

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра сетей и устройств телекоммуникаций

**В. К. Конопелько, С. М. Лапшин, В. Ю. Цветков**

## ***ИЗМЕРЕНИЕ И АНАЛИЗ ТРАФИКА IP-ТЕЛЕФОНИИ***

Методическое пособие  
по курсу  
«Цифровая коммутация каналов, пакетов и IP-телефония»  
для студентов специальности  
«Системы распределения мультимедийной информации»  
всех форм обучения

Минск БГУИР 2011

УДК 621.395.31(076)  
ББК 32.882-5я73  
К64

**Р е ц е н з е н т:**  
доцент кафедры систем телекоммуникаций  
учреждения образования «Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники», кандидат технических наук  
В. Н. Урядов

**Конопелько, В. К.**  
К64 Измерение и анализ трафика IP-телефонии : метод. пособие по курсу «Цифровая коммутация каналов, пакетов и IP-телефония» для студ. спец. «Системы распределения мультимедийной информации» всех форм обуч. / В. К. Конопелько, С. М. Лапшин, В. Ю. Цветков. – Минск : БГУИР, 2011. – 56 с. : ил.  
ISBN 978-985-488-531-5.

Рассмотрены методы и средства измерения и анализа терминального трафика IP-телефонии в сети доступа.

Предназначено для студентов специальности «Системы распределения мультимедийной информации». Может быть использовано при курсовом и дипломном проектировании.

**УДК 621.395.31(076)**  
**ББК 32.882-5я73**

**ISBN 978-985-488-531-5**

© Конопелько В. К., Лапшин С. М., Цветков В. Ю., 2011  
© УО «Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники», 2011

## Содержание

<b>Введение</b> .....	4
<b>1. Телефония и видеотелефония в IP-сетях</b> .....	5
1.1. Особенности пакетной передачи мультимедийных данных .....	5
1.2. Кодирование речевой информации .....	7
1.3. Кодирование аудиоинформации .....	11
1.4. Кодирование видеоинформации .....	14
1.5. Протоколы IP-телефонии .....	17
1.6. Обеспечение качества обслуживания в IP-сетях .....	26
<b>2. Измерение трафика в IP-сетях</b> .....	29
2.1. Общие принципы измерения трафика .....	29
2.2. Программные средства измерения трафика .....	30
<b>3. Анализ IP-трафика</b> .....	39
3.1. Параметры мультимедийного трафика .....	39
3.2. Параметры качества обслуживания мультимедийного трафика . . .	41
3.3. Самоподобный мультимедийный трафик .....	42
3.4. Методы анализа трафика .....	45
3.5. Программные средства анализа трафика .....	48
<b>4. Лабораторная работа «Измерение трафика IP-телефонии»</b> .....	52
4.1. Цель работы .....	52
4.2. Описание лабораторной работы .....	52
4.3. Предварительное задание к лабораторной работе .....	52
4.4. Порядок выполнения работы и методические указания .....	52
4.5. Контрольные вопросы .....	53
<b>5. Лабораторная работа «Анализ трафика IP-телефонии»</b> .....	54
5.1. Цель работы .....	54
5.2. Описание лабораторной работы .....	54
5.3. Предварительное задание к лабораторной работе .....	54
5.4. Порядок выполнения работы и методические указания .....	54
5.5. Контрольные вопросы .....	55
<b>Литература</b> .....	56

## Введение

Основу современных сетей телекоммуникаций составляют узлы цифровой коммутации каналов и пакетов. Они обеспечивают распределение информации в сети, а также доступ стационарных и мобильных абонентов (пользователей) к различным видам услуг, связанных с передачей данных, речи, изображений и видео. В широкополосных сетях с интеграцией служб (B-ISDN) и мобильных сетях связи третьего поколения (3G) базовым протоколом передачи информации является IP. В данном методическом пособии рассмотрены вопросы измерения и анализа трафика IP-телефонии в мультисервисной сети.

Под IP-телефонией в узком смысле понимается услуга двухстороннего обмена речевой информацией двух абонентов с использованием IP-протокола. В широком смысле к IP-телефонии относятся видеотелефония, организованная по схеме «точка–точка», а также многоточечная телефония – т. е. речевая и видеоконференц-связь, в пособии IP-телефония рассматривается в широком смысле.

Основной целью методического пособия является формирование представления о структуре и статистических характеристиках трафика IP-телефонии, способах его измерения в сети и анализа с использованием различных программных средств. Следует отметить, что измерение и анализ трафика IP-телефонии являются ключевыми задачами не только для понимания проблем пакетной передачи речи и обеспечения качества обслуживания, но и имеют важное практическое значение для решения задач сетевого мониторинга, поиска неисправностей и отказов, сетевого моделирования и проектирования. В методическом пособии акцент сделан на измерении и анализе терминального трафика, формируемого на выходе аппаратного и программного IP-телефона.

## 1. Телефония и видеотелефония в IP-сетях

### 1.1. Особенности пакетной передачи мультимедийных данных

Современные транспортные сети, использующие протокол IP, ориентированы на передачу не только данных, но и мультимедийной информации (речи, аудио, изображений, видео). Особенности построения транспортных сетей на основе IP-протокола обуславливают ряд специфических эффектов, отрицательно сказывающихся на качестве пакетной передачи мультимедийных данных по IP-сетям. Это прежде всего значительные величины и стохастический характер задержек передачи пакетов, а также потери пакетов [1].

При передаче мультимедийных данных по IP-сети возникают задержки, намного большие, чем в сетях с коммутацией каналов, которые изменяются случайным образом. Задержка (время запаздывания) определяется как промежуток времени, затраченный на передачу пакета от источника до получателя.

Задержки пакетной передачи зависят от нагрузки. Кроме того, на распределение задержек пакетной передачи медиаданных существенное влияние оказывают следующие факторы:

- алгоритмы маршрутизации и коммутации пакетов;
- алгоритмы кодирования медиаданных;
- алгоритмы декодирования медиаданных;
- операционные системы терминалов.

**1.1.1. Маршрутизация и коммутация пакетов медиаданных.** Время прохождения пакета через IP-сеть при относительно высокой нагрузке плохо предсказуемо. Это связано прежде всего с пульсирующим характером мультимедийного трафика. Пульсации трафика могут возникать уже на выходе кодера, что связано с особенностями алгоритмов сжатия медиаданных и особенностями контента. Вариация задержки пакета в сети (джиттер пакета) тем больше, чем больше маршрутизаторов и коммутаторов в маршруте, по которому передается пакет.

**1.1.2. Кодирование медиаданных.** Алгоритмы кодирования медиаданных, используемые в IP-сетях, ориентированы на передачу информации пакетами, а не последовательностями закодированных дискретов (пикселей изображений, речевых отсчетов и т. д.). Это предполагает накопление дискретов в течение времени, соответствующего по крайней мере периоду следования пакетов. Использование пакетов малой длины крайне неэффективно из-за значительного объема служебной информации, передаваемой в RTP/UDP/IP-пакетах. Кроме того, для сжатия медиаданных в кодерах осуществляется накопление достаточно большого числа дискретов для эффективного устранения различных видов избыточности (пространственной, временной, статистической). В результате время накопления и предварительного анализа вносит существенный вклад в общую длительность задержки пакета.

Например, в рекомендации G.114 ITU-T определены требования к качеству передачи речи. Оно считается хорошим, если сквозная задержка при передаче

сигнала в одну сторону не превышает 150 мс. Простое IP-соединение, организованное непосредственно между двумя шлюзами, вносит задержку около 60 мс. Таким образом, остается еще около 90 мс на задержку передачи IP-пакета через сеть, что говорит о потенциальной возможности обеспечить качественную передачу медиаданных по IP-сети. И хотя IP-технология сама по себе не имеет механизмов поддержания качества обслуживания, сегодня существует ряд концептуальных решений построения транспортных сетей на основе технологий IP/FR, IP/ATM и IP/MPLS, гарантирующих качество обслуживания за счет резервирования ресурсов.

**1.1.3. Декодирование медиаданных.** Для успешного декодирования медиаданных в пакетно-ориентированных сетях необходимо устранить джиттер пакетов. Кодер передает пакеты через фиксированные промежутки времени (например, речевые пакеты передаются каждые 20 мс), но при прохождении через сеть задержки пакетов оказываются неодинаковыми (рис. 1.1).

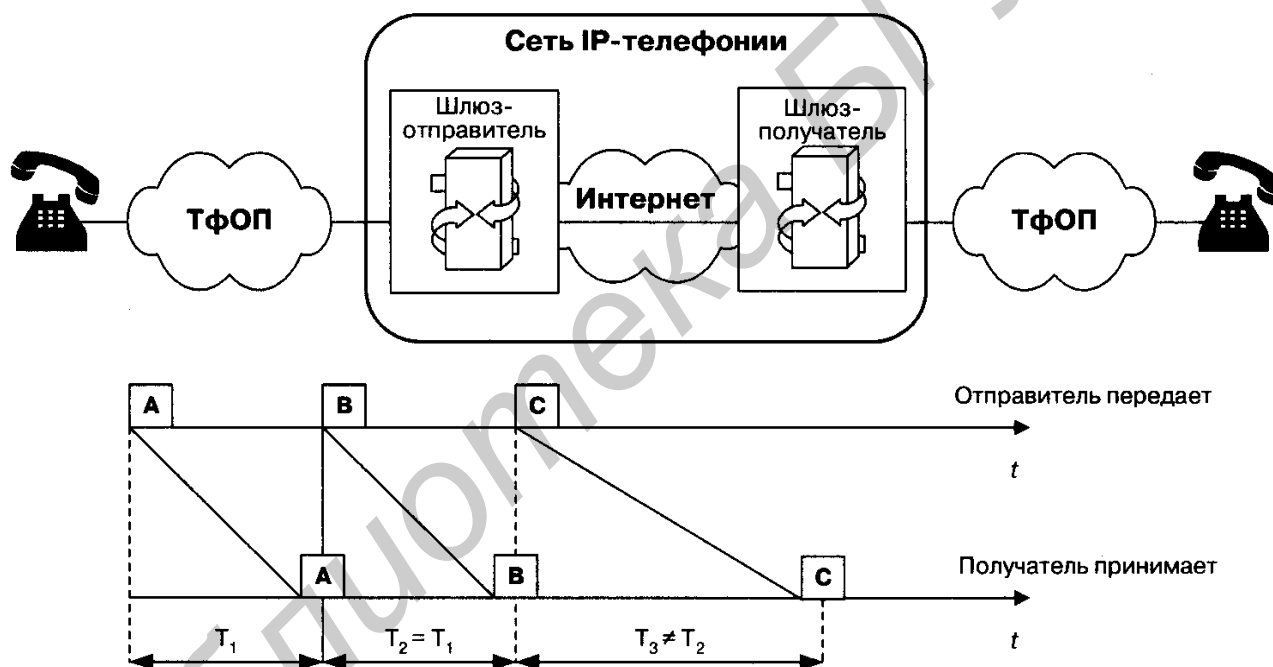


Рис. 1.1. Джиттер пакетов

Компенсация джиттера в декодере основана на использовании джиттер-буфера [1]. Джиттер-буфер хранит в памяти принятые пакеты в течение времени, определяемого его емкостью (длиной). Пакеты, поступающие из сети слишком поздно, отбрасываются. Интервалы между пакетами восстанавливаются на основе значений временных меток RTP-пакетов. В функции джиттер-буфера входит восстановление исходной очередности следования пакетов. Сокращение длины джиттер-буфера приводит к слишком частым потерям задержавшихся в сети пакетов, а увеличение длины джиттер-буфера – к неприемлемо большой дополнительной задержке. Возможна динамическая настройка длины джиттер-буфера в про-

цессе обслуживания вызова. Для выбора наилучшей длины джиттер-буфера используются эвристические алгоритмы.

**1.1.4. Операционные системы терминалов.** Большинство приложений IP-телефонии (особенно клиентских) являются программами, выполняемыми в среде операционной системы. Эти программы работают с платами обработки аудио- и видеоданных через интерфейс прикладных программ с помощью драйверов этих устройств, а для доступа к IP-сети используют Ethernet-интерфейс. Если операционная система терминала не позволяет контролировать распределение времени центрального процессора между разными процессами с точностью, превышающей несколько десятков миллисекунд, и не может обрабатывать за такое же время более одного прерывания от внешних устройств, то задержка в продвижении данных между сетевым интерфейсом и внешним устройством ввода-вывода составляет независимо от используемого алгоритма кодирования величину такого же порядка. Поэтому выбор операционной системы является важным фактором, влияющим на общую величину задержки.

Одним из эффективных способов минимизации влияния операционной системы на задержку передачи пакетов, используемых производителями шлюзов и IP-телефонов, является применение операционных систем реального времени (VxWorks, pSOS, QNX, Neutrino и т.д.). Эти операционные системы используют более сложные механизмы разделения времени процессора, обеспечивающие значительно более быструю реакцию на прерывания и обмен потоками данных между процессами.

Другой подход основан на переносе функций, критичных ко времени выполнения (обмен данными между кодеками и сетевым интерфейсом, поддержку RTP и т.д.), в специализированный процессор периферийного устройства. Пересылка данных осуществляется через выделенный сетевой интерфейс периферийного устройства, а операционная система рабочей станции поддерживает только алгоритмы управления соединениями и протоколы сигнализации, т.е. задачи, для выполнения которых жестких временных рамок не требуется.

## **1.2. Кодирование речевой информации**

Сжатие (эффективное кодирование) речи для пакетной передачи является одной из причин пульсаций трафика в IP-сети. Существуют три принципа кодирования речи: кодирование формы сигнала; кодирование исходной информации (вокодерное кодирование); гибридное кодирование.

**1.2.1. Кодирование формы сигнала.** Простейшим примером кодирования формы сигнала является импульсно-кодовая модуляция (ИКМ). Для преобразования речевого сигнала в цифровую форму должны быть выполнены три основные операции: дискретизация (формирование дискретных по времени отсчетов амплитуды сигнала); квантование (приведение непрерывных значений дискретов к ближайшим значениям шкалы квантования) и кодирование (представление квантованных дискретов сигнала двоичным кодом).

Эти операции выполняются в аналого-цифровом преобразователе (АЦП). Восстановление непрерывного аналогового сигнала из цифрового производит цифроаналоговый преобразователь (ЦАП). АЦП и ЦАП размещаются в абонентских комплектах АТС, компьютере или IP-телефоне. В основе аналого-цифрового и цифроаналогового преобразований лежит теорема Котельникова, согласно которой аналоговый сигнал может быть восстановлен с помощью фильтра нижних частот по дискретам, взятым с частотой как минимум вдвое большей максимальной частоты спектра сигнала.

Для уменьшения присущей ИКМ избыточности и снижения требований к полосе канала последовательность закодированных дискретов, полученная на выходе АЦП, может быть подвергнута эффективному кодированию (сжатию) для снижения скорости передачи за счет сокращения временной и статистической избыточности.

Устранение статистической избыточности основано на использовании кодирования Хаффмана и арифметического кодирования.

Устранение временной избыточности основано на возможности предсказания значения дискрета на основе значений предыдущих дискретов. В алгоритмах кодирования данная закономерность используется в двух вариантах. Во-первых, есть возможность изменять параметры квантования в зависимости от характера сигнала. В этом случае шаг квантования может изменяться, что позволяет до некоторой степени сгладить противоречие между уменьшением числа бит, необходимых для кодирования величины отсчета при увеличении шага квантования, и сужением динамического диапазона кодера, неизбежным без адаптации. Во-вторых, существует подход, называемый дифференциальным кодированием, или линейным предсказанием. Вместо того чтобы кодировать входной сигнал непосредственно, кодируют разность между входным сигналом и «предсказанной» величиной, вычисленной на основе нескольких предыдущих значений сигнала. Простейшей реализацией данного подхода является дельта-модуляция (ДМ), алгоритм которой предусматривает кодирование разности между соседними дискретами сигнала только одним информационным битом, обеспечивая передачу только знака разности.

Наиболее совершенным и достаточно простым алгоритмом, построенным на описанных выше принципах, является алгоритм адаптивной дифференциальной импульсно-кодовой модуляции (АДИКМ). Алгоритм предусматривает формирование сигнала ошибки предсказания и его последующее адаптивное квантование. Существует версия этого алгоритма, в которой информационные биты выходного цифрового потока организованы по иерархической схеме, что позволяет отбрасывать наименее значимую информацию, не уведомляя об этом кодер, и получать поток меньшей скорости за счет некоторого ухудшения качества. При достаточно хороших характеристиках алгоритм АДИКМ практически не применяется для передачи речи по сетям с коммутацией пакетов из-за высокой чувствительности к потерям пакетов в сети. В таких случаях нарушается синхронизация кодера и декодера,



что приводит к резкому ухудшению качества воспроизведения речи даже при малых потерях пакетов.

**1.2.2. Кодирование исходной информации.** Кодеры исходной информации, или вокодеры (voice coding) реализуют методы, основанные на особенностях человеческой речи и учитывающие особенности строения голосового аппарата человека. Звуки речи образуются при прохождении выдыхаемого воздуха через голосовой аппарат, важнейшими элементами которого являются язык, нёбо, губы, зубы и голосовые связки. В формировании того или иного звука участвует та или иная часть этих элементов. Если звук формируется с участием голосовых связок, поток воздуха из легких вызывает их колебание, что порождает звуковой тон. Последовательность формируемых таким образом звуков составляет тоновую речь (или тоновый сегмент речи). Если звук формируется без участия связок, тон в нем отсутствует, и последовательность таких звуков составляет нетоновую речь (нетоновый сегмент речи). Спектр тонового звука может быть смоделирован путем подачи специальным образом сформированного сигнала возбуждения на вход цифрового фильтра с параметрами, определяемыми несколькими коэффициентами. Спектр нетоновых звуков практически равномерный, что обусловлено их шумовым характером.

Работа вокодера заключается в анализе блока дискретов речевого сигнала, вычислении параметров соответствующего фильтра и параметров возбуждения (тоновый/нетоновый сегмент речи, частота тона, громкость и т. д.).

Описанный принцип кодирования получил название LPC (Linear Prediction Coding – кодирование с линейным предсказанием), поскольку центральным элементом модели голосового тракта является линейный фильтр.

Алгоритмы кодирования формы сигнала основаны на наличии корреляционных связей между дискретами, которые дают возможность линейного предсказания. В сочетании с адаптивным квантованием этот подход позволяет обеспечить хорошее качество речи при скорости передачи порядка 24 – 32 Кбит/с. LPC-вокодеры используют простую математическую модель голосового тракта и позволяют достичь низких скоростей передачи информации (1200 – 2400 бит/с). Недостатком является «синтетический» характер воспроизводимой речи.

**1.2.3. Гибридное кодирование.** Гибридные алгоритмы кодирования и алгоритмы типа «анализ путем синтеза» (ABS) представляют собой попытки совместить положительные свойства двух описанных выше основных подходов и строить эффективные схемы кодирования с диапазоном скоростей передачи 6 – 16 Кбит/с.

#### **1.2.4. Речевые кодеки IP-телефонии**

##### **1.2.4.1. Речевые кодеки, стандартизованные ITU-T**

**Кодек G.711.** Рекомендация G.711 утверждена в 1965 г. Описывает способ преобразования аналогового сигнала в цифровой с использованием полугарифмической шкалы, получивший название ИКМ-кодирование. Типичная оценка MOS составляет 4.2. Любое устройство VoIP поддерживает этот тип кодирования.

**Кодек G.722.2.** Обеспечивает быстрое изменение битовой скорости кодирования при изменении пропускной способности сети передачи данных. Поддерживает девять различных битовых скоростей: 6,6 Кбит/с и 8,85 Кбит/с (для GSM- и UMTS-сетей при низком отношении сигнал/шум в радиоканале); 12,65 Кбит/с (является основной скоростью в GSM- и UMTS-сетях при широкополосной передаче речи); 14,25, 15,85, 18,25, 19,85, 23,05 и 23,85 Кбит/с (для передачи речи при низком отношении сигнал/шум в радиоканале, а также для организации конференций с множеством участников). Обеспечивает кодирование с частотой дискретизации 16 кГц.

**Кодек G.723.1.** Рекомендация G.723.1 утверждена в 1995 г. Форум ИМТС выбрал кодек G.723.1 в качестве базового для IP-телефонии. Длительность кадров 30 мс. Продолжительность предварительного анализа 7,5 мс. Возможна передача на скоростях 6,3 Кбит/с (кадр длиной 189 бит, дополненных до 24 байт) и 5,3 Кбит/с (кадр длиной 158 бит, дополненных до 20 байт). Скорость может меняться динамически от кадра к кадру. Оценка MOS составляет 3,9 в режиме 6,3 Кбит/с и 3,7 в режиме 5,3 Кбит/с. Кодек специфицирован на основе операций с плавающей и фиксированной точкой в виде кода на языке С. Реализация кодека на процессоре с фиксированной точкой требует производительности около 16 MIPS. Кодек G.723.1 имеет детектор речевой активности и обеспечивает генерацию комфортного шума на удаленном конце в период молчания. Параметры фонового шума кодируются кадрами длиной 4 байта. Если параметры шума не меняются, передача полностью прекращается.

**Кодек G.726.** Рекомендация G.726 утверждена в 1990 г. Описывает способ преобразования аналогового сигнала в цифровой с использованием АДИКМ. Обеспечивает кодирование цифрового потока G.711 со скоростью 40, 32, 24 или 16 Кбит/с. Гарантирует оценки MOS на уровне 4,3 (32 Кбит/с). В приложениях IP-телефонии этот кодек практически не используется, так как он не обеспечивает достаточной устойчивости к потерям информации.

**Кодек G.728.** Алгоритм разработан в 1992 г. Использует технологию LD-CELP (low delay code excited linear prediction). Длительность кадра 0,625 мс. Задержка может достигать 2,5 мс. Гарантирует оценки MOS, аналогичные АДИКМ G.726 при скорости передачи 16 Кбит/с. Кодек специально разрабатывался для замены АДИКМ в оборудовании уплотнения телефонных каналов при величине задержки менее 5 мс для исключения эхокомпенсации. Недостатком алгоритма является высокая сложность (около 20 MIPS для кодера и 13 MIPS для декодера) и относительно высокая чувствительность к потерям кадров.

**Кодек G.729.** Рекомендация G.729 утверждена в 1996 г. Описывает вариант кодека, требующий при реализации около 20 MIPS (Million Instructions Per Second) для кодера и 3 MIPS для декодера. Существует также упрощенный вариант кодека G.729 (рекомендация G.729A, утверждена в 1995 г.), требующий при реализации около 10,5 MIPS для кодера и около 2 MIPS для декодера. Используется приложениями передачи речи в сетях Frame Relay. Основан на тех-

нологии CS-ACELP (Conjugate Structure, Algebraic Code Excited Linear Prediction). Использует кадр длительностью 10 мс и обеспечивает скорость передачи 8 Кбит/с. Для кодера необходим предварительный анализ сигнала продолжительностью 5 мс. В спецификациях G.729 определены алгоритмы VAD, CNG и DTX. В периоды молчания кодер передает 15-битные кадры с информацией о фоновом шуме, если только шумовая обстановка изменяется.

#### **1.2.4.2. Речевые кодеки, стандартизованные ETSI**

**Кодек GSM Full Rate.** Спецификации кодека GSM Full Rate утверждены в 1987 г. Они описывают узкополосный кодек для систем мобильной связи GSM. Кодек применяется в миллионах мобильных телефонах, а также в системах IP-телефонии. Обеспечивает хорошее качество и устойчивую работу в условиях фонового шума (оценка MOS порядка 3,7 при отсутствии шума). Использует кадры длительностью 20 мс. Формирует цифровой поток со скоростью 13 Кбит/с. Не требует высокой производительности процессора (необходимо около 4,5 MIPS для дуплексной реализации).

**Кодеки GSM Half Rate и GSM Enhanced Full Rate.** Спецификации кодеков GSM Half Rate и GSM Enhanced Full Rate утверждены в 1994 и 1995 гг. Характеристики этих кодеков превосходят характеристики GSM Full Rate, однако алгоритмы требуют большей производительности процессора (до 30 MIPS). В приложениях IP-телефонии распространения не получили.

### **1.3. Кодирование аудиоинформации**

Для уменьшения скорости цифрового аудиопотока используются различные способы его уплотнения [2]. Среди наиболее простых – АДИКМ, линейное кодирование с предсказанием (LPC); исключение пауз и т. д. Более сложные алгоритмы сжатия используют особенности слухового аппарата человека и предполагают пренебрежение теми составляющими аудио сигнала, которые лежат вне частотного диапазона человеческого восприятия.

**1.3.1. Принципы кодирования аудиоинформации.** При кодировании аудиоданных используются следующие принципы.

1. Эффект маскирования. Возникает в случае, когда некоторый звук определенной частоты (маскирующий тон), воздействуя на орган слуха, не позволяет различать звуки близкие по частоте, но меньшие по амплитуде. В аудиосигнале одновременно могут присутствовать несколько маскирующих тонов на различных частотах. Совокупным действием всех маскирующих тонов определяется граница маскирования – функция от частоты, определяющая минимальный уровень воспринимаемых сигналов. Компоненты аудиосигнала, амплитуда которых лежит ниже границы маскирования, слуховым аппаратом человека не воспринимаются и отбрасываются при кодировании.

2. Деление полосы звуковых частот на подполосы. В подполосах кодер выделяет сигналы с максимальным уровнем и с помощью этой информации определяет приемлемый уровень шума (потерь и искажений) для этих подполос. Каждая из выбранных подполос обрабатывается отдельно.

3. Психоакустическая модель. Учитывает особенности человеческого восприятия звука. Сжатие на основе психоакустической модели основано на удалении из аудиосигнала составляющих, заведомо неслышимых и неразличимых органами слуха человека.

4. Совмещение фоновых частот левого и правого каналов стереофонического аудиосигнала. Основано на том, что слуховой аппарат человека может определить направление аудиосигнала лишь со средними частотами. Аудиосигналы с высокими и низкими частотами воспринимаются отдельно от источника.

5. Использование несимметричности стереофонического аудиосигнала. Повышение качества аудиосигнала в одном канале за счет пауз в другом.

6. Энтропийное кодирование. Для сжатия аудиосигнала используется алгоритм Хаффмана или арифметическое кодирование.

**1.3.2. Стандарты кодирования аудиоданных.** Кодирование монофонических относительно узкополосных аудиосигналов может осуществляться по стандартам кодирования речевых сигналов (G.711, G.722.2, G.723.1, G.726, G.728, G.729). Качественное кодирование стереофонических аудиосигналов требует использования специальных подходов, реализованных в ряде стандартов.

**MPEG-1/2/2,5 Layer 3.** Принят в январе 1988 г. Предполагает разделение аудиоканала на частотные полосы с помощью полосовых фильтров. В каждой из полос с помощью модифицированного дискретного косинусного преобразования (МДКП) выделяются частотные составляющие спектра цифрового аудиосигнала (МДКП-коэффициенты), которые затем квантуются. Спектр аудиосигнала очищается от низкочастотных шумов и ограничивается по частоте, после чего подвергается психоакустическому анализу. Затем аудиоданные сжимаются с помощью алгоритма Хаффмана. Кодирование потока аудиоданных осуществляется поблочно с определенной битовой скоростью, которая при этом может быть постоянной для всех блоков, индивидуальной или усредненной. Стандартом установлены следующие битовые скорости: 32, 40, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160, 192, 224, 256 и 320 Кбит/с. Для формирования стереофонического цифрового аудиопотока используются независимое кодирование аудиосигнала каждого канала, кодирование с отслеживанием зависимости информации в каналах или кодирование с устранением избыточности. В последнем случае возможны два варианта. Для первого варианта используются суммарная и разностная составляющие стереофонического аудиосигнала. Для второго варианта используется разбиение аудиосигнала на полосы. Кодированию подвергается только нижний диапазон частот разностной составляющей, а в верхнем частотном диапазоне, начиная с определенной частоты, происходит лишь регистрация информации о мощности сигнала в каждой из полос. Преимуществами MPEG-1/2/2,5 Layer 3 являются быстрое декодирование и меньшая сложность реализации по сравнению с MPEG-2/4 AAC и Ogg Vorbis. К недостаткам относятся меньшая степень сжатия, отсутствие возможности кодирования более чем двух аудиоканалов и ограниченность максимальной битовой скорости 320 Кбит/с для формирования высококачественного цифрового аудиопотока.

**MPEG-2/4 AAC.** Является развитием MPEG-1/2/2,5 Layer 3 и превосходит его по степени сжатия. Как и стандарт MPEG-1/2/2,5 Layer 3 использует психоакустический анализ аудиосигнала, но другой тип преобразований. В нем улучшена обработка шумов, изменен банк фильтров, добавлена возможность кодирования нескольких аудиоканалов (до шести), а также улучшен способ записи аудиопотока. Стандарт позволяет размещать в закодированном аудио потоке информацию об авторских правах и использовать для кодирования различные профили.

**Ogg Vorbis.** Этот стандарт кодирования аудиоданных является частью проекта Ogg Squish по созданию открытой мультимедийной системы. Для устранения избыточности сжатие выполняется с переквантованием дискретов аудиосигнала и психоакустическая модель. Кодирование потока аудио данных может осуществляться в диапазоне битовых скоростей от 8 до 512 Кбит/с, которые могут быть индивидуальными для каждого блока аудиоданных или усредненными для всех блоков. Стандартом предусмотрена возможность кодирования до 255 аудиоканалов и изменение битовой скорости потока аудиоданных без его декодирования. Поддерживается режим потокового воспроизведения аудио в IP-сетях. Ogg Vorbis дает в среднем заметно лучшие результаты кодирования для битовых скоростей от 160 Кбит/с и более по сравнению с MPEG-1/2/2,5 Layer 3.

**Windows Media Audio.** Закрытая разработка, альтернативная MPEG-1/2/2,5 Layer 3. Существует несколько версий этого стандарта: v1, v2, v7, v8 и v9. Версия v7 отличается от предыдущих поддержкой битовых скоростей до 192 Кбит/с, более простым алгоритмом кодирования, обеспечивающим несколько меньшую степень сжатия, и иной структурой данных. Версия v8 отличается от предыдущих усовершенствованной психоакустической моделью, позволяющей существенно увеличить коэффициент сжатия. Версия v9 обеспечивает увеличение степени сжатия аудиоданных до 20 % в сравнении с предыдущей версией наряду с сокращением времени их буферизации при передаче по IP-сетям. Эта версия дает несколько лучшие результаты кодирования в сравнении с MPEG-1/2/2,5 Layer 3. Наибольшую эффективность обеспечивается на низких битовых скоростях.

**Dolby Digital.** Стандарт эффективного многоканального кодирования аудиоданных. Как MPEG-2/4 AAC и Ogg Vorbis для сокращения избыточности цифрового аудиопотока использует психоакустическую модель, учитывающую особенности слухового восприятия человека. В частности, перед кодированием с помощью фильтра низких частот убирается информация о постоянной составляющей аудиосигнала и формируется низкочастотный канал. Аудиопоток разбивается на блоки из 512 или 256 дискретов в зависимости от длительности звуковых фрагментов с 50 %-ным перекрытием между блоками. Аудиоданные в блоке разбиваются на 256 частотных полос и преобразуются в формат чисел с плавающей запятой с 20/24-разрядным представлением. Преимуществами стандарта Dolby Digital является высокая степень сжатия (до 13 раз при минимальных потерях в качестве) и широкий диапазон битовых скоростей (от 32 до 640 Кбит/с).

## 1.4. Кодирование видеoinформации

**1.4.1. Принципы кодирования видеoinформации.** Большинство устройств отображения видеoinформации для получения цветных изображений используется три основных цвета: красный, зеленый и синий. Все алгоритмы компрессии выполняют преобразование координат цвета в яркостную составляющую ( $Y$ ) и две цветные компоненты ( $Cr$  и  $Cb$ ). Алгоритмы декомпрессии конвертируют преобразованное цветное пространство обратно в RGB для дальнейшего воспроизведения.

Воспроизведение изображения может производиться с использованием чересстрочной и прогрессивной разверток. В первом случае чересстрочные кадры разделяются на два поля. Поля сменяют друг друга с частотой 60 полей в секунду (стандарт NTSC) или 50 полей в секунду (стандарты PAL и SECAM), а их строки перемежаются в пространстве. Во втором случае строки кадров формируются последовательно.

Более низкая чувствительность зрительной системы человека к разрешению по  $Cr$  и  $Cb$  цветовым осям позволяет использовать различные цветные схемы в процессе компрессии. Международный стандарт CCIR-601 (переименованный впоследствии в ITU-601) для записи цифровых видеоданных использует цветовую схему 4:2:2 [2], в которой  $Cr$  и  $Cb$  цветные компоненты уменьшаются вдвое по отношению к яркостной составляющей (при этом количество бит на один пиксель уменьшается с 24 до 16). Если цветные компоненты в оригинале имеют размер  $480 \times 720$  пикселей, то после преобразования яркостная компонента остается неизменной, а  $Cr$  и  $Cb$  компоненты имеют размер  $480 \times 360$  пикселей.

Сжатие видеoinформации основано на уменьшении пространственной и временной избыточности видеoinформации. Пространственное сжатие выполняется для опорных кадров видеопоследовательности и использует методы сжатия неподвижных изображений. Временное сжатие основано на предсказании. Предсказание осуществляется по предыдущим кадрам – базовым изображениям и состоит из двух шагов: компенсации движения и кодирования остаточного изображения. В процессе кодирования блок, на который идет ссылка при предсказании, вычитается из входного блока. Полученное в результате остаточное изображение подвергается компрессии.

### 1.4.2. Стандарты кодирования видеоданных

**Motion-JPEG.** Представляет наиболее простой алгоритм сжатия, в котором каждый кадр сжимается независимо от использования алгоритма JPEG. Это обеспечивает высокую скорость доступа к произвольным кадрам в прямом и обратном порядке, простоту аудиовизуальной синхронизации редактирования, наложения эффектов на отдельные кадры, а также простоту реализации. Скорость видеопотока и разрешение изображения могут быть произвольными. Недостатком является низкая степень сжатия (5 – 10 раз).

**MPEG-1.** В стандарте MPEG используется цветовая схема 4:2:0, в которой  $Cr$ - и  $Cb$ -компоненты уменьшаются как по вертикали, так и по горизонтали. При этом яркостная компонента имеет размер  $480 \times 720$  пикселей, а цветные

компоненты –  $240 \times 360$  пикселей. Для устранения пространственной избыточности пиксели изображения разбиваются на блоки  $8 \times 8$  пикселей, которые подвергаются дискретному косинусному преобразованию (ДКП), квантуются и кодируются энтропийным кодером (кодером Хаффмана). Роль ДКП сводится к преобразованию блоков пикселей размером  $8 \times 8$  в блоки ДКП-коэффициентов того же размера, которые могут быть закодированы с использованием значительно меньшего количества бит. Первый коэффициент преобразования с нулевым индексом представляет наименьшую пространственную частоту. Рост пространственной частоты в ходе преобразования происходит при движении коэффициента преобразования слева направо и сверху вниз по двумерной матрице ДКП-коэффициентов. Дополнительное уменьшение пространственной избыточности видеоинформации обеспечивает квантование ДКП-коэффициентов. Оно осуществляется путем деления коэффициентов преобразования на целое число с последующим округлением до ближайшего целого. Делитель состоит из двух частей: первой – уникальной для каждого коэффициента (набор этих уникальных чисел задается матрицей квантования) и второй – фиксированного для блока. Кодек MPEG-1 обеспечивает скорость видеопотока менее 1,86 Мбит/с. Разрешение изображения составляет  $352 \times 288$  пикселей при частоте 25 кадров в секунду (стандарт PAL) и  $352 \times 240$  пикселей при частоте 30 кадров в секунду (стандарт NTSC).

**Н.261.** Стандарт кодирования видеоданных для передачи по каналам связи с произвольной скоростью. В качестве канала передачи может использоваться, например, группа основных цифровых каналов со скоростью передачи 64 Кбит/с в каждом. Для входного изображения поддерживаются разрешения CIF и QCIF в формате YUV при частоте кадров до 30 в секунду, а также снижение разрешения компонент цветности в два раза. Выходной поток формируется из кадров двух типов: INTRA – независимо сжатые кадры (I-кадры) и INTER – сжатые кадры, которые имеют ссылку на предыдущий кадр для компенсации движения (P-кадры). Для сглаживания артефактов, возникающих в результате ДКП, предусмотрено размытие внутри блоков  $8 \times 8$  пикселей. Для ограничения процесса размножения ошибок INTRA-кадры в цифровом видео потоке должны встречаться не реже, чем через 132 INTER-кадра. Кодек Н.261 характеризуется простой аппаратной реализацией, однако обеспечивает невысокую степень сжатия и имеет ограничения на входной формат изображения.

**Н.263.** Данный стандарт является развитием Н.261 и описывает также сжатие звука. К основным отличиям относятся: использование арифметического кодирования вместо кодов Хаффмана (обеспечивает повышение степени сжатия на 5 – 10 %); задание векторов смещения, указывающих за границы изображения (граничные пиксели кадра используются для предсказания пикселей вне кадра, что позволяет уменьшить разностный сигнал при смене плана сцены); задание вектора смещения для каждого блока  $8 \times 8$  (существенно увеличивает коэффициент сжатия); использование В-кадров (позволяют увеличить степень сжатия); поддержка большого числа форматов входного изображения

(sub-QCIF, QCIF, CIF, 4CIF, 16CIF и отдельно настраиваемых); компенсация движения с субпиксельной точностью (возможность предсказания сдвига блока на полпикселя); особые режимы сжатия INTRA-макроблоков со ссылкой на соседние макроблоки в обрабатываемом кадре (предполагают особый режим квантования и специальную таблицу Хаффмана для улучшения сжатия I-кадров в ряде случаев); сглаживание границ блоков декодированного изображения для уменьшения эффекта блочности (крайние пиксели блоков сдвигают по яркости с целью минимизации их разности); изменение разрешения и деформирование базового кадра, который используется в качестве базового при сжатии. Скорость видеопотока H.263 может варьироваться от 0,04 до 20 Мбит/с. Кодек H.263 выигрывает у H.261 в коэффициенте сжатия.

**MPEG-2.** Является развитием MPEG-1. К основным отличиям относятся: чересстрочная и прогрессивная развертки; новые режимы предсказания движения, существенно повышающие степень сжатия; использование профилей и уровней, содержащих в себе основные параметры видеопотоков; ограничение размера изображения, связанное с особенностями реализации алгоритмов предсказания движения (разрешение по вертикали и горизонтали в режиме покадрового кодирования должно быть кратно 16 и 32 по вертикали в режиме кодирования полей, когда каждое поле состоит из двух кадров); обработка кадров размером до 16383×16383 пикселей; наличие масштабирования; более эффективный алгоритм нелинейного ДКП; определение точности частотных коэффициентов матрицы квантования в процессе кодирования; загрузка отдельной матрицы квантования непосредственно перед каждым кадром. Скорость закодированного видеопотока может варьироваться от 3 до 15 Мбит/с. К преимуществам алгоритма относится поддержка звуковых стандартов Dolby Digital и DTS, а также простота аппаратной реализации. Недостатком является относительно низкая степень сжатия.

**MPEG-4 Part 2.** Кардинально отличается от принятых ранее стандартов. К основным отличиям стандарта относятся [3]: обработка трехмерных сцен и работа с синтетическими объектами (блок визуализации трехмерных объектов позволяет накладывать титры и заставки, неподвижные изображения, использовать цифровой видеопоток как текстуру, которая может быть наложена на поверхность объектов); объектно-ориентированная работа с потоком данных (в качестве данных выступают синтетические объекты, звуковые и видеоданные и т. д., из которых выстраиваются управляемые сцены); помещение в поток двоичного кода языка VIFS (позволяет добавлять описания объектов, классов объектов и сцен, изменять координаты, размеры, свойства, поведение и реакцию объектов на действия пользователя); синтезатор лиц и фигур (в стандарт заложен интерфейс к модулю синтеза лиц и фигур, позволяющий задавать ключевые данные о профиле лица и его текстуре, и кодировать только коэффициенты изменения формы); синтезатор звуков и речи; усовершенствованные алгоритмы сжатия видеoinформации (предусмотрены блоки, отвечающие за формирование цифровых видеопотоков со скоростями от 4,8 до 65 Кбит/с и выше с прогрессивной и черес-



строчной развертками, помехоустойчивое кодирование для передачи по ненадежным каналам, три уровня детализации изображения, что в совокупности позволяет легко адаптироваться к условиям трансляций видеоданных по сетям); поддержка ряда стандартных профилей (для упрощения декодера разработчики стандарта оговорили наборы профилей, каждый из которых включает в себя стандартные функции). Кодер MPEG-4 Part 2 позволяет формировать цифровые видеопотоки со скоростями 0,0048 – 20 Мбит/с, поддерживает все основные форматы входного изображения и прогрессивные звуковые стандарты.

**H.264/AVC/MPEG-4 Part 10.** Этот стандарт ориентирован на сжатие и передачу видеоинформации в различных сетевых средах. К основным особенностям стандарта относятся: многокадровое предсказание (позволяет использовать до 32 ссылок на другие кадры, воспроизводить видеоинформацию независимо от порядка следования базовых кадров, использовать обработанные изображения для предсказания движения, осуществлять компенсацию движения с переменным размером блока от 4×4 до 16×16 пикселей, задействовать шеститочечную фильтрацию яркостной компоненты для полупиксельного предсказания, а также производить взвешенное предсказание); пространственное предсказание от краев соседних блоков для I-кадров; сжатие блоков без потерь; гибкие функции чересстрочного сжатия (включают адаптацию к изображению); новые функции преобразования, подобные ДКП, но более простые и эффективные; усовершенствованный алгоритм логарифмического масштабируемого квантования; встроенный фильтр деблокинга в цикле кодирования для устранения артефактов блочности; энтропийное кодирование квантованных коэффициентов преобразования с использованием контекстно-зависимого адаптивного бинарного арифметического кодирования с переменной длиной кодового слова и экспоненциального кодирования Голомба); функции устойчивости к ошибкам, которые включают гибкое упорядочивание блоков). Стандарт поддерживает широкий диапазон скоростей передачи и форматов видео, обеспечивает высокие коэффициенты сжатия.

**Windows Media Video.** Закрытый стандарт сжатия, основанный на MPEG-4 Part 2, альтернативный H.264/AVC/MPEG-4 Part 10. При кодировании цифрового видеопотока с прогрессивной и чересстрочной разверткой алгоритм использует разные цветовые пространства (YUV 4:2:0 и YUV 4:1:1). Кодеком поддерживается сжатие с переменной битовой скоростью. Скорости видеопотока находятся в диапазоне от 0,096 до 135 Мбит/с. Поддерживает все основные видеоформаты.

## **1.5. Протоколы IP-телефонии**

**1.5.1. Протоколы сети Internet.** Сеть Internet широко используется в настоящее время для передачи мультимедийной информации и, в частности, для организации IP-телефонии. Кроме того, протоколы, изначально разработанные для сети Internet, эффективно используются для передачи данных и управления в других сетях.

**1.5.1.1. Архитектура сети Internet.** Архитектура сети Internet была разработана агентством ARPA для соединения компьютеров в государственных, военных, академических и других организациях на территории США. На рис. 1.2 представлено соответствие между моделями ARPA и OSI [4].

**Уровень сетевого интерфейса.** Это нижний уровень модели ARPA, обеспечивающий физический перенос информации между устройствами в сети, т. е. объединяющий функции двух уровней OSI – физического и канального (звена данных). Уровень сетевого интерфейса обеспечивает физическое соединение со средой передачи, разрешение конфликтов, возникающих в процессе организации доступа к среде, упаковывает данные в пакеты. Пакет – протокольная единица, которая содержит информацию верхних уровней, и служебные поля, необходимые для функционирования протоколов этого уровня.

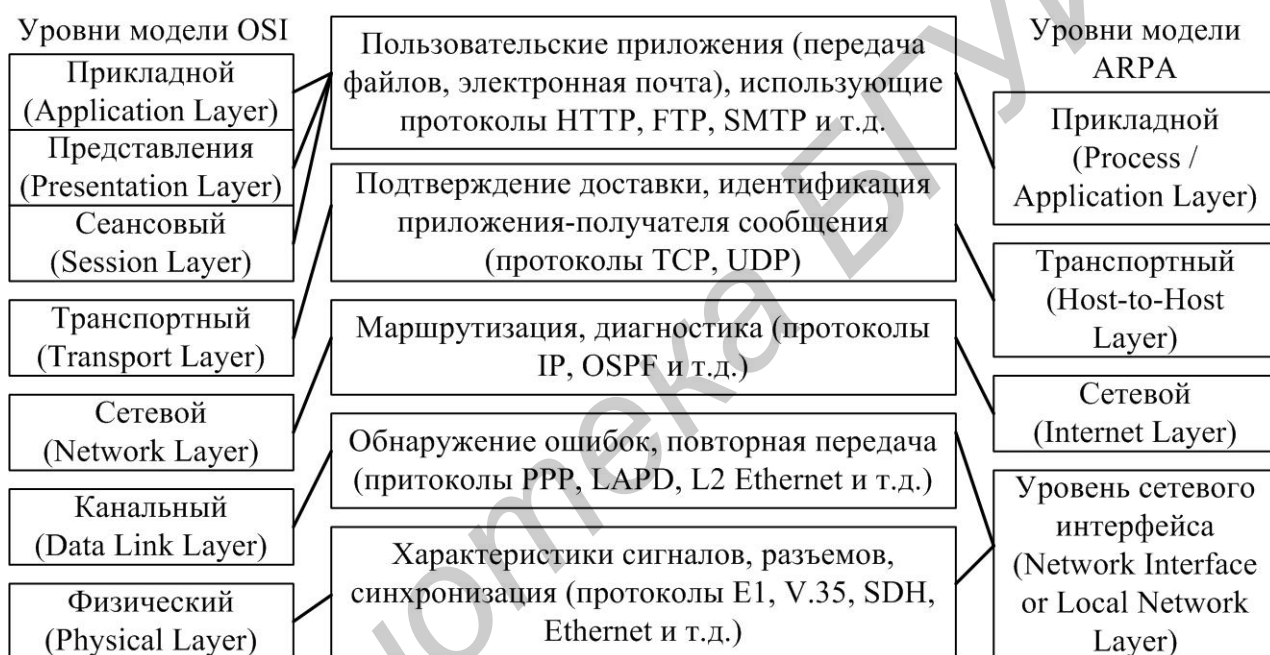


Рис. 1.2. Модели ARPA и OSI

**Сетевой уровень.** Обеспечивает передачу информации, упакованной в дейтаграммы (datagram) между терминалами. Дейтаграмма – протокольная единица, которой оперируют протоколы семейства TCP/IP. Она содержит адресную информацию, необходимую для переноса дейтаграммы через сеть, а не только в рамках одного звена данных. Основным протоколом, реализующим функции сетевого уровня, является протокол IP. Этот протокол отвечает за маршрутизацию, фрагментацию и сборку дейтаграмм в терминале получателя. Для организации обмена между сетевыми узлами информацией о состоянии сети, необходимой для формирования оптимальных маршрутов следования дейтаграмм, используются протоколы маршрутизации – RIP, EGP, BGP, OSPF и др. Преобразование IP-адресов в адреса, используемые в локальных сетях, обеспечивает протокол преобразования адресов (Address Resolution Protocol – ARP). Протокол контрольных сообщений (Internet Control Message Protocol – ICMP)

дает возможность терминалу или маршрутизатору обмениваться информацией с другими устройствами в сети.

**Транспортный уровень.** Обеспечивает надежную передачу информации от источника к получателю. Протоколы этого уровня образуют универсальный интерфейс для приложений, обеспечивающий доступ к услугам сетевого уровня. Основными протоколами транспортного уровня являются TCP и UDP.

**Уровень приложений.** Объединяет множество протоколов, обеспечивающих работу различных приложений в терминалах пользователей, а также серверах сети. Например, протокол FTP, используемый приложениями передачи файлов, и протокол HTTP, используемый Web-приложениями. Протоколы FTP и HTTP базируются на протоколе TCP. Протокол Telnet обеспечивает подключение удаленных терминалов. Протокол SNMP позволяет управлять конфигурацией оборудования в сети и собирать информацию о его состоянии. Приложения IP-телефонии и видеоконференц-связи используют протокол RTP для передачи информации, чувствительной к задержкам. Подключение к интеллектуальному графическому терминалу обеспечивает протокол X Window.

**1.5.1.2. Протокол IPv4.** Протокол IP (Internet Protocol) – дейтаграммный протокол сетевого уровня, обеспечивающий пакетную передачу информации от узла к узлу IP-сети без установления соединения между источником и приемником информации [4]. Протокол IP базируется на протоколе уровня звена данных, который обеспечивает передачу по физической среде. Модуль, реализующий протокол IP, определяет маршрут переноса данных по сети до точки назначения или до промежуточного маршрутизатора, где дейтаграмма извлекается из кадра локальной сети и направляется в канал, который соответствует выбранному маршруту. Дейтаграммы могут разбиваться на более мелкие фрагменты, или, наоборот, несколько дейтаграмм могут объединяться в одну на стыке разных сетей, если эти сети поддерживают передачу дейтаграмм разной длины. В терминалах обработка IP-дейтаграмм производится по одним и тем же правилам адресации, фрагментации и маршрутизации. Каждая дейтаграмма рассматривается как независимая протокольная единица, так как протокол IP не использует средств идентификации виртуальных каналов.

**1.5.1.3. Протокол IPv6.** В начале 90-х годов XX в. усложнение структуры, рост трафика в сети Internet, а также внедрение новых протоколов, обеспечивающих распределение мультимедийных данных (RSVP, MPLS), привели к необходимости модернизации протокола IP (изменение формата заголовка дейтаграмм и логики его обработки), в результате чего комитетом IETF в 1998 г. был разработан протокол IPv6 (стандарт RFC 2460 «Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification», определяющий общую архитектуру IPv6, стандарт RFC 2373 «IP Version 6 Addressing Architecture», определяющий отдельные компоненты данной технологии). Основными особенностями протокола являются: расширение до 128 бит и структурное изменение поля адреса (вместо двух уровней иерархии адреса – номер сети и номер узла – в протоколе IPv6 используются четыре уровня для поддержки технологии агрегации адресов (CIDR); использование трех ти-

пов адресов (unicast – уникальный идентификатор сетевого интерфейса терминала или маршрутизатора, идентичный уникальному адресу IPv4; multicast – групповой адрес, необходимый для многоадресной рассылки; anycast – групповой адрес, определяющий, как и multicast, группу интерфейсов, но пакет с таким адресом доставляется не всем членам группы, а какому-нибудь одному); изменение формата заголовков пакетов (новая схема организации вложенных заголовков, обеспечивающая разделение заголовка на основной, который содержит необходимый минимум информации, и дополнительные, которые могут отсутствовать); снижение нагрузки на маршрутизаторы (сложность маршрутизации и число маршрутизаторов в сети могут быть уменьшены за счет использования вложенных заголовков, переноса функций фрагментации в оконечные узлы и краевые маршрутизаторы, агрегации адресов, возможности использования маршрутизации, управляемой отправителем и MAC-адресов сетевого интерфейса).

**1.5.1.4. Протокол TCP.** Протокол TCP управления передачей информации (Transmission Control Protocol) обеспечивает надежность и достоверность обмена данными между терминалами сети. Он не приспособлен для передачи мультимедийной информации (обеспечивает достоверность путем повторной передачи потерянных пакетов и предусматривает механизмы управления скоростью передачи для уменьшения перегрузок сети), но используется для организации соединений в рамках IP-телефонии и видеоконференц-связи.

**1.5.1.5. Протокол UDP.** Протокол UDP передачи дейтаграмм (User Datagram Protocol) предназначен для обмена дейтаграммами, содержащими в том числе и мультимедийную информацию, между терминалами сети без гарантирования доставки данных и без установления соединения.

**1.5.1.6. Протокол RTP.** Протокол RTP транспортировки информации в реальном времени (Real-Time Transport Protocol), разработанный комитетом IETF, обеспечивает интерактивную передачу речевой и видеоинформации по сети с маршрутизацией пакетов. Характерные для IP-сетей временные задержки и разброс задержек пакетов (джиттер) могут серьезно исказить информацию, чувствительную к задержке, например, речь и видеоинформацию. Разброс задержек пакетов гораздо сильнее влияет на субъективную оценку качества передачи, чем абсолютное значение задержки. Сетевые механизмы обеспечения качества обслуживания ориентированы на уменьшение джиттера и задержек, но не могут исключить образование очередей в сетевых устройствах и, следовательно, полностью убрать джиттер и задержку. Протокол RTP позволяет компенсировать негативное влияние джиттера на качество речевой и видеоинформации. Протокол RTP предусматривает индикацию типа полезной нагрузки и порядкового номера пакета в потоке, а также применение временных меток. Главная особенность RTP – вычисление средней задержки блока принятых пакетов. Отправитель помечает каждый RTP-пакет временной меткой, получатель извлекает ее и вычисляет суммарную задержку. Разница в задержке разных пакетов позволяет определить джиттер и смягчить его влияние – все пакеты выдаются приложению с одинаковой задержкой. Протокол RTP не имеет меха-

низмов, гарантирующих своевременную доставку пакетов или другие параметры качества услуг. Обычно он базируется на протоколе UDP и использует его функции, но может работать и поверх других транспортных протоколов.

**1.5.1.7. Протокол RTCP.** Протокол RTCP (Real-Time Control Protocol) обеспечивает обратную связь приемника с отправителем информации для контроля доставки RTP-пакетов и качества передачи. Протокол RTCP передает сведения (как от приемника, так и от отправителя) о числе переданных и потерянных пакетов, значении джиттера, задержке и т. д. Эта информация может быть использована отправителем для изменения параметров передачи, например, для уменьшения коэффициента сжатия информации с целью улучшения качества ее передачи.

## 1.5.2. Протоколы ITU-T

**1.5.2.1. Стандарты мультимедийной связи ITU-T.** Термин «мультимедийная связь» обозначает связь двух или более пользователей, обменивающихся одновременно речью, видеoinформацией и данными. В рекомендациях ITU-T серии H описываются архитектура и функциональные элементы систем, алгоритмы кодирования речи и видеoinформации, организация передачи данных, протоколы сигнализации и управления информационными каналами (табл. 1.1).

Оборудование мультимедийной связи содержит оконечные устройства (терминалы) и сетевые устройства, которые предоставляют пользователям услуги (организация конференций, преобразование протоколов сигнализации и пользовательской информации, согласование скоростей передачи, переадресация вызовов и переключение связи).

Таблица 1.1

Рекомендации ITU-T по видеотелефонии и мультимедийной связи

Рекомендации	H.320	H.321	H.322	H.323 V1/V2/V3	H.324
Утверждены	1999	1998	1996	1996/1998/ 1999	1998
Сетевое окружение	ТфОП, N-ISDN	ТфОП, В-ISDN, АТМ, ЛВС	ЛВС, обеспечивающие гарантированное качество обслуживания (IsoEthernet)	Сети без гарантированного качества обслуживания (Internet, Token Ring, Ethernet)	ТфОП
Кодирование видео	H.261, H.263	H.261, H.263	H.261, H.263	H.261, H.263	H.261, H.263
Кодирование речи	G.711, G.722, G.728	G.711, G.722, G.728	G.711, G.722, G.728	G.711, G.722, G.728, G.723, G.729	G.723
Мультиплексирование	H.221	H.221	H.221	H.225.0	H.223
Управление каналами	H.230 H.242	H.242	H.230 H.242	H.245	H.245
Данные	T. 120	T.120	T.120	T.120	T.120
Интерфейсы и протоколы	1.400	AAL 1.363 АТМ 1.361 РНУ1.400	1.400 TCP/IP	TCP/IP	V.34

**1.5.2.2. Мультимедийная связь в IP-сетях.** Рекомендация H.323 является первой спецификацией систем мультимедийной связи для работы в сетях с коммутацией пакетов, не обеспечивающих гарантированное качество обслуживания. В рекомендациях, входящих в семейство H.323, определены протоколы, методы и сетевые элементы, необходимые для организации мультимедийной связи между двумя или более пользователями (рис. 1.3).

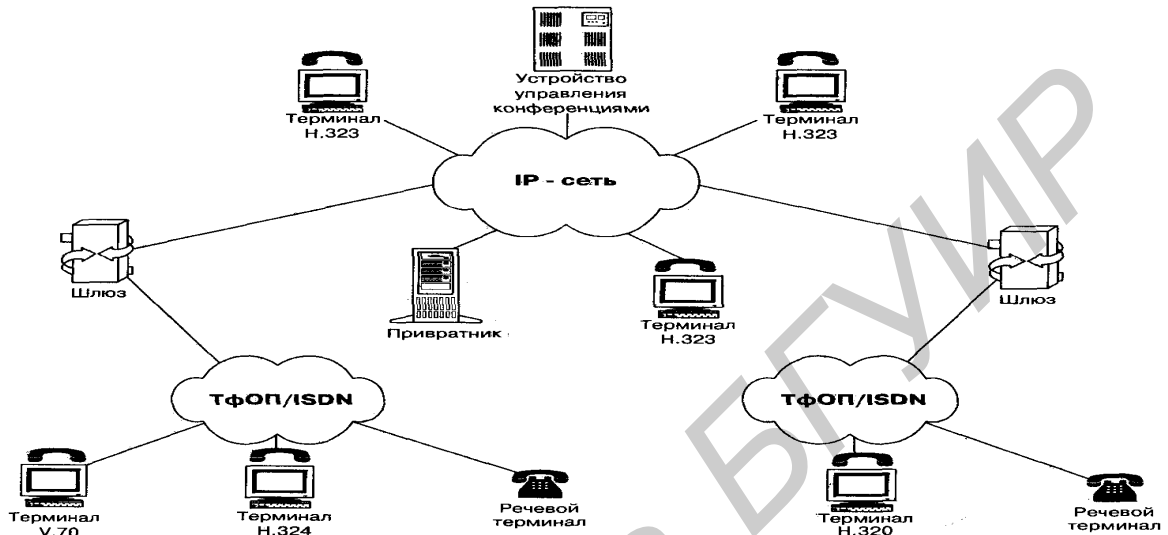


Рис. 1.3. Архитектура сети H.323

Наиболее востребованной из услуг, специфицированных в рекомендации H.323, оказалась услуга передачи речевой информации по сетям с маршрутизацией IP-пакетов. Сети, построенные на базе протоколов H.323, ориентированы на интеграцию с телефонными сетями и могут рассматриваться как сети ISDN, наложенные на сети передачи данных. Процедура установления соединения в таких сетях IP-телефонии базируется на рекомендации ITU-T Q.931 и практически идентична той же процедуре в сетях ISDN.

Этот вариант построения сетей IP-телефонии ориентирован на операторов местной телефонной связи и транспортных сетей, которые могут использовать сети с маршрутизацией пакетов IP для предоставления услуг междугородной и международной связи. Протокол RAS, входящий в семейство протоколов H.323, позволяет операторам контролировать сетевые ресурсы и обеспечивает поддержку аутентификации пользователей и начисления платы за предоставленные услуги. Основными устройствами сети H.323 являются: терминал, шлюз, привратник и устройство управления конференциями.

**1.5.2.3. Семейство протоколов H.323.** Семейство протоколов H.323 включает в себя протокол RAS взаимодействия оконечного оборудования с привратником, протокол H.225 управления соединениями и протокол H.245 управления логическими каналами. Эти три протокола используются совместно с Internet-протоколами TCP/IP, UDP, RTP и RTCP, а также протоколом Q.931 (рис. 1.4). Протокол TCP используется для переноса сигнальных сообщений H.225 и управляющих сообщений H.245. Сиг-

нальные сообщения RAS переносятся протоколом UDP. Для переноса речевой и видеоинформации используется протокол RTP. Контроль переноса пользовательской информации производится протоколом RTCP.

**1.5.3. Протокол SIP инициирования сеансов связи.** Протокол SIP (Session Initiation Protocol) – протокол прикладного уровня, предназначен для организации, модификации и завершения сеансов связи (мультимедийных конференций, телефонных соединений и распределения медиаданных). Разработан группой MMUSIC (Multiparty Multimedia Session Control) комитета IETF (Internet Engineering Task Force). Спецификации протокола представлены в документе RFC 2543.

Гарантированная доставка информации по протоколу TCP		Негарантированная доставка информации по протоколу UDP		
H.245	H.225		Потоки речи и видеоинформации	
	Управление соединением (Q.931)	RAS	RTCP	RTP
TCP		UDP		
IP				
Канальный уровень				
Физический уровень				

Рис. 1.4. Семейство протоколов H.323

**1.5.3.1. Принципы протокола SIP.** В основу протокола положены следующие принципы:

- персональная мобильность пользователей (пользователю присваивается уникальный идентификатор, а сеть предоставляет ему услуги связи вне зависимости от его местонахождения);

- масштабируемость сети (серверная структура сети, построенной на базе протокола SIP, позволяет увеличивать количество элементов сети при ее расширении);

- расширяемость протокола (возможность дополнения протокола новыми функциями при введении новых услуг и его адаптации к работе с различными приложениями);

- интеграция в стек протоколов Internet, разработанных IETF (протокол SIP является самостоятельной частью глобальной архитектуры мультимедиа, разработанной комитетом IETF, которая включает также протокол RSVP резервирования ресурсов (Resource Reservation Protocol), транспортный протокол RTP реального времени (Real-Time Transport Protocol), протокол RTSP передачи потоковой информации в реальном времени (Real-Time Streaming Protocol), протокол SDP описания параметров связи (Session Description Protocol));

- взаимодействие с другими протоколами сигнализации (может использоваться совместно с протоколом H.323 и с системами сигнализации DSS1 и OKC7 за счет возможности переноса в сигнальных сообщениях SIP не только специфического SIP-адреса, но и телефонного номера формата E.164 или другого формата, а также с протоколами MGCP, H.323 и ISUP/IP для синхрониза-

ции работы устройств управления шлюзами, обеспечивая доступ пользователей сетей IP-телефонии к услугам интеллектуальных сетей).

**1.5.3.2. Структура SIP-сети.** Сети на базе протокола SIP строятся из терминалов, прокси-серверов и серверов переадресации (рис. 1.5).

SIP-серверы являются отдельными функциональными сетевыми элементами. В качестве терминалов могут использоваться персональный компьютер со звуковой платой и программным обеспечением SIP-клиента или SIP-телефон. Пользователь передает запросы к SIP-серверу, который обрабатывает их и обеспечивает установление соединений. Путем программирования сервер может быть настроен на разные алгоритмы работы, позволяющие учитывать категорию и срочность вызовов, а также вести начисление платы за разговоры.

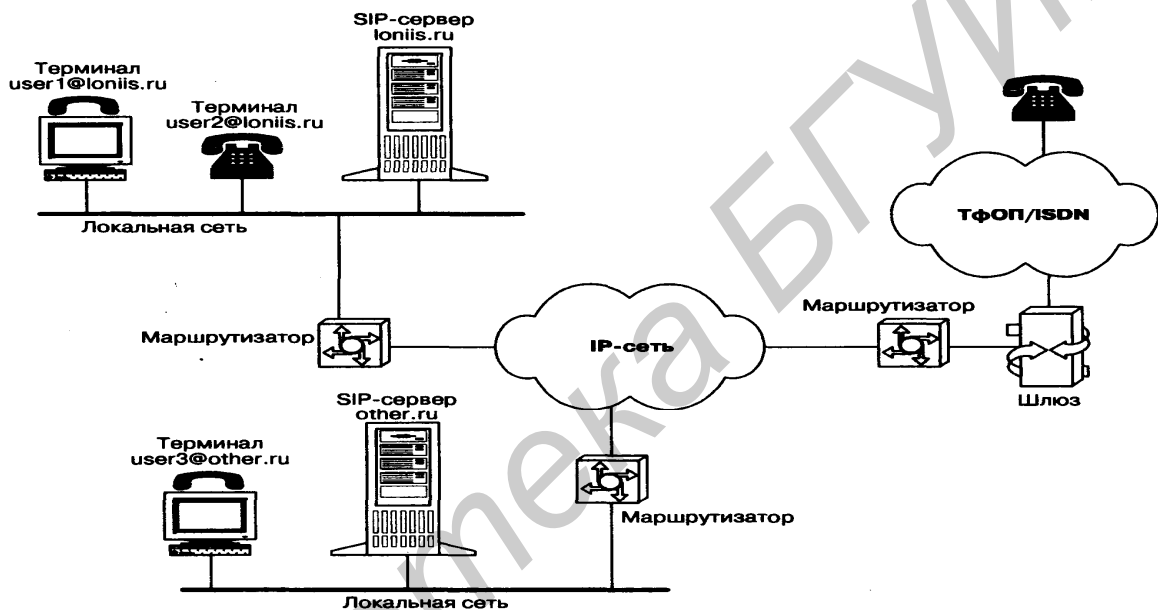


Рис. 1.5. Структура SIP-сети

**1.5.3.3. Алгоритмы установления соединения.** Протоколом SIP предусмотрены три основных сценария установления соединения: с участием прокси-сервера, с участием сервера переадресации и непосредственно между пользователями. Сценарии отличаются реализациями процедур поиска и приглашения вызываемого пользователя. В первом случае эти функции возлагает на себя прокси-сервер, а вызывающему пользователю необходимо знать только постоянный SIP-адрес вызываемого пользователя. Во втором случае вызывающая сторона самостоятельно устанавливает соединение, а сервер переадресации реализует преобразование постоянного адреса, вызываемого абонента в его текущий адрес. В третьем случае вызывающему пользователю для установления соединения необходимо знать текущий адрес вызываемого пользователя.

**1.5.4. Протокол MGCP управления шлюзами.** Протокол MGCP управления шлюзами (Media Gateway Control Protocol) разработан рабочей группой MEGACO комитета IETF. Протокол опирается на сетевую архитектуру (рис. 1.6), включающую



транспортный шлюз (Media Gateway, выполняет функции преобразования и кодирования речевой информации, а также обработки пакетов RTP/UDP/IP на стыке между сетью с коммутацией каналов и IP-сетью); устройство управления шлюзом (Call Agent); шлюз сигнализации (Signaling Gateway обеспечивает обмен сигнальной информацией на стыке между сетью с коммутацией каналов и IP-сетью).

Интеллект функционально распределенного шлюза размещается в устройстве управления, функции которого, в свою очередь, могут быть распределены между несколькими компьютерными платформами.

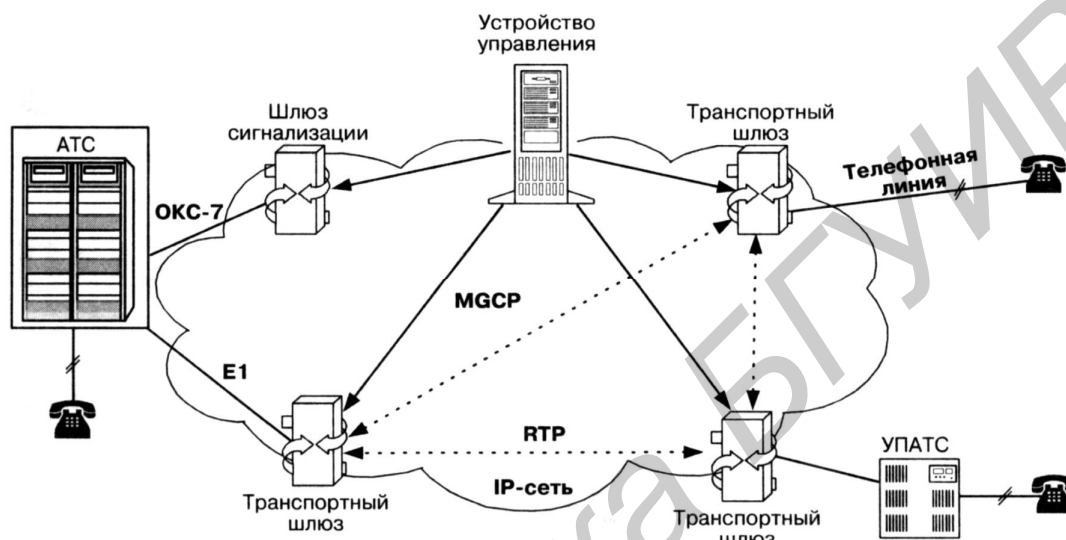


Рис. 1.6. Архитектура MGCP-сети

Шлюз сигнализации выполняет функции STP – транзитного пункта системы сигнализации по общему каналу ОКС7. Транспортные шлюзы выполняют только функции преобразования речевой информации. Одно устройство управления обслуживает одновременно несколько шлюзов. В сети может присутствовать несколько устройств управления. Для синхронизации работы устройств управления могут использоваться протоколы H.323, SIP или ISUP/IP. Перенос сообщений протокола MGCP обеспечивает протокол UDP.

**1.5.5. Протокол MEGACO/H.248 управления шлюзами.** Рабочая группа MEGACO комитета IETF, продолжая исследования, направленные на усовершенствование протокола управления шлюзами, создала более функциональный по сравнению с протоколом MGCP протокол MEGACO. В результате адаптации данного протокола под сетевое окружение H.323 ITU-T разработал рекомендации H.248. Основными особенностями протокола MEGACO/ H.248 являются возможность использования для переноса сигнальных сообщений протоколов UDP, TCP, SCTP или ATM; возможность кодирования сообщений двумя способами (текстовым (IETF) при описании сеанса связи с помощью протокола SDP или бинарным (ITU-T) при описании сеанса связи с помощью специального инструмента – Tag-length-value (TLV)).

## **1.6. Обеспечение качества обслуживания в IP-сетях**

**1.6.1. Понятие качества обслуживания.** Для приложений IP-телефонии и видеоконференц-связи необходимо получение от сети гарантий, что при перегрузке пакеты с мультимедийной информацией, чувствительной к задержкам, не будут простаивать в очередях и получают более высокий приоритет, чем пакеты с информацией, не чувствительной к задержкам. То есть необходимо гарантировать доставку такой информации, как речь, аудио и видео в реальном времени с минимально возможной задержкой. Для этой цели в сети реализуются механизмы, гарантирующие качество обслуживания QoS (Quality of Service).

**1.6.2. Трафик реального времени в IP-сетях.** Для мультимедийных данных, передаваемых по сети в интерактивном режиме, максимальная задержка не должна превышать нескольких десятых долей секунды с учетом времени обработки информации в терминалах. Разброс задержек также должен быть минимизирован. Необходимо также учитывать, что при сжатии мультимедийная информация становится более чувствительной к ошибкам, возникающим при передаче, и их нельзя исправить повторной передачей из-за необходимости передачи в реальном времени.

Обмен речевой информацией – это интерактивный процесс, не допускающий больших задержек (в соответствии с рекомендацией ITU-T G.114 задержка речевого сигнала на 150 мс приемлема, а на 400 мс – недопустима). Общая задержка речевой информации включает задержку при кодировании и декодировании речи в шлюзах или терминалах и задержку, вносимую самой сетью. Уменьшить общую задержку можно за счет оптимизации сетевой инфраструктуры и минимизации времени обработки речи шлюзом.

Для уменьшения задержки в сети необходимо сокращать количество транзитных коммутаторов и маршрутизаторов и соединять их между собой высокоскоростными каналами. Для сглаживания джиттера используются механизмы резервирования сетевых ресурсов, интегрированное и дифференцированное обслуживание, специальные алгоритмы обслуживания очередей, а также сетевые технологии ATM и MPLS.

**1.6.3. Дифференцированное обслуживание Diff-Serv.** Для обеспечения гарантированного качества обслуживания комитет IETF разработал модель дифференцированного обслуживания разнотипного трафика – Diff-Serv. В соответствии с этой моделью байт ToS (Type of Service) в заголовке IP-пакета получил название DS (Differentiated Services), а шесть его бит отведены под код Diff-Serv. Каждому значению этого кода соответствует свой класс PHB (Per-Hop Behavior Forwarding Class), определяющий уровень обслуживания в каждом из сетевых узлов. Пакеты каждого класса должны обрабатываться в соответствии с определенными для этого класса требованиями к качеству обслуживания. Модель Diff-Serv описывает архитектуру сети как совокупность пограничных участков и ядра (рис. 1.7).

Поступающий в сеть трафик классифицируется и нормализуется пограничными маршрутизаторами. Нормализация трафика предусматривает измере-

ние его параметров, проверку соответствия заданным правилам предоставления услуг, профилирование (при этом пакеты, не укладывающиеся в рамки установленных правил, могут быть отсеяны) и другие операции. В ядре магистральных маршрутизаторов обрабатывают трафик в соответствии с классом PHB, код которого указан в поле DS.

Модель Diff-Serv позволяет разделить весь трафик на относительно небольшое число классов, что упрощает его обработку в маршрутизаторах. Для Diff-Serv определены два класса трафика: срочной пересылки пакетов (Expedited Forwarding PHB Group) и гарантированной пересылки пакетов (Assured Forwarding PHB Group). Механизм обеспечения QoS на уровне сетевого устройства, применяемый в Diff-Serv, включает в себя четыре операции. Сначала пакеты классифицируются на основании их заголовков. Затем они маркируются в соответствии с произведенной классификацией (в поле Diff-Serv). В зависимости от маркировки выбирается алгоритм передачи (при необходимости – с выборочным удалением пакетов), позволяющий избежать заторов в сети. Заключительная операция состоит в организации очередей с учетом приоритетов.

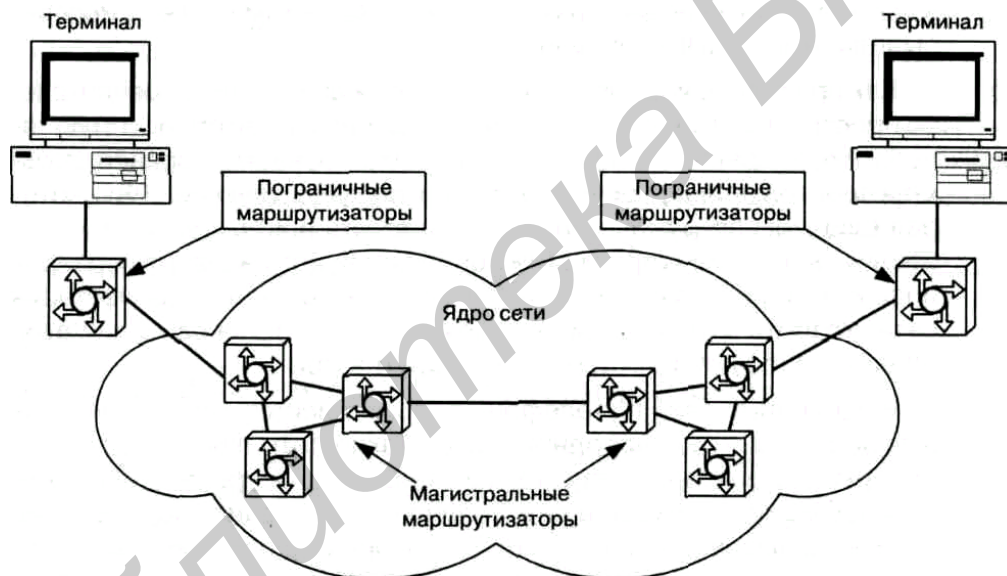


Рис.1.7. Модель Diff-Serv

Модель Diff-Serv не требует организации предварительного соединения и в резервирования ресурсов. Благодаря использованию небольшого количества классов трафик распределяется по общим очередям, что снижает требования к производительности сетевого оборудования.

**1.6.4. Интегрированное обслуживание IntServ.** Данный подход разработан комитетом IETF для обеспечения качества обслуживания в IP-сетях и основан на использовании двух классов обслуживания для трафика реального времени: контролируемой загрузки сети и гарантированного обслуживания. Трафику класса гарантированного обслуживания предоставляется определенная полоса пропускания, а также гарантируются задержка в определенных пре-

делах и отсутствие потерь при переполнении очередей. Класс контролируемой загрузки сети идентичен традиционному подходу «best effort», но уровень QoS для уже обслуживаемого потока данных остается неизменным при увеличении нагрузки в сети. Основными компонентами модели IntServ являются система резервирования ресурсов, система контроля доступа, классификатор и диспетчер очередей (рис. 1.8).

**1.6.5. Резервирование сетевых ресурсов. Протокол RSVP.** Для обеспечения необходимого качества обслуживания трафика речевых и видеоприложений, необходим механизм, позволяющий приложениям информировать сеть о требованиях к параметрам передачи пакетов. На основе этой информации сеть может резервировать ресурсы для того, чтобы гарантировать выполнение требований к качеству или отказать приложению, вынуждая его либо снизить требования, либо отложить сеанс связи. В роли такого механизма выступает протокол RSVP резервирования ресурсов (Resource Reservation Protocol). RSVP – это протокол сигнализации, обеспечивающий резервирование ресурсов для предоставления в IP-сетях услуг эмуляции выделенных каналов. Протокол позволяет системам запрашивать, например: гарантированную пропускную способность канала, предсказуемую задержку, максимальный уровень потерь. Необходимым условием резервирования сетевых ресурсов является их наличие. В основе протокола RSVP лежат три компонента: сеанс связи (идентифицируется адресом получателя данных); спецификация потока (определяет требуемое качество обслуживания и используется узлом сети для установления соответствующего режима работы диспетчера очередей); спецификация фильтра (определяет тип трафика, для обслуживания которого запрашивается ресурс).

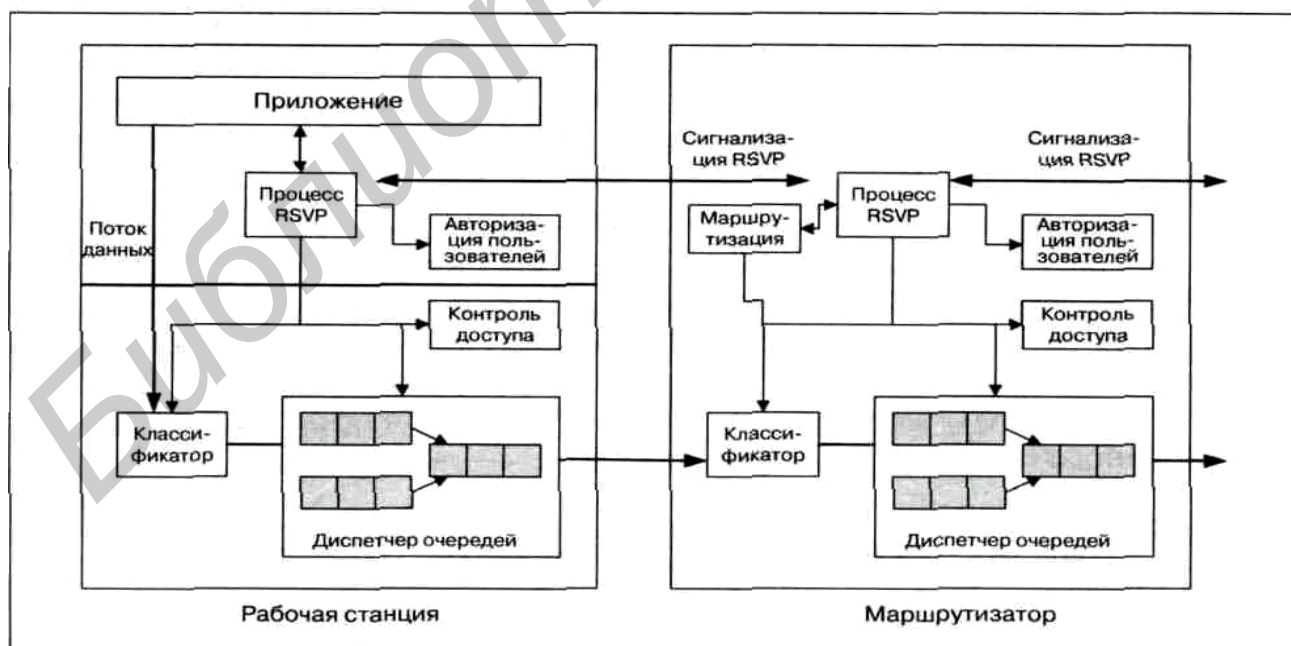


Рис. 1.8. Модель IntServ

**1.6.6. Обслуживание очередей.** Алгоритмы обслуживания очередей позволяют предоставлять разный уровень QoS трафику разных классов. Обычно используется несколько очередей, в каждой из которых обрабатываются пакеты с определенным приоритетом. Необходимо, чтобы высокоприоритетный трафик обрабатывался с минимальной задержкой, но при этом не занимал всю полосу пропускания, и чтобы трафик каждого из остальных типов обрабатывался в соответствии с его приоритетом. Обслуживание очередей включает в себя алгоритмы организации очереди и обработки очередей.

## 2. ИЗМЕРЕНИЕ ТРАФИКА В IP-СЕТЯХ

### 2.1. Общие принципы измерения трафика

Измерение трафика IP-сети в простейшем случае сводится к подсчету числа пакетов, передаваемых между двумя сетевыми портами за некоторый интервал времени. Сетевые порты могут принадлежать IP-телефонам, рабочим станциям, коммутаторам, маршрутизаторам, шлюзам IP-телефонии и т. д. В качестве измерителя используется специальное оборудование или рабочая станция с соответствующим программным обеспечением. Измерителю должны быть известны IP-адреса отправителя и получателя пакетов, которые используются для фильтрации пакетов, передаваемых в сети.

На рис. 2.1 представлена простейшая схема измерения трафика IP-телефонии, включающая три рабочие станции, две из которых (А и Б) оснащены микротелефонными гарнитурами (МТФГ) и программным обеспечением IP-телефонии. На третьей рабочей станции установлено программное обеспечение измерения трафика. Рабочие станции объединены в сеть при помощи коммутатора. Любая из рабочих станций А или Б, а также обе сразу могут быть заменены IP-телефонами. Для обеспечения видеотелефонии или видеоконференц-связи на рабочих станциях А и Б должны быть установлены Web-камеры.

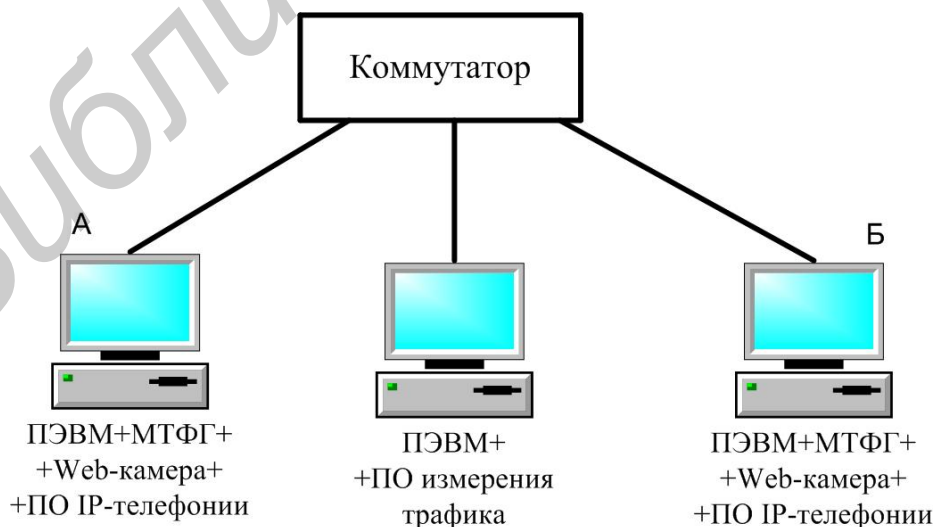


Рис. 2.1. Схема измерения трафика в IP-сети

## 2.2. Программные средства измерения трафика

Достаточно распространенным и эффективным программным средством измерения трафика IP-сетей является программа Wireshark анализа сетевых протоколов.

После запуска программы на экран выводится главное окно с горизонтальным главным меню в верхней части (рис. 2.2).

При выборе пункта View главного меню могут быть определены интерфейс главного окна и параметры временной шкалы (Time Display Format) (рис. 2.3).

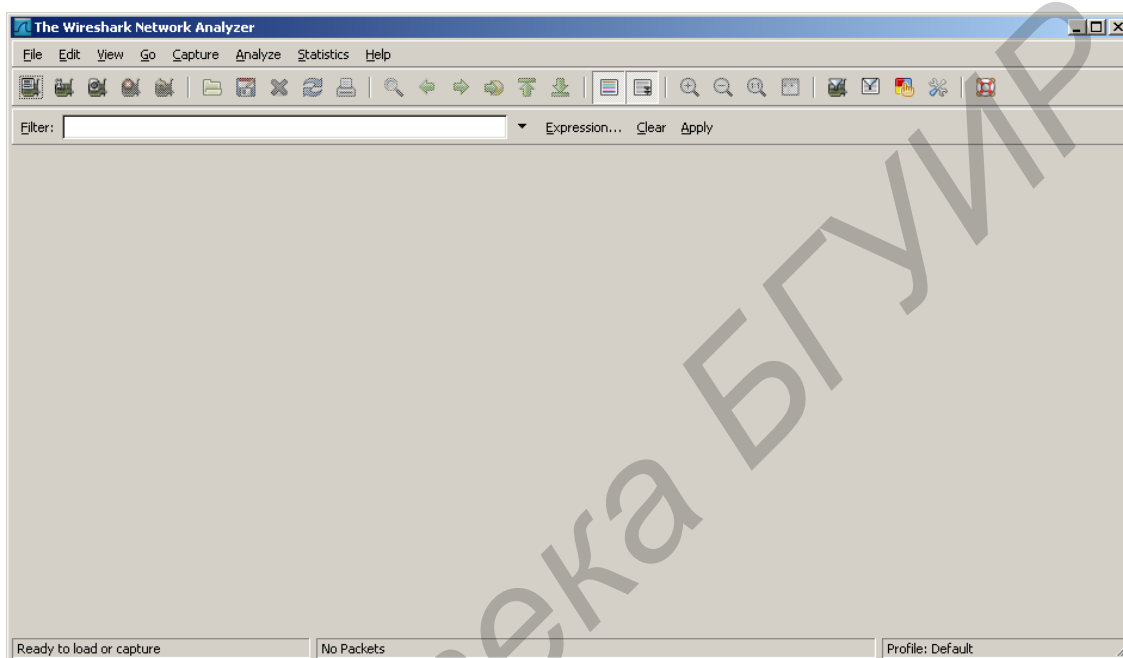


Рис. 2.2. Главное окно программы Wireshark

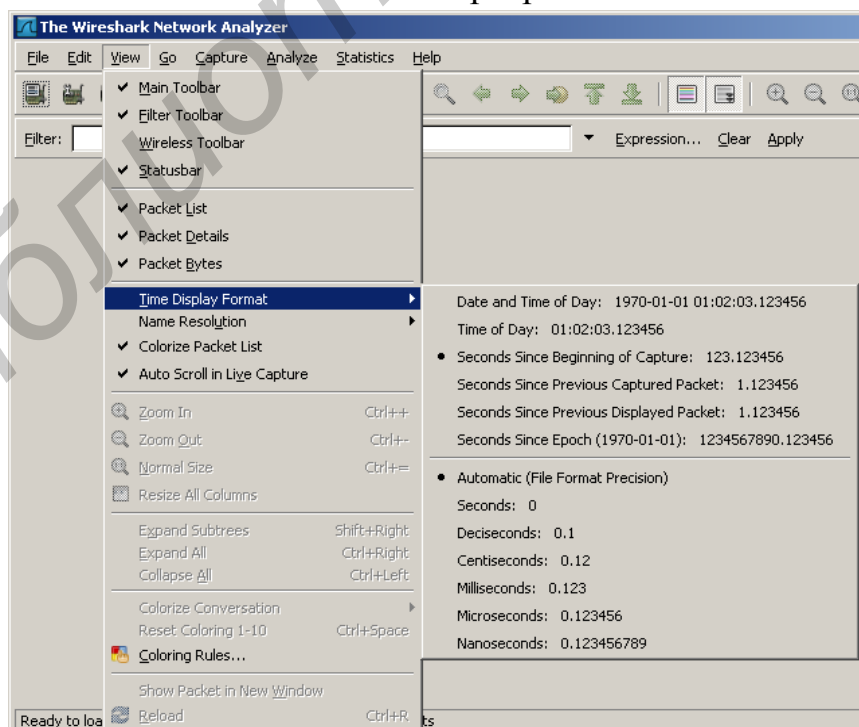


Рис. 2.3. Всплывающее меню View



Для управления режимами захвата пакетов необходимо выбрать пункт Capture главного меню (рис. 2.4).

Для просмотра доступных сетевых интерфейсов и их состояния необходимо выбрать пункт Interfaces всплывающего меню Capture, в результате чего на экран выводится окно Capture Interfaces (рис. 2.5).

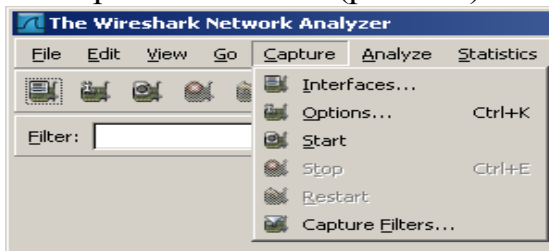


Рис. 2.4. Всплывающее меню Capture

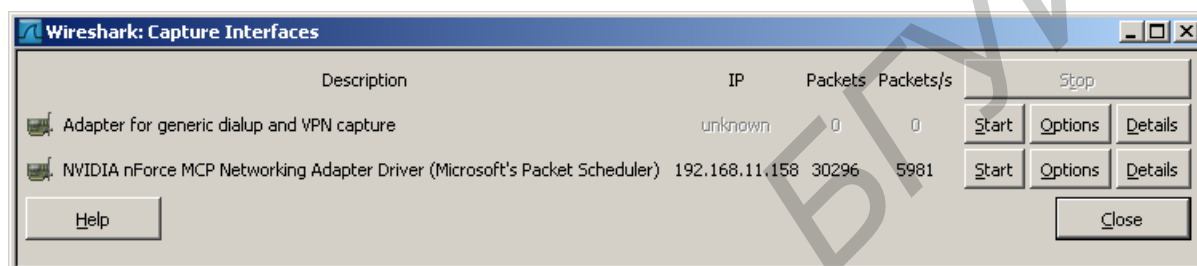


Рис. 2.5. Окно Capture Interfaces

Для выбора интерфейса необходимо выбрать пункт Options всплывающего меню Capture, в результате чего на экран выводится окно Capture Options (рис. 2.6).

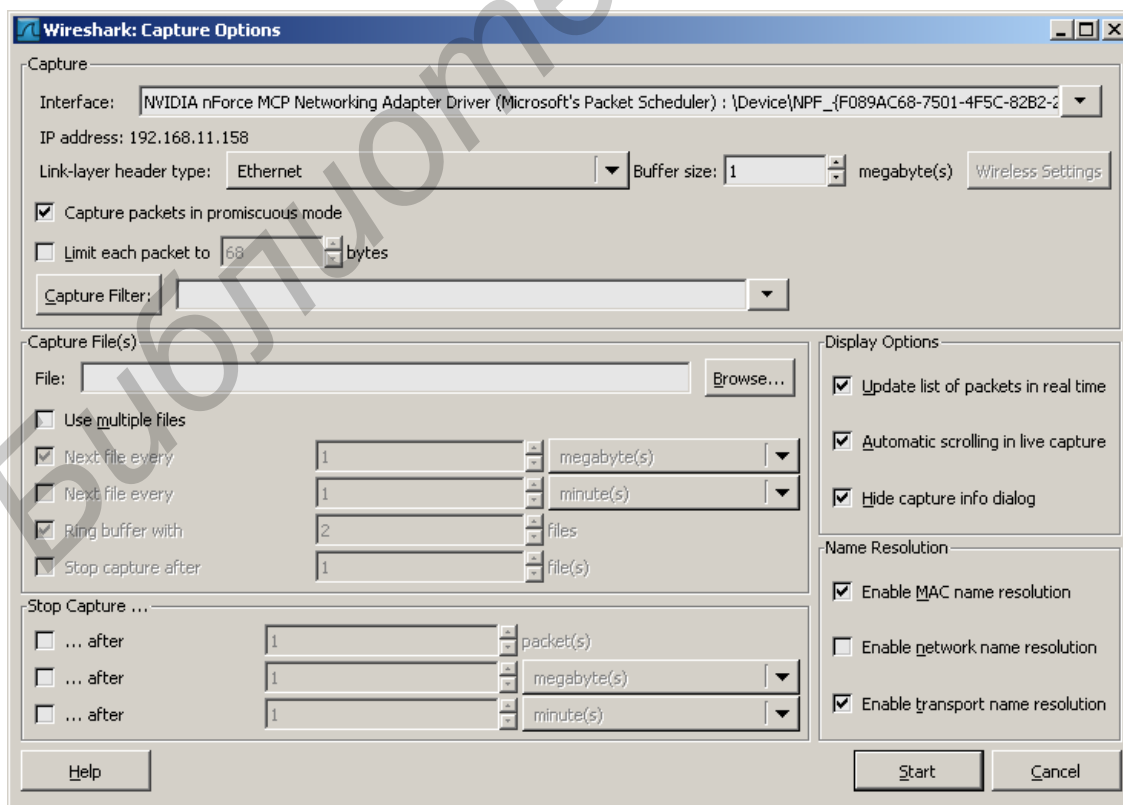


Рис. 2.6. Окно Capture Options

В этом окне могут быть заданы: размер буфера захвата (Buffer Size); путь записи файла с захваченными пакетами (Capture File(s)); условия прекращения захвата пакетов (Stop Capture); параметры отображения процесса захвата в основном окне (Display Options); формат имен (Name Resolution); параметры фильтрации (Capture Filter) и возможность захвата пакетов без фильтрации (Capture Packets In Promiscuous Mode).

Для определения параметров фильтрации необходимо выбрать пункт Capture Filter всплывающего меню Capture, в результате чего на экран выводится окно Capture Filter (рис. 2.7).

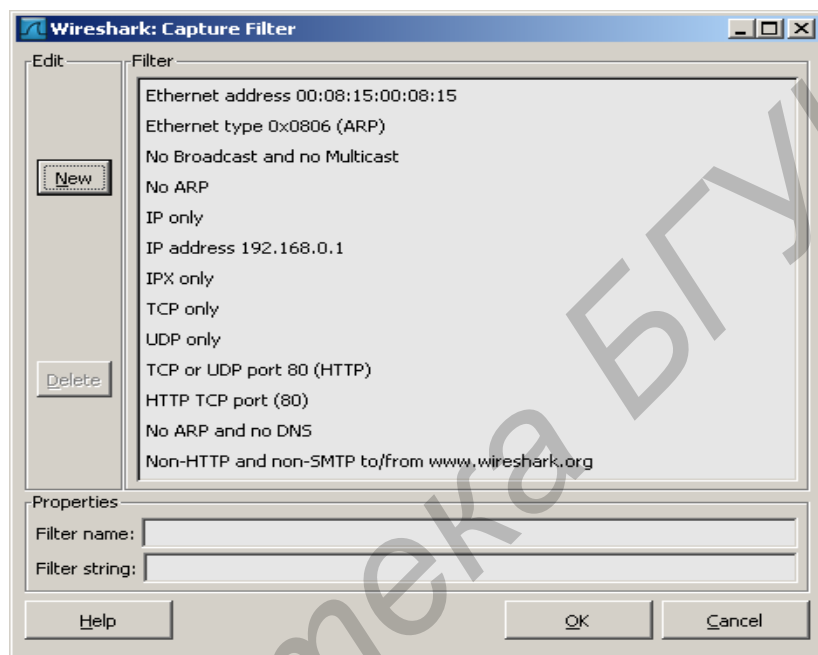


Рис. 2.7. Окно Capture Filter

По умолчанию осуществляется захват всех пакетов. Для фильтрации пакетов необходимо задать соответствующие условия в результате выбора одного из примитивов. Примитив состоит из идентификатора (числа или имени) перед которым идет оператор одного из трех типов:

- направление следования пакета относительно идентификатора (задается значениями src, dst, src or dst и src and dst, где src означает источник (Source), а dst – получатель (Destination) пакетов);
- тип идентификатора или то, чем он является (к допустимым значениям относятся host (рабочая станция), net (сеть), port (порт) и portrange (диапазон портов));
- протокол передачи пакетов (определяется значениями ether, fddi, tr, wlan, ip, ipv6, ipx, arp, esis, isis, icmp, tcp и udp).

Существуют примитивы, за которыми не следует шаблона, например, gateway, broadcast, less и greater. Примитивы позволяют определить сложные условия в результате их объединения при помощи операторов and, or и not.

Для начала процесса захвата необходимо выбрать пункт Start всплывающего меню Capture. Процесс захвата отображается в основном окне программы (рис. 2.8).



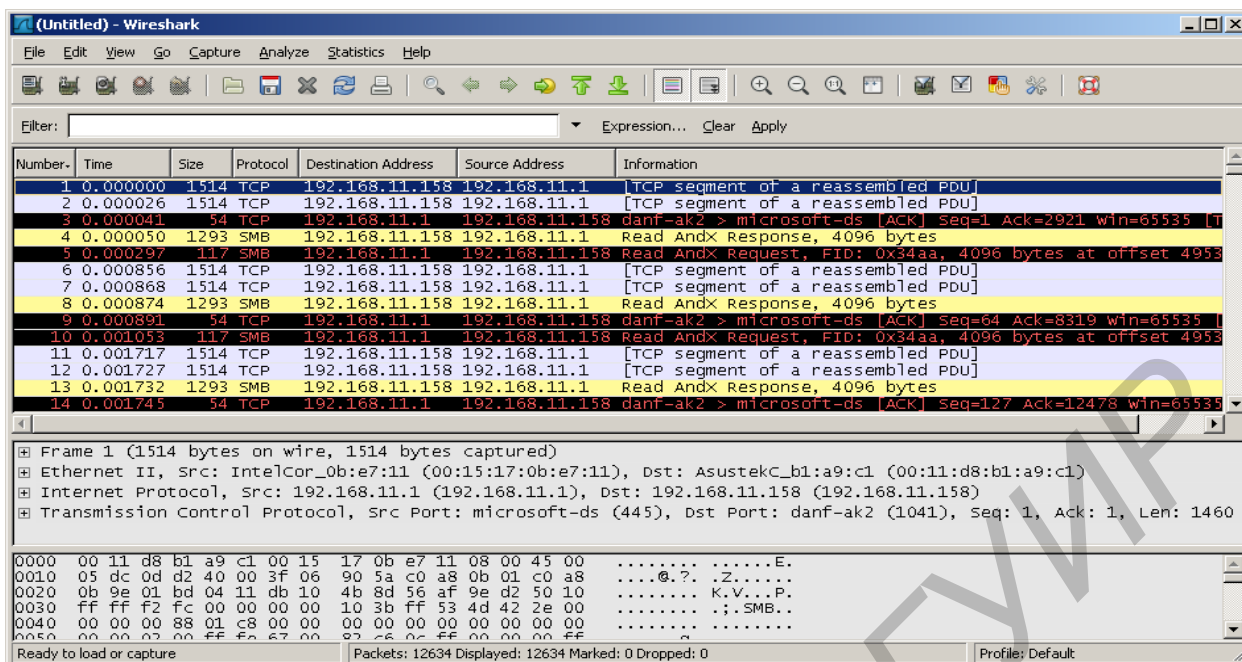


Рис. 2.8. Процесс захвата пакетов в основном окне программы

В процессе захвата основное окно разделяется на три информационных поля. В первом информационном поле содержится список всех захваченных пакетов. Для каждого из пакетов в виде таблицы отображается следующая информация: номер пакета (Number); время поступления пакета (Time); размер пакета (Size); протокол, по которому пересылался пакет (Protocol); IP-адрес получателя (Destination Address); IP-адрес отправителя (Source Address); дополнительная информация о пакете (Information). Убрать или добавить столбцы таблицы можно с помощью окна Preferences, вызываемом в результате последовательного выбора пункта Edit главного меню (рис. 2.9) и пункта Preferences всплывающего меню Edit (рис. 2.10).

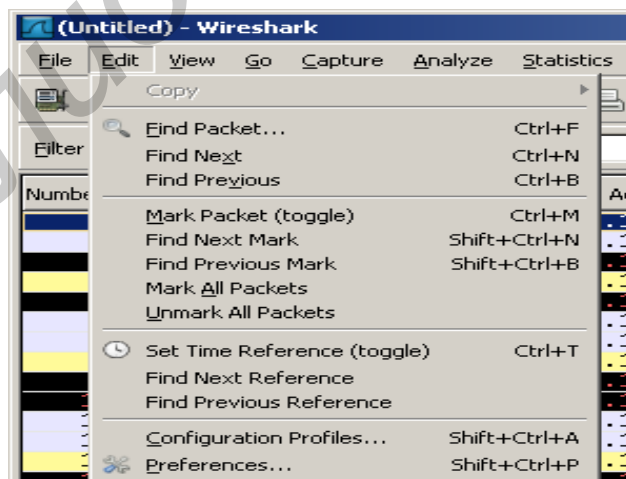


Рис. 2.9. Всплывающее меню Edit

Во втором информационном поле выводится детальная информация о пакете согласно сетевой модели OSI. Третье информационное поле отображает пакет в шестнадцатеричном виде.

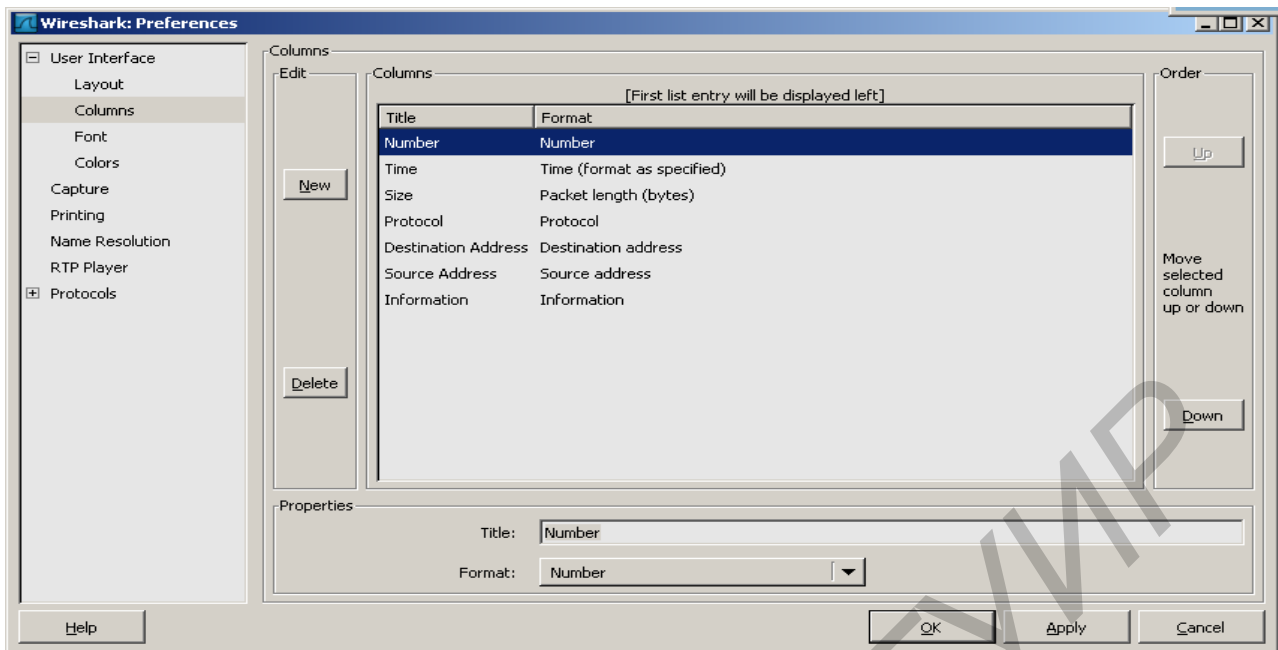


Рис. 2.10. Окно Preferences

Для фильтрации уже захваченных пакетов необходимо выбрать опцию Filter главного окна (рис. 2.11).

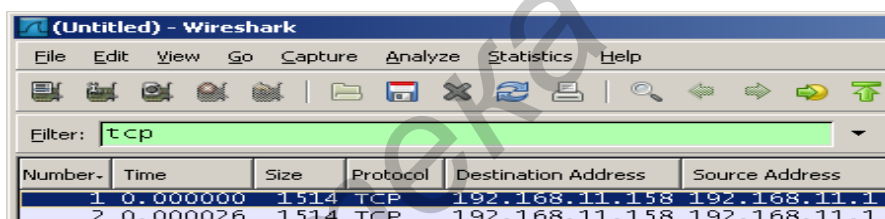


Рис. 2.11. Фильтрация захваченных пакетов с помощью опции Filter

Для более детального анализа трафика необходимо выбрать пункт Analyze главного меню (рис. 2.12).



Рис. 2.12. Всплывающее меню Analyze

Для статистической обработки трафика необходимо выбрать пункт Statistics главного меню (рис. 2.13).

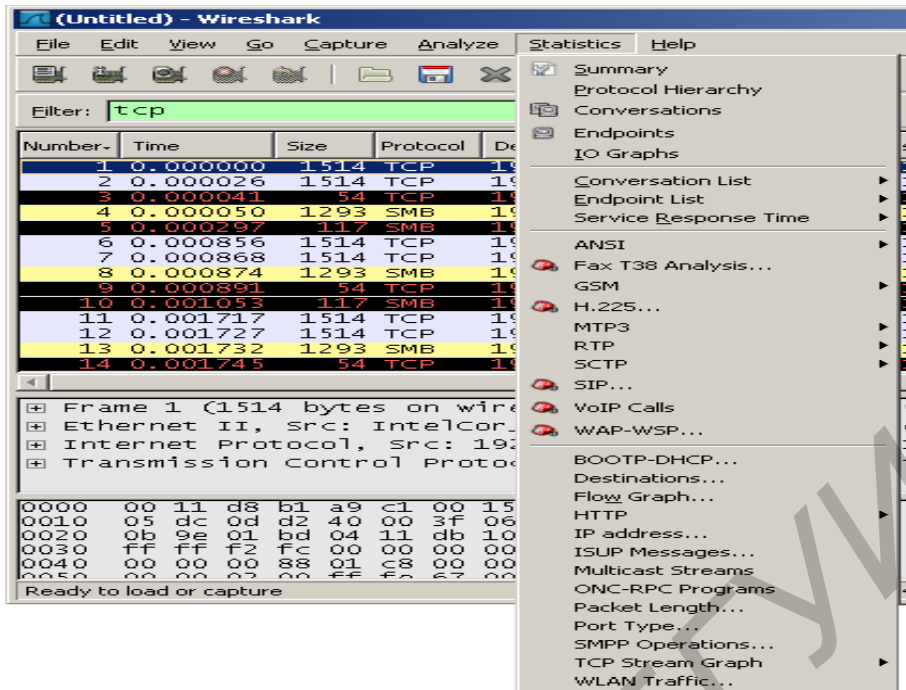


Рис. 2.13. Всплывающее меню Statistics

Для вывода общей информации о захваченных пакетах необходимо выбрать пункт Summary всплывающего меню Statistics, в результате чего на экран выводится окно Summary (рис. 2.14).

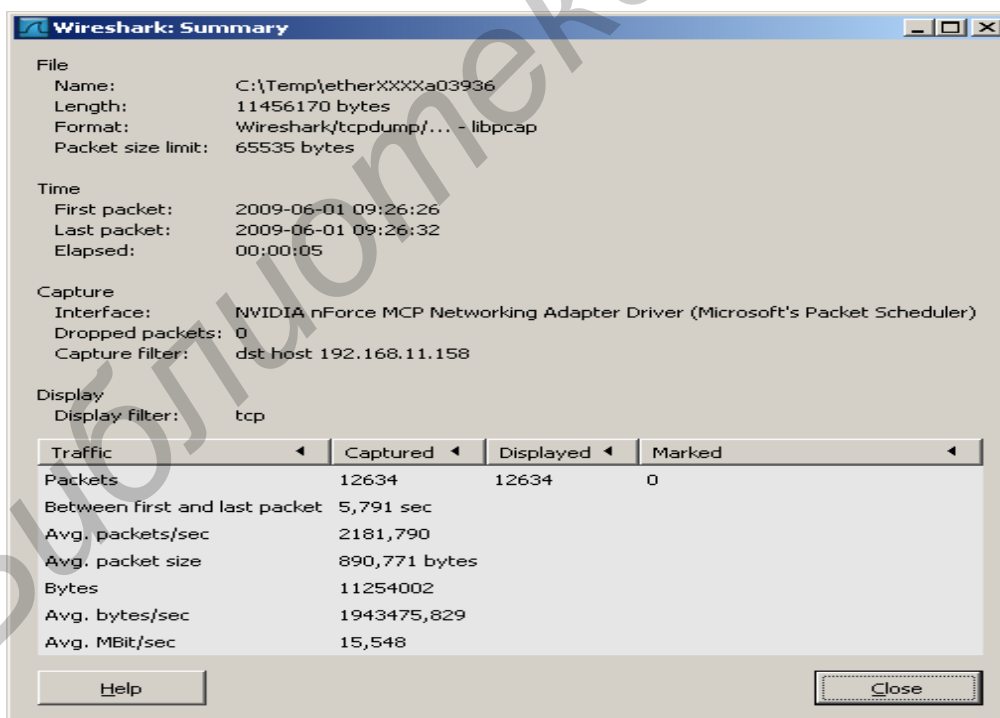


Рис. 2.14. Окно Summary

Для отображения статистики в виде графика необходимо выбрать пункт IO Graphs всплывающего меню Statistics, в результате чего на экран выводится окно IO Graphs с кривой, отображающей захваченный и отфильтрованный трафик (рис. 2.15).

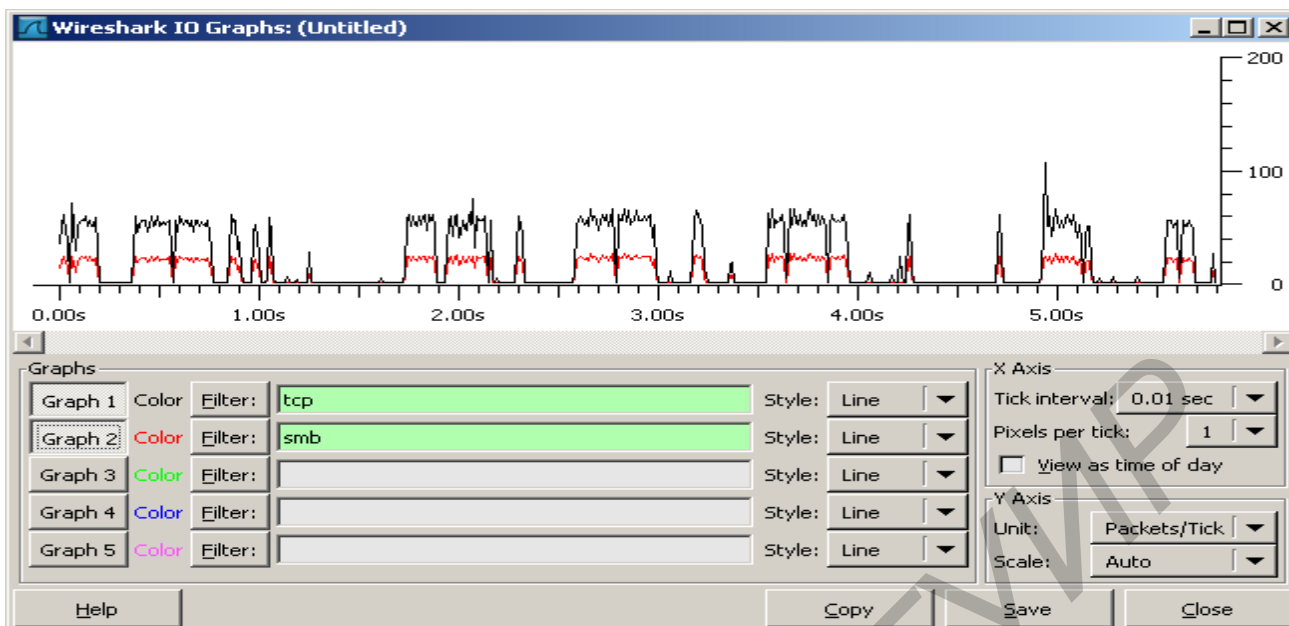


Рис. 2.15. Окно IO Graphs

Для работы с файлами необходимо выбрать пункт File главного меню (рис. 2.16).

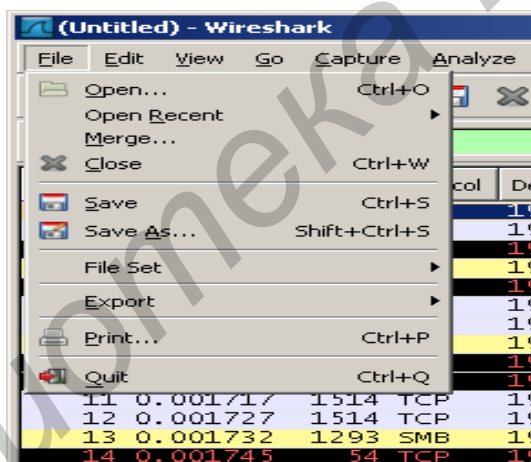


Рис. 2.16. Всплывающее меню File

Для записи захваченного трафика в файл необходимо выбрать пункт Save As всплывающего меню File, в результате чего на экран выводится окно Save file as (рис. 2.17). В файл могут быть записаны как все, так и выбранные по определенным критериям пакеты.

В файл могут быть экспортированы основные данные о захваченных пакетах. Это необходимо для последующего анализа захваченного трафика. Для записи данных о захваченных пакетах необходимо выбрать пункт Export всплывающего меню File, в результате чего на экран выводится окно Export File (рис. 2.18). В файл может быть экспортирована информация как обо всех, так и о выбранных по определенным критериям пакетах.

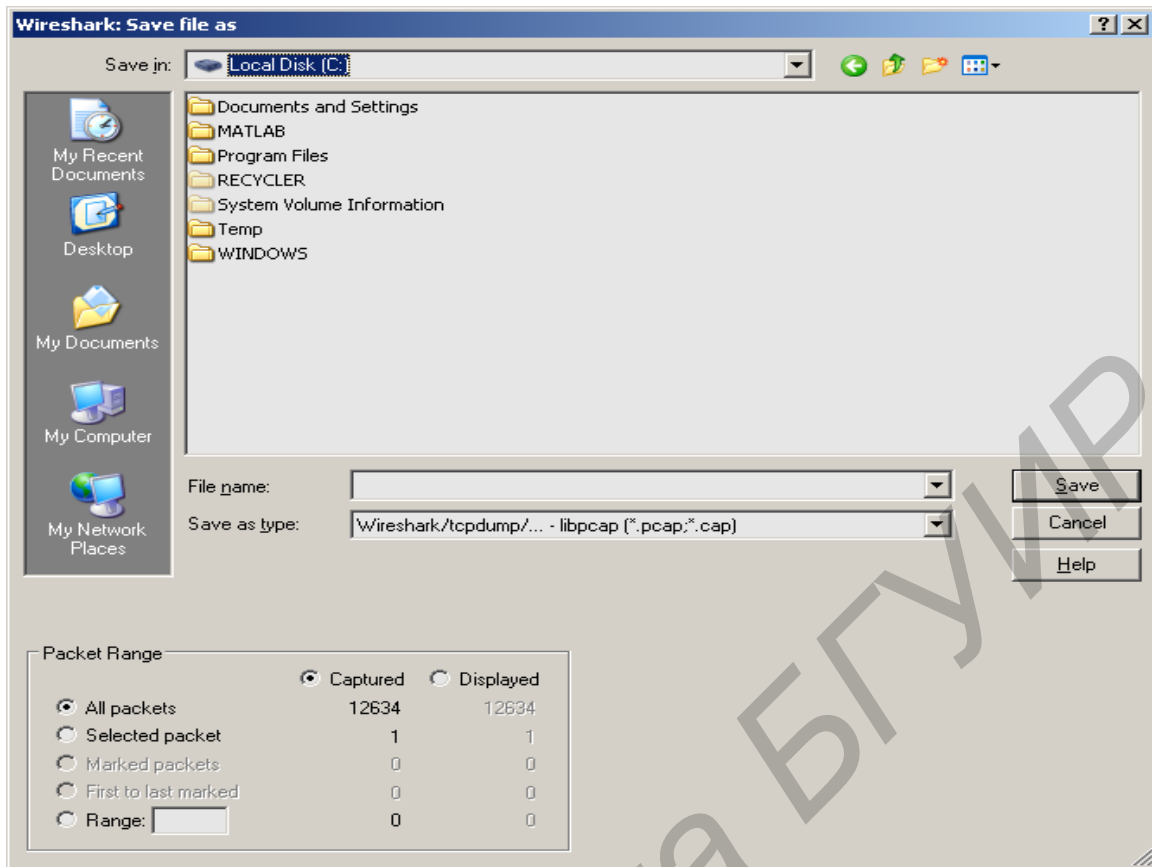


Рис. 2.17. Окно Save file as

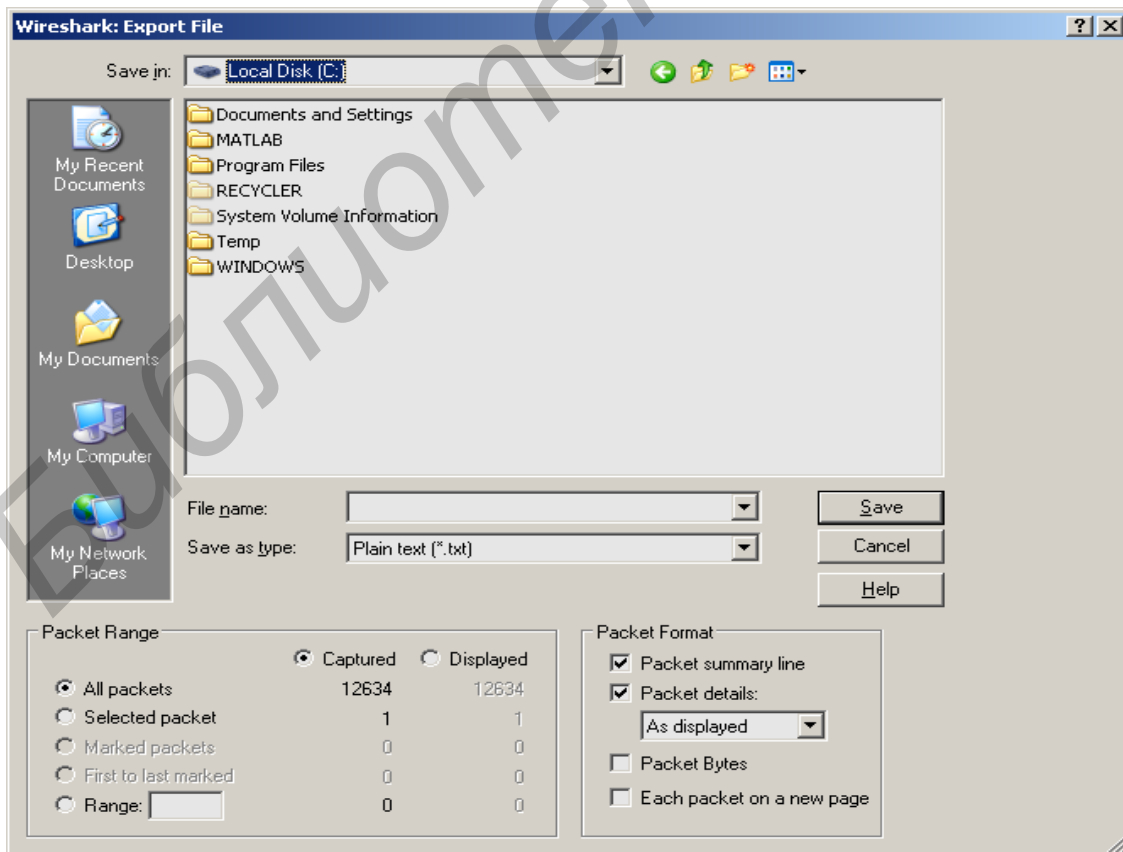


Рис. 2.18. Окно Export File

Для открытия сохраненного ранее файла с захваченными пакетами необходимо выбрать пункт Open всплывающего меню File, в результате чего на экран выводится окно Open Capture File (рис. 2.19).

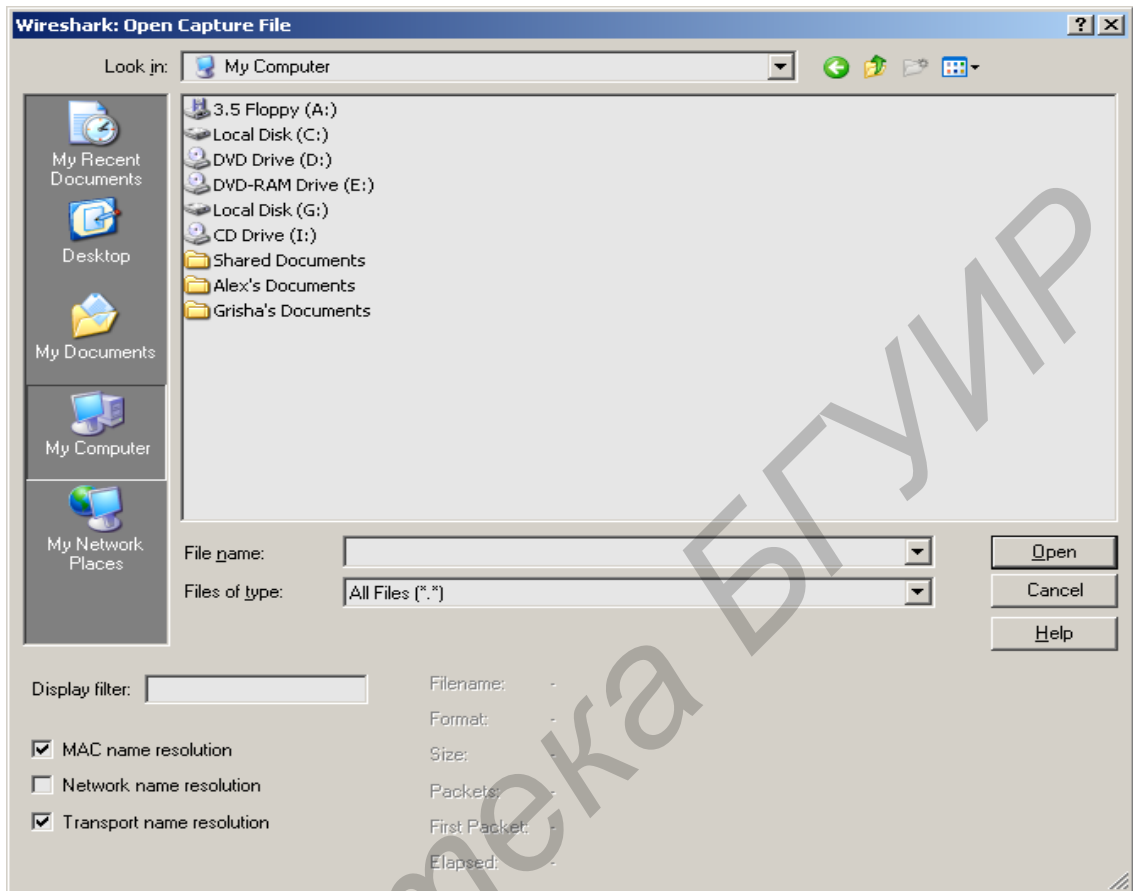


Рис. 2.19. Окно Open Capture File

### 3. АНАЛИЗ IP-ТРАФИКА

#### 3.1. Параметры мультимедийного трафика

Мультимедийный трафик представляет собой цифровой поток, переносящий мультимедийную информацию (информацию, воспринимаемую органами чувств человека, такими как зрение и слух) в процессе предоставления пользователям удаленных интерактивных услуг (IP-телефония, видеоконференц-связь, видео по запросу и т. д.). В зависимости от типа сервиса могут быть выделены две категории трафика: трафик реального времени (IP-телефония, видеоконференц-связь, высококачественное звуковое и телевизионное вещание, видео и аудио по запросу и т. д.) и трафик данных (электронная почта, передача файлов, виртуальный терминал, удаленный доступ и т. д.) [1].

Мультимедийный трафик в общем случае описывается случайным процессом  $B(t)$ . Параметризация мультимедийного трафика осуществляется с использованием ряда характеристик, которые определены рекомендациями ITU-T и описывают интегральные параметры случайного процесса  $B(t)$  (рис. 3.1).

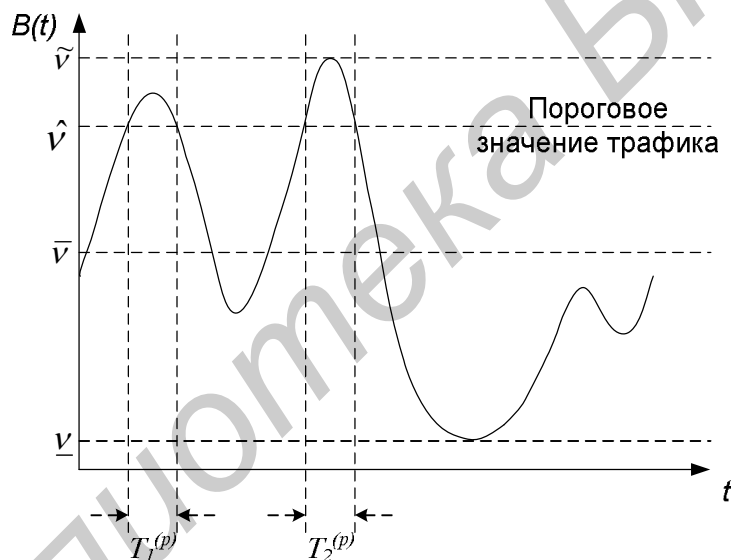


Рис. 3.1. Параметры мультимедийного трафика

К характеристикам мультимедийного трафика относятся: значение трафика (мгновенное, пиковое, максимальное, среднее и минимальное); коэффициент пачечности (пульсаций) трафика; средняя длительность сеанса связи; форматы элементов трафика; максимальный, средний и минимальный размеры пакета; интенсивность трафика запросов.

**Мгновенное значение трафика** – количество информационных единиц (байт, пакетов), передаваемых в единицу времени.

**Пиковое значение  $\tilde{v}$  трафика** – трафик, превышающий установленный для него пиковый порог.

**Максимальное значение  $\hat{v}$  трафика** – максимальное число информационных единиц, передаваемых в единицу времени:

$$\hat{v} = \max B(t). \quad (3.1)$$

**Среднее значение  $\bar{v}$  трафика** – среднее число информационных единиц, передаваемых в единицу времени:

$$\bar{v} = \frac{1}{T^{(s)}} \cdot \int_0^{T^{(s)}} B(t) dt, \quad (3.2)$$

где  $T^{(s)}$  – длительность сеанса связи.

**Минимальное значение  $\underline{v}$  трафика** – это минимальное число информационных единиц, передаваемых в единицу времени:

$$\underline{v} = \min B(t). \quad (3.3)$$

**Коэффициент  $K$  пачечности трафика** – соотношение между максимальным и средним значениями трафика:

$$K = \frac{\hat{v}}{\bar{v}}. \quad (3.4)$$

**Средняя длительность  $\bar{T}^{(p)}$  пика** – средняя длительность интервала времени, в течение которого передается пиковый трафик:

$$\bar{T}^{(p)} = \frac{1}{N^{(p)}} \cdot \sum_{i=1}^{N^{(p)}} T_i^{(p)}, \quad (3.5)$$

где  $N^{(p)}$  – число пиков в течение сеанса связи;  $T_i^{(p)} = t_i^{(e)} - t_i^{(s)}$  – длительность  $i$ -го пика случайного процесса  $B(t)$ ;  $t_i^{(s)} = \min_{\substack{B(t) > \hat{v} \\ t > t_{i-1}^{(s)}}} t$  и  $t_i^{(e)} = \min_{\substack{B(t) > \hat{v} \\ t > t_i^{(e)}}} t$  – моменты начала и окончания  $i$ -го пика, которые определяются следующими выражениями и (при  $i = 0$  значения выражений  $t_i^{(e)} = t_i^{(s)} = 0$ ).

Перечисленные параметры используются для описания трафика в течение одного сеанса связи, который характеризуется следующими параметрами.

**Интенсивность  $\lambda$  запросов** на получение обслуживания определяется как среднее число поступивших запросов на обслуживание в единицу времени.

**Средняя длительность  $\bar{T}^{(s)}$  сеанса связи** – средняя продолжительность интервала времени, в течение которого обслуживается поступивший запрос.

**Максимальный размер  $\hat{s}$  пакета** – максимальный размер элемента трафика (информационной единицы) в битах.

**Средний размер  $\bar{s}$  пакета** – средний размер элемента трафика в битах.

**Минимальный размер  $\underline{s}$  пакета** – минимальный размер элемента трафика в битах.

Типичные параметры трафика приведены в табл. 3.1 [1].



Параметры мультимедийного трафика

Тип мультимедийного сервиса	Параметры мультимедийного трафика					
	$\hat{v}$ , Мбит/с	$\bar{v}$ , Мбит/с	$K$	$\bar{T}^{(p)}$ , с	$\bar{T}^{(s)}$ , с	$\lambda$ , се- анс/сут
IP-телефония	0,064	0,064	1	100	100	5
Звуковое вещание	1	1	1	53	53	3
Видеотелефония	10	2	5	1	100	6
Видеоконференц-связь	10	2	5	1	1000	6
Телемедицина	10	2	5	1	1000	3
Телевизионное вещание	34	34	1	–	–	6
Цифровое телевидение	34	34	1	–	5400	6
Видеонаблюдение	10	2	5	–	–	6

### 3.2. Параметры качества обслуживания мультимедийного трафика

Для передачи информации транспортная сеть должна обеспечить соединение с необходимым качеством обслуживания. Выделяют следующие основные параметры качества соединения [1].

**Время  $t^{(cn)}$  установления соединения** – интервал времени от момента выдачи пользователем запроса на предоставление сервиса до момента начала предоставления этого сервиса.

**Вероятность  $P^{(cn)}$  установления соединения** – отношение числа запросов, которым уже предоставлен сервис, к общему числу запросов на предоставление этого сервиса.

**Вероятность  $P^{(rj)}$  разрыва соединения** – отношение числа запросов, которым сервис не был предоставлен полностью, к общему числу обслуженных запросов.

**Задержка  $\tau_i$**  – интервал времени между моментом начала передачи отправителем  $i$ -го блока данных и моментом окончания приема этого блока получателем. Задержка включает время пакетизации, передачи и распределения передаваемых блоков данных по каналам связи между узлами телекоммуникационной сети, а также время ожидания этих блоков в очередях промежуточных коммутаторов и маршрутизаторов. Задержка может быть различной для каждого блока и является случайной величиной, которая определяется по формуле

$$\tau_i = \tau_i^p + \sum_{k=1}^M \tau_{ik}^{pr} + \sum_{j=1}^N (\tau_{ij}^{sr} + \tau_{ij}^{wt}), \quad (3.6)$$

где  $\tau_i^p$  – случайная величина времени пакетизации  $i$ -го блока данных;  $M$  – общее число каналов связи между двумя пользователями;  $N$  – общее число

коммутационных устройств между двумя пользователями;  $\tau_{ik}^{pr}$  – случайная величина времени передачи  $i$ -го блока данных по  $k$ -му каналу связи;  $\tau_{ij}^{sr}$  – случайная величина времени обслуживания  $i$ -го блока данных в  $j$ -м коммутационном устройстве;  $\tau_{ij}^{wt}$  – случайная величина времени ожидания в очереди  $i$ -го блока данных в  $j$ -м коммутационном устройстве.

**Средняя задержка**  $\bar{\tau}$  – среднее значение задержек передаваемых блоков данных:

$$\bar{\tau} = \frac{1}{N^{(b)}} \cdot \sum_i^{N^{(b)}} \tau_i, \quad (3.7)$$

где  $N^{(b)}$  – общее число доставленных блоков данных.

**Вероятность  $P^{(rs)}$  потерь** – отношение числа потерянных блоков данных к общему числу переданных.

**Джиттер  $\sigma^{(\tau)}$**  – разница между максимальной и минимальной задержками передачи блоков данных:

$$\sigma^{(\tau)} = \tau^{(\max)} - \tau^{(\min)}, \quad (3.8)$$

где  $\tau^{(\max)} = \bar{\tau} + \sqrt{\frac{1}{N^{(b)}} \cdot \sum_{i=1}^{N^{(b)}} (\tau_i - \bar{\tau})^2}$  и  $\tau^{(\min)} = \bar{\tau} - \sqrt{\frac{1}{N^{(b)}} \cdot \sum_{i=1}^{N^{(b)}} (\tau_i - \bar{\tau})^2}$  – максимальная и минимальная задержки.

Время доставки и джиттер являются наиболее важными характеристиками для услуг, предоставляемых в реальном масштабе времени.

В табл. 3.2 приведены допустимые значения параметров качества обслуживания для основных типов мультимедийных услуг, полученные в результате исследований Европейского исследовательского центра в области телекоммуникаций (RACE – Research on Advanced Communication in Europe) [1].

Таблица 3.2

Допустимые значения параметров качества обслуживания

Тип сервиса	Параметры качества обслуживания				
	$t^{(cn)}$ , с	$P^{(rj)}$	$\tau$ , мс	$P^{(rs)}$	$\sigma^{(\tau)}$ , с
IP-телефония	0,5...1	$10^{-3}$	25...500	$10^{-3}$	100...150
Видеоконференция	0,5...1	$10^{-3}$	30	$10^{-3}$	30...100
Видео по запросу	0,5...1	$10^{-3}$	30	$10^{-3}$	30...100
Передача данных	0,5...1	$10^{-6}$	50...1000	$10^{-6}$	–
Телевизионное вещание	0,5...1	$10^{-6}$	1000	$10^{-6}$	–

### 3.3. Самоподобный мультимедийный трафик

Мультимедийный трафик телекоммуникационных сетей с коммутацией пакетов обладает особой самоподобной структурой, что не позволяет использо-

вать методы проектирования телефонных сетей с коммутацией каналов, основанные на марковских моделях и формулах Эрланга. Различают точное и статистическое самоподобие [5]. Точное самоподобие характерно для детерминированного процесса, реализация которого инвариантна относительно изменений шкалы времени. Статистическое самоподобие характерно для стохастического процесса, статистические характеристики реализации которого инвариантны относительно изменений шкалы времени. Трафик телекоммуникационных сетей с коммутацией пакетов представляет собой, как правило, стохастический процесс (исключением является поток блоков данных фиксированного размера), что позволяет рассматривать только статистическое самоподобие.

Стохастический процесс  $X(t)$  является статистически самоподобным с параметром  $0,5 \leq H \leq 1$ , если для любого вещественного значения  $a > 0$  процесс  $a^{-H} \cdot X(a \cdot t)$  обладает теми же статистическими характеристиками, что и  $X(t)$ . Параметр  $H$ , называемый параметром Херста, или параметром самоподобия, представляет собой ключевую меру самоподобия (характеризует устойчивость статистического явления или длительность долгосрочной зависимости стохастического процесса). Значение  $H = 0,5$  указывает на отсутствие самоподобия (хаос). Чем ближе значение  $H$  к единице, тем выше степень самоподобия. В качестве статистических характеристик самоподобного процесса могут быть использованы среднее  $E[X(t)]$ , дисперсия  $Var[X(t)]$  и автокорреляция  $R_X(t, \tau)$ , определяемые с помощью выражений

$$E[X(t)] = \frac{E[X(a \cdot t)]}{a^H}, \quad (3.9)$$

$$Var[X(t)] = \frac{Var[X(a \cdot t)]}{a^{2 \cdot H}}, \quad (3.10)$$

$$R_X(t, \tau) = \frac{R_X(a \cdot t, a \cdot \tau)}{a^{2 \cdot H}}. \quad (3.11)$$

Для дискретного во времени самоподобного стохастического процесса  $X(t) = \{X_t, t = 0, 1, \dots, N\}$  с помощью усреднения по непересекающимся соседним блокам длиной  $m = 1, 2, \dots$  могут быть определены кратномасштабные процессы  $X(k)^{(m)} = \{X_k^{(m)}, k = 0, 1, \dots, N/m\}$  с помощью выражения

$$X(k)^{(m)} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=(k-1) \cdot m+1}^{k \cdot m} X_i. \quad (3.12)$$

Процесс  $X(k)^1$  является оригинальным и имеет максимальное разрешение. Процесс  $X(k)^{(m)}$  представляет собой менее детализированную копию  $X(k)^1$ . В результате усреднения процесса  $X(t)$  по множеству значений блока длиной  $m$  теряются мелкие детали, доступные при максимальном разрешении. Если при усреднении сохраняются статистические характеристики, то стохастический процесс  $X(t)$  является самоподобным.

Существуют два класса самоподобных стохастических процессов: точно самоподобные и асимптотически самоподобные [5].

Стохастический процесс  $X(t)$  является точно самоподобным с параметром  $0 \leq \beta \leq 1$ , если для всех  $m = 1, 2, \dots$  выполняются условия

$$\text{Var}[X(k)^{(m)}] = \frac{\text{Var}[X(t)]}{m^\beta}, \quad (3.13)$$

$$R_{X^{(m)}}(k) = R_X(t), \quad (3.14)$$

где  $\beta = 2 \cdot (1 - H)$ .

Стохастический процесс  $X(t)$  называется асимптотически самоподобным при  $m = 1, 2, \dots$  для всех достаточно больших  $k$ , если выполняются условия

$$\text{Var}[X(k)^{(m)}] \sim \frac{\text{Var}[X(t)]}{m^\beta}, \quad (3.15)$$

$$R_{X^{(m)}}(k) \rightarrow R_X(t). \quad (3.16)$$

Эффект самоподобия характеризуется долгосрочной зависимостью и медленно затухающим распределением [5].

Определение долгосрочной зависимости основывается на характере функции автоковариации  $C(\tau)$  стационарного процесса при увеличении  $\tau$ , описываемой с помощью выражения

$$C(\tau) = R_X(\tau) - \mu^2, \quad (3.17)$$

где  $\mu$  – среднее стохастического процесса  $X(t)$ .

У долгосрочно зависимого процесса автоковариационная функция убывает гиперболически при  $|k| \rightarrow \infty$  и  $\beta \in (0, 1)$ :

$$C(k) \sim |k|^{-\beta}. \quad (3.18)$$

Долгосрочная зависимость характеризует инерционность самоподобных стохастических процессов (существование кластеризации и непостоянство характеристик во всех временных масштабах).

Эквивалентная формулировка долгосрочной зависимости может быть выражена в терминах частоты. Для плотности  $S(\omega)$  спектра мощности около начала координат при  $\omega \rightarrow \infty$  и  $\gamma \in (0, 1)$  справедливо соотношение

$$S(\omega) \sim \frac{1}{|\omega|^\gamma}, \quad (3.19)$$

где  $S(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} R_k \cdot e^{-jk \cdot \omega}$ ;  $\gamma = 2 \cdot H - 1$ .

Долгосрочная зависимость характерна для цифрового видеопотока с переменной битовой скоростью независимо от используемых алгоритмов сжатия и записанных сцен.

Медленно затухающие распределения используются в основном для представления плотностей вероятностей самоподобных стохастических процессов.

Самым простым медленно затухающим распределением является распределение Парето, которое для  $X > l$  и  $\alpha > 0$  имеет функцию  $F(X)$  распределения вероятностей, определяемую выражением

$$F(X) = 1 - \left(\frac{l}{X}\right)^\alpha, \quad (3.20)$$

где  $\alpha$  – параметр формы, определяющий бесконечность значений среднего и дисперсии;  $l$  – параметр нижней границы (минимальное значение случайной величины  $X$ ).

Плотность  $f(X)$  распределения Парето определяется с помощью выражения

$$f(X) = \frac{\alpha}{k} \cdot \left(\frac{k}{X}\right)^{\alpha+1}, \quad (3.21)$$

где  $f(X) = F(X) = 0$  при  $X \leq k$ .

Среднее значение распределения Парето для  $\alpha > 1$  можно определить по формуле

$$E[X] = \frac{\alpha \cdot k}{\alpha - 1}. \quad (3.22)$$

### 3.4. Методы анализа трафика

Ряд методов определения степени самоподобия временных рядов основан на вычислении коэффициента Херста. Данные методы могут эффективно использоваться для анализа степени самоподобия мультимедийного трафика и, в частности, IP-телефонии.

**3.4.1. Анализ изменения дисперсии.** Метод анализа изменения дисперсии [6] основан на том, что для агрегированных временных серий  $e^{-N^2/2}$  самоподобного процесса при больших значениях  $m$  справедлива формула (3.15), где  $H = 1 - (\beta / 2)$ . Из (3.15) следует

$$\log[Var[X(k)^{(m)}]] \sim \log[Var[X(t)]] - \beta \log(m). \quad (3.23)$$

График зависимости  $Var[X(k)^{(m)}]$  от  $m$  в логарифмическом масштабе представляет собой прямую линию с тангенсом угла наклона, равным минус  $\beta$ . Тангенс угла наклона в диапазоне  $[-1, 0]$  свидетельствует о наличии самоподобия.

**3.4.2. Анализ нормированного размаха.** При анализе нормированного размаха [7] для стохастического процесса  $X(t)$ , определенного в дискретные моменты времени  $\{X_t, t = 0, 1, 2, \dots\}$ , диапазон изменения  $X(t)$  за интервал времени  $N$  определяется как отношение

$$\frac{R}{S} = \frac{1 \leq j \leq N \left[ \sum_{k=1}^j (X_k - M(N)) \right] - 1 \leq j \leq N \left[ \sum_{k=1}^j (X_k - M(N)) \right]}{\sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N (X_k - M(N))^2}}, \quad (3.24)$$

где  $R$  – значение интервала процесса;  $S$  – выборочное среднеквадратичное за период времени  $N$ ;  $M(N) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N X_j$  – выборочное среднее за период времени  $N$ .

Для самоподобного процесса отношение  $R/S$  при больших значениях  $N$  описывается следующей зависимостью:

$$R/S \sim (N/2)^H. \quad (3.25)$$

Логарифмирование обеих частей этого выражения дает

$$\log[R/S] \sim H \cdot \log(N) - H \cdot \log(2). \quad (3.26)$$

График зависимости  $\log[R/S]$  от  $N$  в логарифмическом масштабе представляет собой прямую линию с тангенсом угла наклона, равным  $H$ .

**3.4.3. Анализ изменения абсолютных моментов.** Метод анализа изменения абсолютных моментов [8] основан на делении исходной последовательности  $X(t)$  на непересекающиеся блоки  $m$  согласно выражению (3.12). Для каждого блока рассчитывается среднее, математическое ожидание и абсолютный момент  $AM_n^{(m)}$  с помощью выражения

$$AM_n^{(m)} = \frac{1}{N/m} \cdot \sum_{k=1}^{N/m} \left| X_k^{(m)} - M[X] \right|^n. \quad (3.27)$$

При  $n=1$  выражение (3.27) дает абсолютное среднее значение. График зависимости средних значений абсолютных моментов от  $m$  в логарифмическом масштабе является прямой, тангенс угла наклона которой равен  $\beta$ . С помощью выражения  $H = 1 - (\beta/2)$  это позволяет вычислить коэффициент самоподобия. Необходимым условием является большие значения количества и размера каждого блока  $m$ . Если временной ряд не является процессом с медленно изменяющейся зависимостью, то  $H < 0,5$  и тангенс угла наклона прямой равен  $1/2$ . Если процесс самоподобен, то  $0,5 < H < 1$  и тангенс угла наклона прямой меньше  $1/2$ .

**3.4.4. Периодограммный анализ.** Метод периодограммного анализа основан на оценке графика спектральной плотности и обеспечивает по сравнению с другими методами большую статистическую строгость [8, 9] за счет использования известной заранее параметризованной модели процесса. Периодограмма (функция интенсивности)  $I_N(\omega)$  характеризует спектральную плотность дискретного стохастического процесса  $X(t)$  и может быть представлена на интервале времени  $N$  при  $\omega \in [0, \pi]$  с помощью выражения

$$I_N(\omega) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot N} \cdot \left| \sum_{k=1}^N X_k \cdot e^{jk \cdot \omega} \right|^2, \quad (3.28)$$

где  $X_k$  – временная последовательность;  $N$  – длина временной последовательности.

При  $\omega \rightarrow 0$  спектральная плотность определяется выражением

$$I_N(\omega) \sim \omega^{1-2 \cdot H}. \quad (3.29)$$

Тангенс угла наклона касательной к кривой, описывающей зависимость  $\log[I_N(\omega)]$  от  $\log(\omega)$  на низких частотах (10 % спектра), приблизительно равен  $1 - 2 \cdot H$ .

**3.4.5. Анализ на основе формулы Уиттла.** Рассмотренные выше методы неэффективны в случае, когда требуется более тонкий анализ данных (например, определение доверительных интервалов для степени самоподобия  $H$ ). Более тонкий анализ данных использует оценки максимального правдоподобия и связанные с ними подходы, использующие периодограммы. Подобной оценкой является оценка Уиттла [9].

Если временная последовательность получена из самоподобного стохастического процесса с параметром  $H$  и выбрана конкретная форма процесса (например процесс дробного броуновского движения), то спектральная плотность процесса может быть выражена как  $S(\omega, H)$ , где форма плотности известна, но неизвестен параметр  $H$ . В этом случае параметр Херста может быть оценен при минимизации значения  $Q(H)$  оценочной формулы Уиттла

$$Q(H) = \int_{-\pi}^{\pi} \frac{I_N(\omega)}{S(\omega, H)} d\omega. \quad (3.30)$$

Если длина последовательности  $\{X_k\}$  равна  $N$ , интеграл может быть заменен дискретным суммированием по частотам  $\omega = 2 \cdot \pi / N, 4 \cdot \pi / N, \dots, 2 \cdot \pi$ . Преимущество такого подхода заключается в том, что он позволяет получить не только оценку параметра Херста, но и выборочную дисперсию [5]. Это в свою очередь дает возможность вычислить величины доверительных интервалов. Выборочная дисперсия  $Var(\hat{H})$  определяется с помощью выражения

$$Var(\hat{H}) = 4 \cdot \pi \left[ \int_{-\pi}^{\pi} \left( \frac{\partial \log[S(\omega)]}{\partial \hat{H}} \right) \right]^{-1}. \quad (3.31)$$

Недостатком метода является некоторая неустойчивость результатов, которая может возникать в результате отклонений реального распределения от гауссовского, а также из-за различий между реальной и предполагаемой моделями спектра. Для решения первой проблемы необходимо преобразовывать временные последовательности так, чтобы получилось требуемое нормальное распределение (возможно с некоторым приближением). К решению второй проблемы существует несколько подходов, в том числе определение значения  $H$  из ординат периодограммы на низких и высоких частотах. При наличии больших наборов данных альтернативным и более простым методом является использование объединенной методики. Суть ее состоит в следующем. Пусть  $\{X_k\}$  – гауссовский процесс, плотность спектра мощности которого определяется формулой (3.19). Тогда объединенные (агрегированные) процессы  $X(k)^{(m)} = \{X_k^{(m)}, k = 0, 1, \dots, N/m\}$  при  $m = 1, 2, \dots$  сводятся к фрактальному гауссовскому шуму для  $m \rightarrow \infty$  с помощью выражения

$$X_k^{(m)} = m^{-H} \cdot L(m)^{-1/2} \cdot \sum_{i=(k-1) \cdot m+1}^{k \cdot m} (X_i - M[X]). \quad (3.32)$$

### 3.5. Программные средства анализа трафика

Достаточно распространенным программным средством анализа трафика является программа Selfis, основанная на вычислении коэффициента Херста.

После запуска программы на экран выводится главное окно с горизонтальным главным меню в верхней части (рис. 3.2).

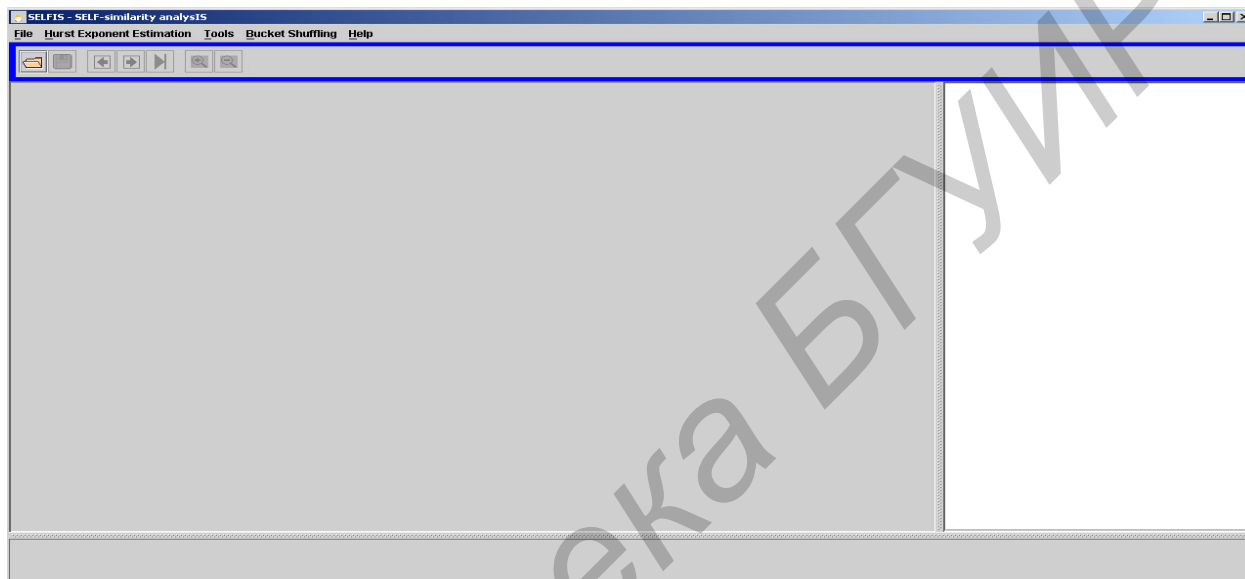


Рис. 3.2. Главное окно программы Selfis

Для загрузки файла, содержащего значения трафика, необходимо выбрать последовательно пункт File главного меню и пункт Open всплывающего меню File (рис. 3.3), в результате чего на экран выводится окно Open (рис. 3.4).

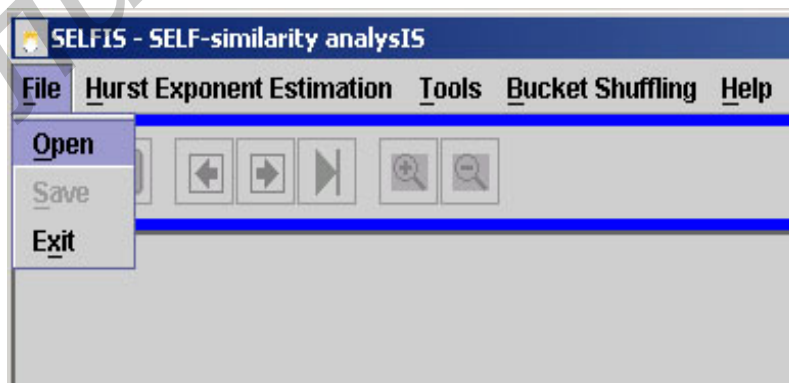


Рис. 3.3. Всплывающее меню File



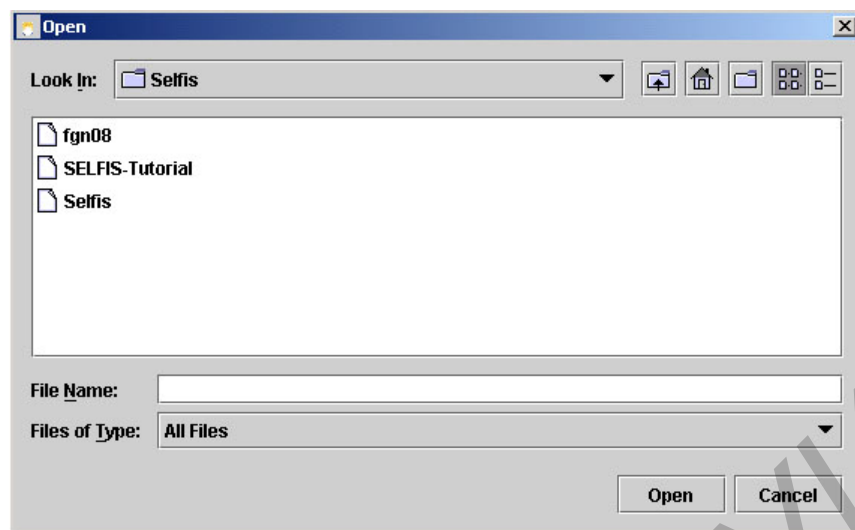


Рис. 3.4. Окно Open

После загрузки файла в основном окне программы выводится распределение значений трафика во времени (рис. 3.5).

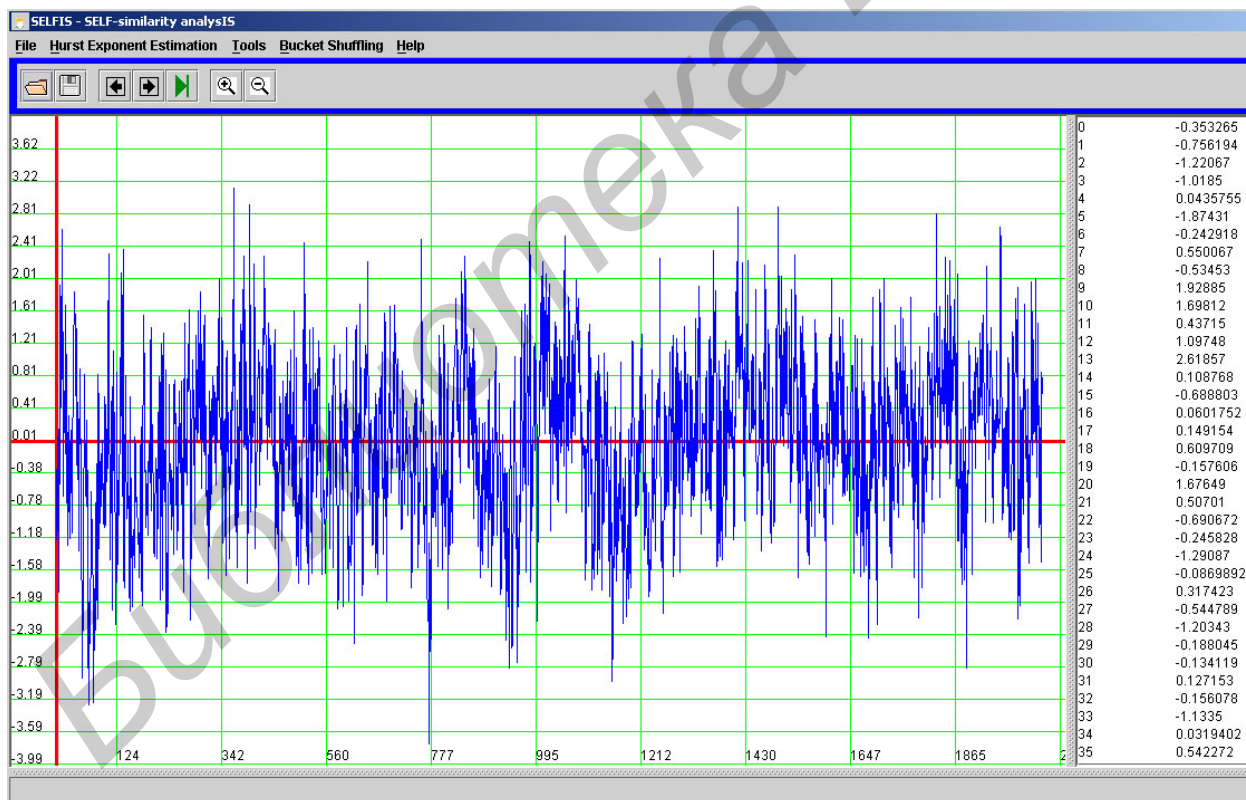


Рис. 3.5. Главное окно после загрузки значений трафика

Для анализа загруженных данных необходимо выбрать последовательно пункт Hurst Exponent Estimation главного меню и один из пунктов всплываю-

щего меню Hurst Exponent Estimation в зависимости от метода, используемого для вычисления значения коэффициента Херста (рис. 3.6).

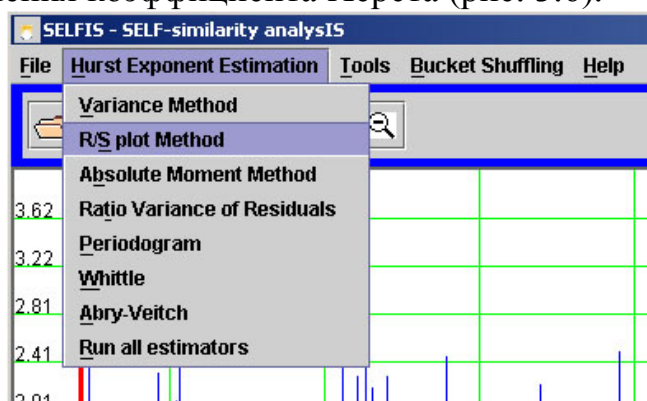


Рис. 3.6. Всплывающее меню Hurst Exponent Estimation

При выборе первых семи пунктов всплывающего меню Hurst Exponent Estimation результаты вычислений выводятся в нижней части главного окна (рис. 3.7), а при выборе последнего пункта (Run all estimators) – в отдельном окне Hurst Estimators (рис. 3.8).

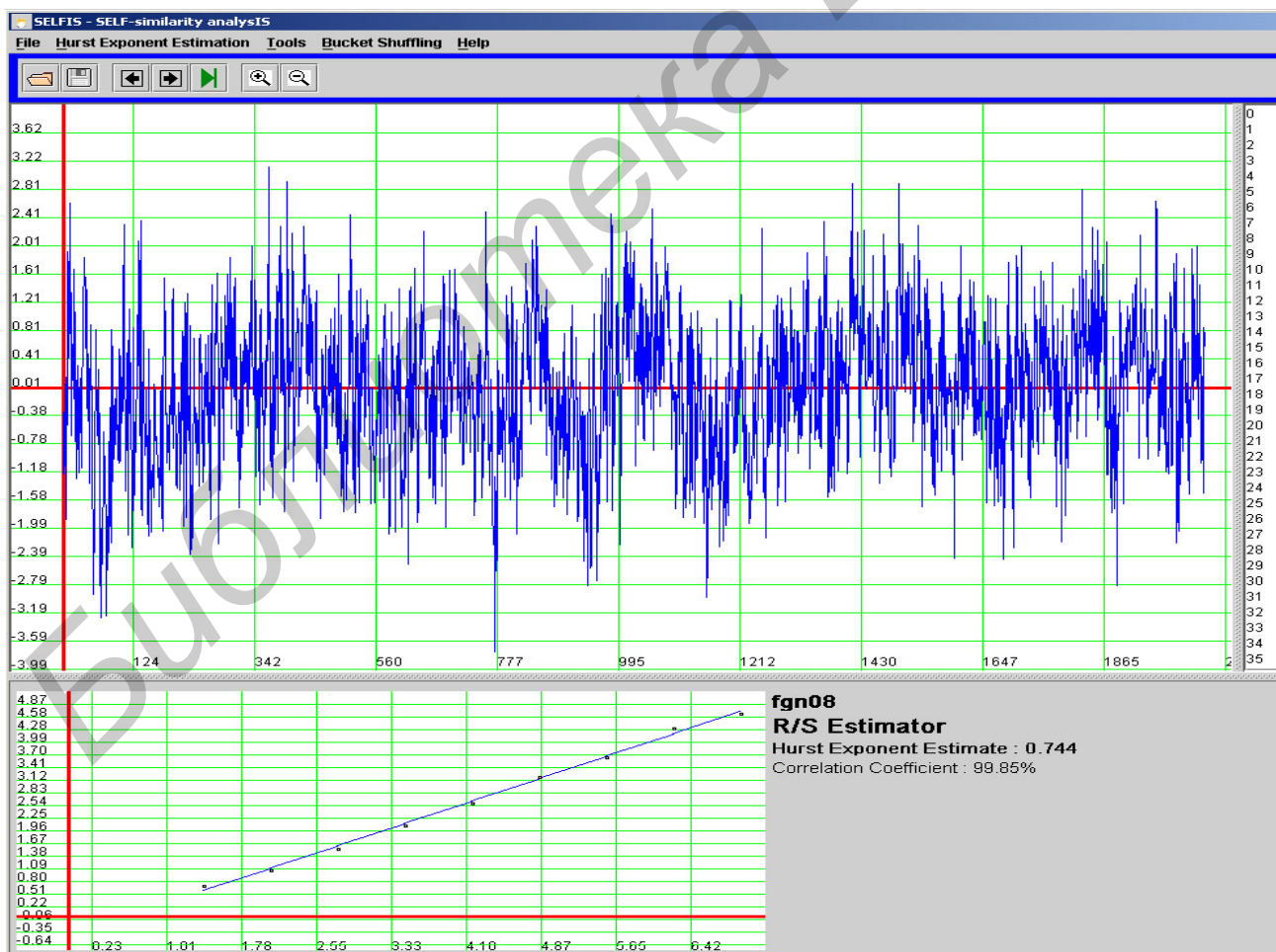


Рис. 3.7. Главное окно после анализа значений трафика

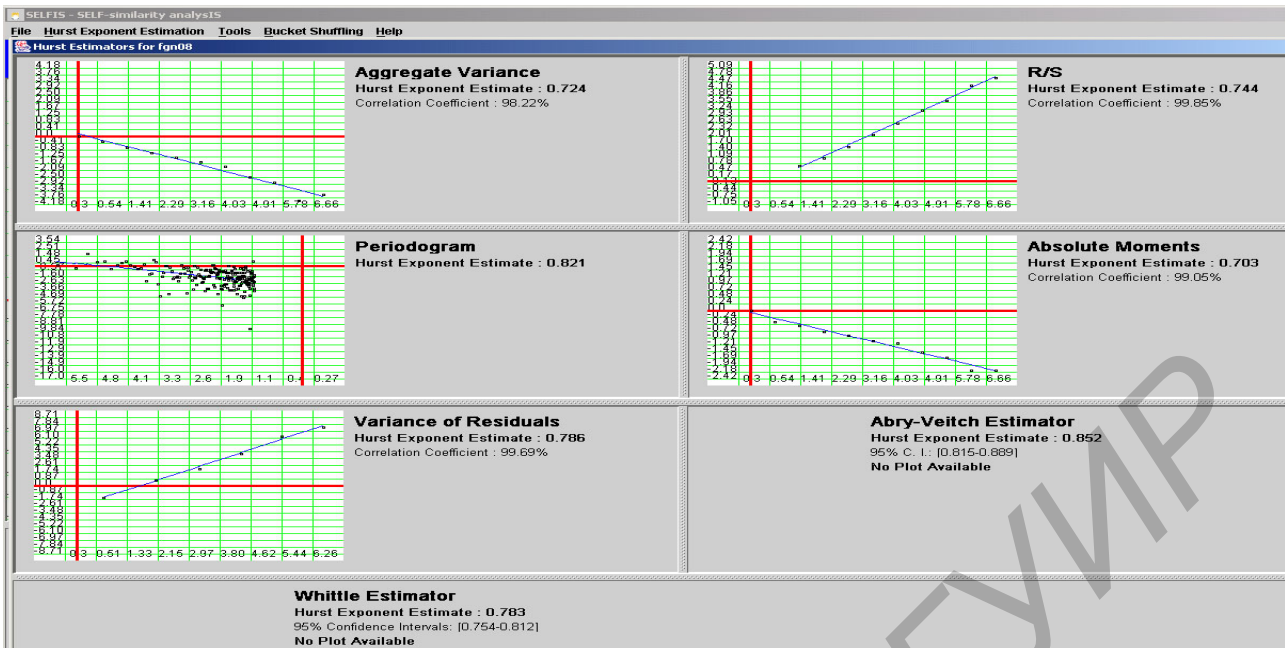


Рис. 3.8. Окно Hurst Estimators

Для расчета дополнительных характеристик трафика (статистических оценок, автокорреляционной функции и энергетического спектра) необходимо выбрать последовательно пункт Tools главного меню и один из пунктов всплывающего меню Tools в зависимости от интересующих характеристик (рис. 3.9). Дополнительные характеристики выводятся в нижней части главного окна (см. рис. 3.7).

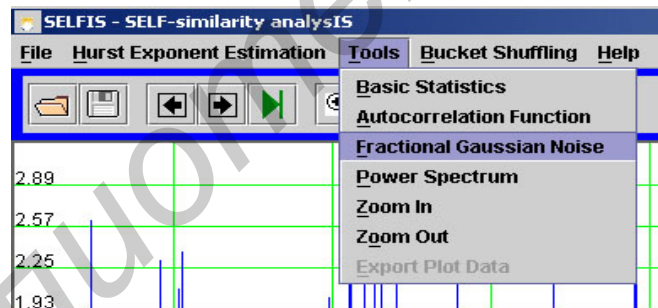


Рис. 3.9. Всплывающее меню Tools

Значения трафика могут быть смещены по оси времени и перетасованы перед анализом. Для этого необходимо выбрать последовательно пункт Bucket Shuffling главного меню и один из пунктов всплывающего меню Bucket Shuffling (рис. 3.10).

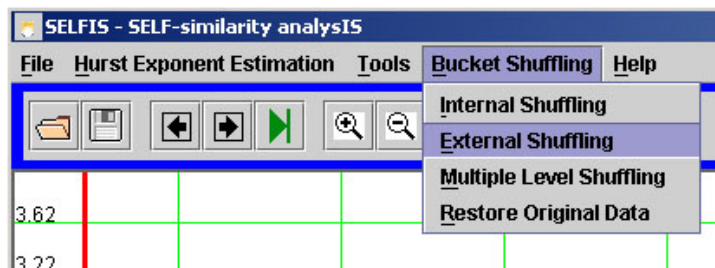


Рис. 3.10. Всплывающее меню Bucket Shuffling

## **4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ИЗМЕРЕНИЕ ТРАФИКА IP-ТЕЛЕФОНИИ»**

### **4.1. Цель работы**

Приобрести навыки по измерению и первичному анализу терминального трафика IP-телефонии.

### **4.2. Описание лабораторной работы**

Лабораторная работа выполняется на базе учебной мультисервисной сети кафедры сетей и устройств телекоммуникаций. При этом используются шлюз IP-телефонии процессорного выноса учрежденческой производственной АТС БГУИР фирмы Alcatel Omni PCX Enterprise (лаборатория 505-1, корпус 3); мультимедийные ПЭВМ, укомплектованные микротелефонными гарнитурами, Web-камерами и программными приложениями IP-телефонии и видеоконференц-связи (2 комплекта); ПЭВМ с установленной программой Wireshark анализа сетевых протоколов; IP-телефоны Alcatel 4018IP (2 комплекта); транспортный сегмент мультисервисной сети на базе коммутаторов и маршрутизаторов Cisco.

### **4.3. Предварительное задание к лабораторной работе**

1. Ознакомиться с разд. 1 и 2 настоящего пособия.
2. Изучить элементы структуры учебной мультисервисной сети кафедры сетей и устройств телекоммуникаций, используемые при выполнении лабораторной работы.
3. Ознакомиться с необходимым для выполнения лабораторной работы терминальным оборудованием (мультимедийными ПЭВМ, IP-телефонами).
4. Ознакомиться с установленным на мультимедийных ПЭВМ программным обеспечением IP-телефонии и видеоконференц-связи, обращая особое внимание на используемые в нем кодеки.
5. Ознакомиться с установленной на ПЭВМ программой Wireshark анализа сетевых протоколов.
6. Определить IP-адреса ПЭВМ и номера IP-телефонов на выделенных для выполнения лабораторной работы местах.
7. Разработать функциональные схемы и сценарии измерения трафика IP-телефонии и видеоконференц-связи.

### **4.4. Порядок выполнения работы и методические указания**

1. Подключить к учебной мультисервисной сети необходимое для выполнения лабораторной работы терминальное оборудование.
2. Запустить и настроить программу Wireshark для измерения трафика.
3. Используя IP-телефоны и программное обеспечение IP-телефонии и видеоконференц-связи, установленное на мультимедийных ПЭВМ, организовать сеанс связи по схеме точка–точка между двумя терминалами.

4. Измерить терминальный мультимедийный трафик для организованного в п. 3 соединения в течение заданного времени.

5. Используя возможности программы Wireshark, произвести первичный анализ трафика и сделать предположение о его характере.

6. Сохранить результаты измерения в файл.

7. Выполнить пп. 1 – 6 для заданных типов соединений.

8. Сравнить результаты измерений, полученные для IP-телефонов, а также различных программных приложений IP-телефонии и видеоконференц-связи, используя максимальные значения трафика, длительность и интенсивность пульсаций, а также разброс значений трафика.

9. Обосновать полученные результаты, основываясь на информации о кодеках, используемых в IP-телефонах, а также программных приложениях IP-телефонии и видеоконференц-связи.

#### **4.5. Контрольные вопросы**

1. Факторы, оказывающие влияние на распределения задержек пакетной передачи медиаданных.

2. Основные подходы к кодированию речи.

3. Речевые кодеки, используемые для IP-телефонии и видеоконференц-связи.

4. Основные подходы к кодированию аудиоинформации.

5. Стандарты кодирования аудиоинформации, используемые для видеоконференц-связи.

6. Принципы кодирования видеоинформации.

7. Стандарты кодирования видеоданных, используемые для видеотелефонии и видеоконференц-связи.

8. Протоколы сети Internet, используемые для IP-телефонии и видеоконференц-связи.

9. Протоколы ITU-T, используемые для IP-телефонии и видеоконференц-связи.

10. Протоколы управления сеансами связи SIP, MGCP, MEGACO/H.248.

11. Технологии обеспечения качества обслуживания в IP-сетях: Diff-Serv, IntServ.

12. Способы и средства измерения трафика IP-телефонии.

## **5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «АНАЛИЗ ТРАФИКА IP-ТЕЛЕФОНИИ»**

### **5.1. Цель работы**

Ознакомиться с методами оценки степени самоподобия трафика, основанными на вычислении коэффициента Херста, приобрести навыки в программном анализе терминального трафика IP-телефонии.

### **5.2. Описание лабораторной работы**

Лабораторная работа выполняется на базе ПЭВМ с установленной программой Selfis анализа данных с использованием методов оценки коэффициента Херста. Для анализа используются файлы со значениями трафика IP-телефонии и видеоконференц-связи, измеренные в учебной мультисервисной сети кафедры сетей и устройств телекоммуникаций при выполнении лабораторной работы №1.

### **5.3. Предварительное задание к лабораторной работе**

1. Ознакомиться с разд. 3 настоящего пособия.
2. Ознакомиться с установленной на ПЭВМ программой Selfis анализа данных.
3. Подготовить файлы, содержащие значения трафика на заданном интервале времени, для загрузки в программу Selfis.

### **5.4. Порядок выполнения работы и методические указания**

1. Запустить программу Selfis для анализа трафика.
2. Загрузить файл, содержащий значения трафика IP-телефонии или видеоконференц-связи на заданном интервале времени.
3. Используя возможности программы Selfis, произвести первичный анализ трафика и сделать заключение о степени его самоподобия.
4. Выполнить пп. 1 – 3 для всех подготовленных файлов, содержащих измеренный терминальный трафик IP-телефонов, а также различных программных приложений IP-телефонии и видеоконференц-связи.
5. Сравнить результаты анализа, используя значения коэффициента Херста и дополнительные характеристики трафика (статистические оценки, автокорреляционные функции и энергетические спектры).
6. Обосновать полученные результаты, основываясь на информации о кодеках, используемых в IP-телефонах, а также программных приложениях IP-телефонии и видеоконференц-связи.
7. Сравнить результаты обоснования с выводами, полученными в результате выполнения предыдущей лабораторной работы на основе качественной оценки параметров трафика.

### **5.5. Контрольные вопросы**

1. Мультимедийный трафик.
2. Параметры мультимедийного трафика.
3. Параметры качества обслуживания мультимедийного трафика.
4. Самоподобный мультимедийный трафик.
5. Условие статистического самоподобия стохастического процесса.
6. Характеристики самоподобных процессов.
7. Долгосрочная зависимость в самоподобных процессах.
8. Методы анализа трафика на основе параметра Херста.

Библиотека БГУИР

## ЛИТЕРАТУРА

1. Телекоммуникационные системы и сети : учеб. пособие. В 3 т. / под ред. В. П. Шувалова. – Т. 3: Мультисервисные сети / В. В. Величко [и др.]. – М. : Горячая линия–Телеком, 2005.
2. Артюшенко, В. М. Цифровое сжатие видеоинформации и звука : учеб. пособие / В. М. Артюшенко, О. И. Шелухин, М. Ю. Афонин; под ред. В. М. Артюшенко. – М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2003.
3. Richardson, I.E.G. H.264 and MPEG-4 Video Compression / I.E.G. Richardson. – UK, Aberdeen, Robert Gordon University, 2003.
4. IP-телефония / В. С. Гольдштейн [и др.]. – М. : Радио и связь, 2001.
5. Столлингс, В. Современные компьютерные сети / В. Столлингс. – СПб. : Питер, 2003.
6. Stallings, W. High-Speed Networks TCP/IP And ATM Design Principles / W. Stallings. – Prentice–Hall Inc., 1998.
7. Beran, J. Statistics For Long-Memory Processes / J. Beran. – Chapman & Hall, 1994.
8. Taqqu, M. On Estimating The Intensity Of Long–Range Dependence In Finite And Infinite Variance Time Series / M. Taqqu, V. Teverovsky. – Boston University, 1996.
9. Фрактальные процессы в телекоммуникациях / под ред. О. И. Шелухина. – М. : Радиотехника, 2003.



*Учебное издание*

**Конопелько Валерий Константинович**  
**Лапшин Сергей Михайлович**  
**Цветков Виктор Юрьевич**

## **ИЗМЕРЕНИЕ И АНАЛИЗ ТРАФИКА IP-ТЕЛЕФОНИИ**

Методическое пособие  
по курсу  
«Цифровая коммутация каналов, пакетов и IP-телефония»  
для студентов специальности  
«Системы распределения мультимедийной информации»  
всех форм обучения

Редактор Е. Н. Батурчик  
Корректор А. В. Тюхай

---

Подписано в печать 25.01.2011.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 3,49.
Уч.-изд. л. 2,4.	Тираж 100 экз.	Заказ 629.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.  
220013, Минск, П. Бровки, 6