальных сетевых характеристик для каждого медиапотока.

Учитывая тот факт, что множество реализаций стека протоколов ТСР/ПР не содержат механизмов определения и избежания перегрузок, автором предлагается в устройствах коммутации и маршрутизации на транспортном и сетевом уровнях ввести программный механизм разделения и контроля медиапотоков для решения проблемы адаптации их индивидуальных сетевых параметров.

Для определения перегрузок в компьютерных сетях автором разработан алгоритм обеспечения гарантированной полосы пропускания, отличие которого от существующих состоит в простоте реализации и возможности учета эффекта нечувствительных потоков.

Суть алгоритма состоит в следующем. Маршрутизатор содержит буфер, в котором формируется очередь пакетов типа FIFO от всех поступающих в устройство потоков данных. Предполагается, что информация о количестве активных потоков неизвестна. Необходимо знать лишь общее заполнение буфера (длину очереди). В алгоритме вычисляется среднее заполнение буфера на основе экспоненциального среднего. При этом, фиксируются две пороговые величины буфера, минимальная min и максимальная max . Если длина очереди меньше значения min , то вновь пришедший пакет помещается в FIFO буфер. Если длина очереди больше min , то заголовок вновь пришедшего пакета a сравнивается с заголовком пакета b , взятого случайным образом из FIFO буфера. Если идентификаторы этих двух пакетов совпадают, то они оба уничтожаются. В противном случае, случайно выбранный пакет a замещается в той же позиции, а пакет b уничтожается с вероятностью, которая зависит от средней длины очереди. Пусть avg - количество пакетов в очереди в текущий момент, $min < avg < max$, p_b - вероятность того, что пришедший пакет будет выбран для удаления. Тогда p_b запишем в виде:

$$p_b = \max \left(\frac{avg - min}{max - min} \right), \text{ где } 0 < p_b < \max,$$

В частности, если средняя длина очереди превышает max , то вероятность уничтожения пришедшего пакета равна 1. Вновь поступающие пакеты сравниваются с пакетами из очереди, и уничтожаются, пока размер очереди не станет меньше значения max .

В общем случае можно выбрать $m > 1$ пакетов из очереди. При этом алгоритм работает эффективнее при наличии нескольких медиапотоков, однако количество таких потоков на начальном этапе неизвестно. Автором предлагается способ определения значения m на основе анализа средней длины очереди в буфере. Суть его состоит в следующем:

1. Разделить отрезок между значениями min и max на k частей.
2. Если значение средней длины очереди попадает в i -ую часть, где i ближе к min , чем $i+1$, то количество $m = f(i)$, $i = 1 \dots k$, где $f(i)$ - монотонно возрастающая функция от i .

Однако обеспечение качества обслуживания на сетевом уровнях не является достаточным условием для сбалансированной работы системы мультимедиа. На этом уровне система не имеет представления о характере медиапотоков и изменение параметров качества обслуживания для разных потоков может быть сделано в равных пропорциях в то время, как на самом деле потоки имеют, например, различные приоритеты. Принятие таких "интеллектуальных" решений можно реализовать только на прикладном уровне эталонной модели ISO. В этой связи автором предлагается метод

“качества сессии”, который включает в себя схему контроля и алгоритм управления индивидуальными характеристиками каждого медиапотока на прикладном и сетевых уровнях. Ключевым звеном предложенного метода является единое представление о *синхронизированности потоков* с точки зрения их получателей.

Определение 2.1. *Потоки являются синхронизированными, если обеспечивается работоспособность всей системы на скорости самых медленных узлов или частей сети и при этом существует в системе количество участника, в не меньше некоторого заданного числа.*

Данная схема функционирует как система обратной связи с замкнутым контуром и постоянно отслеживает состояние потоков, принимает решение об изменении качества обслуживания, устанавливая новые значения параметров для каждого медиапотока (рис. 1). Предложенная схема состоит из двух частей: подуровней контроля и межпотоковой адаптации (согласования сетевых характеристик).

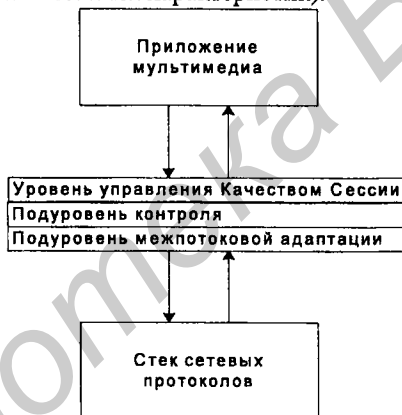


Рис 1. Функциональная схема качества сессии

Пусть Q – множество возможных значений качества, которыми характеризуется поток. Определим множество Q как:

$$Q = \{ \text{Неприемлимое, Допустимое, Излишнее} \}$$

Подуровень контроля определяет для каждого потока k , полученного приемником (узлом) j , качество потока SQ_{kj} . Таким образом $SQ_{kj} \in Q$. Суммарная оценка качества (OSQ_k) потока k формируется на основе множества $\{SQ_{kj}\}$ для $1 \leq j \leq N$, где N количество приемников, и на основе параметра синхронизации $M \in [1, N]$, который представляет собой минимальное число узлов, в которых характеристики потока k одинаковы. Таким образом,

$$OSQ_k = F(SQ_{k1}, SQ_{k2}, \dots, SQ_{kN}, M)$$

Функция F возвращает значение для OSQ_k из множества Q , т.е

$$OSQ_k \in Q$$

Пусть n_n - часть приемников, для которых $SQ_n = \text{Неприемлимый}$, n_d - для которых $SQ_n = \text{Допустимый}$. Учитывая эти параметры и на основании вышеизложенного запишем формулу F для вычисления OSQ_k в виде:

$$F = \begin{cases} \text{Неприемлимый,} & \text{если } n_n > N - M \\ \text{Допустимый,} & \text{если } n_n + n_d > N - M \text{ и } n_n \leq N - M \\ \text{Излишний,} & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Установка параметра M в значение N означает строго синхронизированные представления о потоке k для всех узлов. Если хотя бы один из узлов получает поток k с качеством ниже остальных (например, меньшая частота обновления видео, больший разброс временных задержек пакетов, большие потери пакетов и т.д.), то уровень качества для данного потока устанавливается в наименьшее значение. Это вызывает процесс повторной синхронизации параметров потока для данного узла с остальными узлами. С другой стороны, установка значения параметра M в 0 ведет к состоянию полностью несинхронизированных потоков. Таким образом, параметр M управляет степенью синхронизированности.

Подуровень адаптации отвечает за выбор ключевых параметров медиапотока, в основе которого лежит алгоритм, задача которого – распределить доступную полосу пропускания канала между потоками таким образом, чтобы достигалось максимальное значение качества сессии. Данный алгоритм должен выполняться периодически и работает следующим образом. Если в процессе мониторинга получены данные, что качество потока k $OSQ_k = \text{Неприемлимое}$, то выполняется процедура *Заем()*, в противном случае – процедура *Увеличение()*.

Процедура *Заем()* выбирает один приоритетный поток, например k , и пытается занять часть полосы у потоков с более низким приоритетом из множества V_k . Данная процедура выполняется за два этапа. На первом этапе часть требуемой полосы пропускания занимает у низкоприоритетных потоков с уровнем качества *Неприемлимое*. На втором этапе – за счет заема у низкоприоритетных потоков с уровнем качества *Излишнее*. Этот процесс повторяется для каждого потока с качеством *Неприемлимое* по убыванию их приоритета, начиная с более высокого. За один цикл у потока может быть заимствована часть полосы пропускания только один раз.

Процедура *Увеличение()* выбирает приоритетный поток с значением качества *Излишнее* и пытается увеличить ширину его полосы пропускания за счет заема. Этот процесс повторяется для каждого потока со значением уровня качества *Излишнее* в порядке убывания приоритета до тех пор, пока есть свободная полоса пропускания для заема.

Ключевым вопросом в системах мультимедиа является синхронизация непрерывных медиапоток (глава 3). Понятие синхронизация относится ко времени. Поэтому автором вводится следующее определение.

Определение 3.2. *Синхронизацией медиапоток в системах мультимедиа называются временные отношения между медиаобъектами.*

Метод синхронизации. Источник назначает каждому кадру потока временные метки с тем, чтобы определить его временное отношение с другими потоками. У получателя приложение обрабатывает потоки согласно их временным соотношениям. Если потоки сформированы одним источником, то процедура определения временных отношений между ними простая, т.к. у них один источник синхронизации (часы). Если потоки формируются разными источниками, то необходимо введение механизма централизованной синхронизации или эмуляции глобальных для этих потоков "часов". В качестве основы для построения модели выбраны числовые метки (порядковые номера кадров). Цель – задать для каждого кадра корректный номер в соответствии с тем порядком, в котором он захвачен драйвером устройства, а не в соответствии с тем, когда он был доставлен в приложение (из-за перегрузок в сети или загрузки конечных узлов).

Рассмотрим два потока, один основной, другой вспомогательный. Задача - определить порядковый номер кадра в основном потоке, который должен воспроизводиться, если воспроизводится некоторый кадр вспомогательного потока.

Представленный метод синхронизации кадров позволил сформулировать следующий алгоритм, а также последовательность их воспроизведения.

Алгоритм синхронизации кадров. Пусть аудио поток будет основным. Всякий раз, когда видео кадр должен отобразиться, вычисляется порядковый номер аудио кадра, который идеально подходит для воспроизведения. Если порядковый номер текущего аудио кадра совпадает с вычисленным, то кадр воспроизводится немедленно. Если номер текущего аудио кадра меньше вычисленного, то видео кадр ожидает. Если же номер аудио кадра больше вычисленного, то видео кадр отбрасывается.

Если порядковый номер кадра зависит от алгоритма, реализованного драйвером устройства в случае переполнения очереди, то количество потерянных кадров может быть выражено следующей формулой:

$$lost_{\alpha} = \left\{ \begin{array}{l} \left\lfloor \frac{diff_{\alpha} - n_{\alpha} d_{\alpha}}{d_{\alpha}} \right\rfloor, \text{ если } (diff_{\alpha} - n_{\alpha} d_{\alpha}) > 0 \\ 0 \text{ иначе} \end{array} \right\}$$

где: d_{α} - продолжительность кадра в потоке α ; n_{α} - количество буферов в очереди драйвера устройства потока α ; $diff_{\alpha}$ - временная разница между двумя последовательными операциями чтения из потока α .

На основании представленной схемы разработан алгоритм синхронизации аудио- и видеопотоков, который позволяет учитывать как потери кадров из-за переполнения буфера устройства, так и время вывода кадров у получателя.

Утверждение 3.2. Порядковые номера кадра α_i основного потока будут воспроизводиться во время отображения кадра β_j вспомогательного потока в соответствии со следующей зависимостью:

$$\alpha_i \in \begin{cases} \{\beta_j D + T, \beta_j D + T + D - 1\}, & \text{если } D, T \in \mathbb{Z} \\ \lceil \beta_j D + T - 1 \rceil \lfloor \beta_j D + T + D \rfloor, & \text{иначе} \end{cases}$$

где: $D = \frac{d_{\beta}}{d_{\alpha}}, T = \frac{t_{0\beta} - t_{0\alpha}}{d_{\alpha}}$

Разработаны алгоритмы синхронизации N непрерывных медиапотоков и произведено их обобщение на случай распределенных событий. Отличие предложенных подходов от известных состоит в том, что они позволяют синхронизировать непрерывные медиапотоки в распределенной среде при наличии независимых источников и при разной длине аудио-видео кадров.

Далее (глава 4) анализируются основные этапы развития услуги мультимедиа - видеоконференции, на основе проведенного анализа предлагается практическая поэтапная схема организации распределенной видеоконференции с большим количеством интерактивных участников (рис.2).

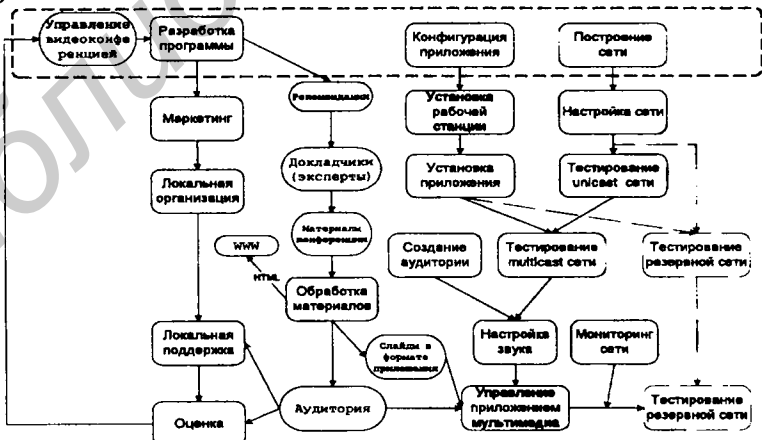


Рис.2. Схема построения видеоконференции.

Основным требованием, предъявляемым к данной схеме, является обеспечение интеграции (на техническом и организационном уровне) аудио и видеоматериалов, поступающих от множества источников в режиме реального времени, в единую программу, доступную широкому кругу зрителей. Для обозначения такой совокупности вещаемых материалов был использован телевизионный термин "канал". Взаимодействие источников материалов и зрителей, согласно новой модели, осуществлялось по схеме "публикация-подписка". Данный подход представляет особый интерес для научного сообщества в Беларуси, где в последнее десятилетие значительно ослабилась популяризация науки и ее достижений и в то же время наблюдается интенсивное развитие инфраструктуры компьютерных сетей и рост числа их пользователей.

Ключевым звеном описанной выше схемы является программная среда для реализации услуг мультимедиа - ISABEL. На рис. 3 приведена архитектура данной среды.

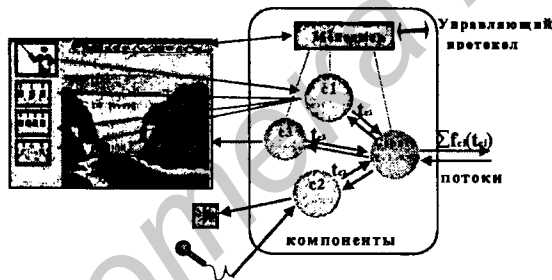


Рис.3. Архитектура ISABEL

В обобщенном виде ISABEL состоит из модулей, обрабатывающих трафик различной природы (аудио, видео, разделяемая доска и т.п.) и контролируемых управляющим агентом или менеджером. Суммарный трафик формируется источниками, использующие разнородные сетевые технологии и скорости подключения, имеет сложную структуру и не всегда подходит для передачи в существующей сетевой среде. В этой связи, для ISABEL был разработан специальный сетевой модуль, который объединяет медиапотоки от различных источников, и согласует сетевые характеристики суммарного потока с условиями существующей сетевой среды. Такой модуль был назван сервером потоков, в его основе лежат алгоритмы межпоточковой адаптации и обеспечения гарантированной полосы пропускания, разработанные автором (глава 2). Сервер потоков предназначен для согласования уровня качества обслуживания для интерактивных участников в разнородных сетях (рис. 4).

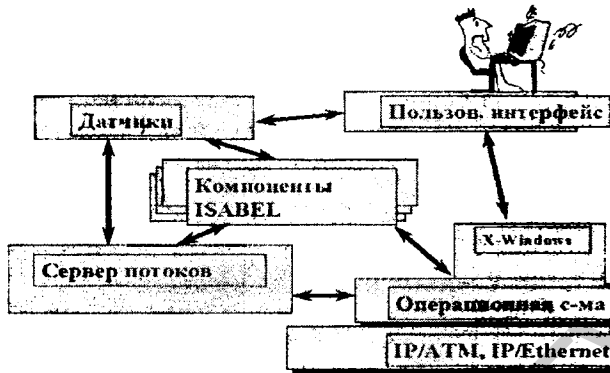


Рис. 4. Взаимодействие сервера потоков и приложения

Сервер потоков реализует следующие функции:

- формирует исходящий трафик в соответствии с характеристиками сетевой среды и обеспечивает маршрутизацию пакетов данных;
- обеспечивает обработку сетевых соединений типа N:M с эффективным использованием полосы пропускания канала передачи данных для заданного медиапотока на основе оценки его характеристик;
- обеспечивает изменение используемой полосы пропускания канала связи для обеспечения заданного уровня качества обслуживания для всего приложения в целом.

ISABEL использует сценарий управления, который формализуется в виде документа, содержащего поминутное расписание программы канала, цифровой шифр каждого из ее элементов, используемые форматы экранов, название докладов, имена докладчиков и другую информацию, отображаемую на экране при трансляции. Далее приложение мультимедиа преобразует сценарий управления в файл, содержащий всю необходимую техническую информацию для каждого пункта программы (формат экрана, фоновая графика и надписи, IP-адрес локальной аудитории и т.п.) и выполняемый в ходе конференции в режиме реального времени.

Впервые предложенная схема организации видеоконференций (рис.2) была использована при проведении международного распределенного конгресса Global360. Общая продолжительность трехдневного вещания Global360 составляла 29 часов и включала доклады шести параллельных сессий. Специализированная сеть Global360 соединяла 19 локальных аудиторий, 17 из которых выступали в качестве источников вещания. Общее число источников материалов, использованных при формировании программы канала, было равно 28. Локальная аудитория в Минске использовала соединение на основе технологии ISDN со скоростью 384 Кб/с.

В *приложении 5* представлены акты о внедрении результатов диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщение результатов исследований и практических работ по реализации систем мультимедиа позволили получить следующие новые научные результаты.

1. Проведен комплексный анализ и обобщен опыт построения систем мультимедиа, уточнены основные понятия в данной предметной области. Установлено, что основным критерием построения распределенных систем мультимедиа является обеспечение заданного уровня качества обслуживания на всех этапах эталонной модели взаимодействия открытых систем ISO. При этом установлено, что важной составной частью вышеназванного критерия является выделение гарантированной полосы пропускания для медиапотоков в канале передачи данных [3, 6, 8, 9].

2. Предложен метод и на его основе алгоритмы управления качеством сессии приложения мультимедиа, реализованные на прикладном уровне эталонной модели ISO. Новизна предложенного подхода состоит в том, что в системе мультимедиа обеспечивается синхронизированное представление обо всех медиапотоках с точки зрения их получателей. Автором доказано, что для обеспечения заданного уровня качества обслуживания все потоки, принадлежащие данному приложению мультимедиа, являются взаимозависимыми и должны обрабатываться путем контроля индивидуальных параметров каждого из них и их адаптации друг другу [1, 5, 7].

3. Предложены и реализованы в виде программных средств алгоритмы:

- межпоточковой адаптации, который позволяет распределять на основе установленных приоритетов доступные приложению мультимедиа телекоммуникационные ресурсы;

- распределения полосы пропускания канала передачи данных между медиапотоками с учетом эффекта «нечувствительных» потоков, что существенно снижает нагрузку на компьютерную сеть в целом [5, 7, 9].

4. Разработан метод синхронизации медиапотоков, основанный на числовых метках и учитывающий как потери кадров из-за переполнения буфера устройства, так и время вывода кадра у получателя. Метод позволяет определить текущий номер основного кадра и его соответствие вспомогательному кадру. Разработаны алгоритмы синхронизации N непрерывных потоков и произведено их обобщение на случай распределенных событий. Отличие предложенных подходов от известных состоит в том, что они позволяют синхронизировать непрерывные медиапотоки в распределенной среде при наличии нескольких независимых источников и при разной длине аудио-видео кадров [2, 8].

5. Предложена организационно-техническая модель и программные средства для проведения распределенных видеоконференций. Новизна предложенной модели состоит в том, что в ней учтены все особенности реализации данного вида услуг мультимедиа, которые связаны с территориальной распределенностью участников и разнородностью используемых сетевых технологий. Подробно описан каждый этап, сформулированы требования к составу и спецификации применяемого оборудования. Разработаны рекомендации по проведению распределенных видеоконференций в условиях Республики Беларусь [3, 4, 6, 10, 11].

Проведенные в диссертации исследования позволили получить новые теоретические и практические результаты, совокупность которых имеет важное значение для построения и развития систем мультимедиа в условиях ограниченных телекоммуникационных ресурсов.

Применение полученных в диссертации результатов при реализации систем мультимедиа в рамках ряда международных проектов и на базе компьютерной сети Министерства образования Республики Беларусь UNIBEL подтверждает правильность выбранных подходов и достоверность основных выводов.

Основные положения могут быть рекомендованы к использованию специалистами, занятыми в области создания систем мультимедиа.

Дальнейшие работы в рамках выбранного исследования могут заключаться в совершенствовании разработанных моделей и алгоритмов с учетом развития новых технологий и изменения требований к качеству предоставляемых услуг мультимедиа.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ РАБОТ

Статьи:

1. Копачев А.Г. Качество обслуживания в системах мультимедиа. // System research and information technologies. – Киев, - 2002, – № 3, С.74-84.
2. Листопад Н.И., Копачев А.Г. Синхронизация потоков мультимедиа в распределенных средах // Вестник Белорусского государственного университета. Серия 1. – Мн., 2000. – № 3. – С. 61-67.
3. Листопад Н.И., Копачев А.Г. Видеоконференции в системе образования Беларуси. // Веснік сувязі. – Мн.:1998. – № 6. – С. 23-31.
4. Листопад Н.И., Копачев А.Г. Модель построения распределенных видеоконференций. – Минск, 2000. – 26 с. (Препринт / Ин-т техн. Кибернетики НАН Беларуси. – № 4).
5. Листопад Н.И., Копачев А.Г. Использование ISABEL-приложения для построения видеоконференций // Вестник Белорусского государственного университета. Серия 1. – Мн.: 2000. – № 1. – С. 63-67.
6. Листопад Н.И., Копачев А.Г. Новые коммуникационные технологии в Республике Беларусь // Управление защитой информации. – Мн.:1997. – Том 1, № 3. – С. 154-159.

Материалы конференций и семинаров:

7. Копачев А.Г. Алгоритм обеспечения гарантированной полосы пропускания в канале связи. // Тезисы докладов междуна. научн. конференции. БГУ, Минск 5-8 ноября 2002. –С.303-307.
8. Копачев А.Г. Реализация видеоконференций в сети Unibel. // Тезисы докладов междуна. научн. конференции. БГУ, Минск 25-29 октября 2000, 2000. –С.104-109.
9. Листопад Н.И., Копачев А.Г. Видеоконференции как эквивалент дистанционного образования // Четвертая международная летняя школа-семинар по искусственному интеллекту для студентов и аспирантов: Сборник научных трудов. – Мн.: БГУ, 2000. – С. 230-234.
10. Листопад Н.И., Копачев А.Г. Обучающий курс «Telecommunication based value added services» // Информационные технологии в образовании: Тезисы докладов научно-методической конференции. 1-4 ноября 1999 г. Минск. – Мн.: БГУ, 1999.– С. 66-67.
11. Listopad N.I, Kopatchev A.G // ~~Proceed. of the internet conf.~~ "International technologies for education, science and business". 1999. P.19. А

РЭЗІЮМЭ

Капачоў Аляксей Генадзьевіч

Метады, алгарытмы і праграмныя сродкі для стварэння сістэм мультымедыя з заданым узроўнем якасці абслугоўвання

Ключавыя словы: сістэма мультымедыя, якасць абслугоўвання, кампутарная сетка, сінхранізацыя медыапатокаў, гарантаная паласа прапускання, размеркаваная відэаканферэнцыя.

Аб'ектам даследванняў з'яўляюцца сістэмы мультымедыя.

Прадметам даследванняў з'яўляюцца інфармацыйныя працэсы ў сістэмах мультымедыя.

З мэтай стварэння сістэм мультымедыя з заданым узроўнем якасці абслугоўвання ў дысертацыі вырашаюцца праблемы забеспячэння гарантанай паласы прапускання і сінхранізацыі інфармацыйных патокаў у кампутарных сетках.

Распрацаваны новыя метады, алгарытмы і праграмныя сродкі для забеспячэння якасці абслугоўвання на прыкладным і сецывым узроўні эталоннай мадэлі ISO.

Прапанаваны алгарытм забеспячэння паласы прапускання ў кампутарных сетках, які ўлічвае эффект неадчувальных патокаў.

Распрацаваны новы метады і на яго падставе алгарытмы сінхранізацыі патокаў даных, заснаваныя на выкарыстанні часовых метак, і якія дазваляюць аналізаваць сумарны паток, сфарміраваны з N незалежных крыніцаў.

Прапанавана практычная паэтапная схема рэалізацыі відэаканферэнцыяў з улікам розных телекамунікацыйных магчымасцей і тэрытарыяльная размеркаванасці яе удзельнікаў.

РЕЗЮМЕ

Копачев Алексей Геннадьевич

Методы, алгоритмы и программные средства для построения систем мультимедиа с заданным уровнем качества обслуживания

Ключевые слова: система мультимедиа, качество обслуживания, компьютерная сеть, синхронизация медиапоток, гарантированная полоса пропускания, распределенная видеоконференция.

Объектом исследования являются системы мультимедиа.

Предметом исследования являются информационные процессы в системах мультимедиа.

С целью построения систем мультимедиа с заданным уровнем качества обслуживания в диссертации решаются проблемы обеспечения гарантированной полосы пропускания и синхронизации информационных потоков компьютерной сетей.

Разработаны новые методы, алгоритмы и программные средства для обеспечения качества обслуживания на прикладном и сетевом уровнях эталонной модели ISO.

Предложен алгоритм обеспечения гарантированной полосы пропускания в компьютерных сетях, учитывающий эффект нечувствительных потоков.

Разработан новый метод и на его основе алгоритмы синхронизации потоков данных в распределенных средах, основанные на использовании временных меток и позволяющие анализировать суммарный поток, сформированный N независимыми источниками.

Предложена практическая поэтапная схема реализации распределенных видеоконференций с учетом различных телекоммуникационных возможностей и территориальной распределенности ее участников.

RESUME

Kopatchev Alexei Gennadievitch

Methods, algorithms and software for creating multimedia systems with the given level of quality of services

Keywords: multimedia system, quality of services, computer network, synchronization of multimedia streams, dedicated bandwidth, distributed videoconference.

The object of the present research is multimedia system.

The subject of the research are the informational processes in such systems.

The dissertation solves the problems of providing the dedicated bandwidth and synchronization of informational streams in computer networks.

Original methods and algorithms of providing the quality of services at application and network levels of ISO model have been created.

An algorithm of providing dedicated bandwidth, which considers the effect of unresponsive flows have been offered.

A new method and algorithm synchronization of media streams in computer network have been created. This method based on timestamps and makes it possible to analyze the summarized stream, which is formed by N independent sources.

An original practical scheme of building distributed videoconference has been proposed. This scheme considers different communication capacities and geographical distribution of the participants.

КОПАЧЕВ АЛЕКСЕЙ ГЕННАДЬЕВИЧ

**МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА
ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ МУЛЬТИМЕДИА С
ЗАДАНЫМ УРОВНЕМ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Специальность 05.13.11 – математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

А в т о р е ф е р а т

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

Подписано в печать 24.07.2003

Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная.

Печать ризографическая.

Усл. печ. л. 1,4.

Уч.-изд. л. 1,3.

Тираж 80 экз.

Заказ 411.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Лицензия ЛП № 156 от 30.12.2002.

Лицензия ЛП № 509 от 03.08.2001.

220013, Минск, ул.П.Бровки, 6.