

## IP-телефония для новичков: протоколы оперирования сетями

Автор: Егор Залупков Дмитриевич, лектор МФТИ кафедры телефонии и компьютерных сетей, заслуженный лауреат премии за вклад в IP-телефонии им.Кван-Со-Хён Суехоха.

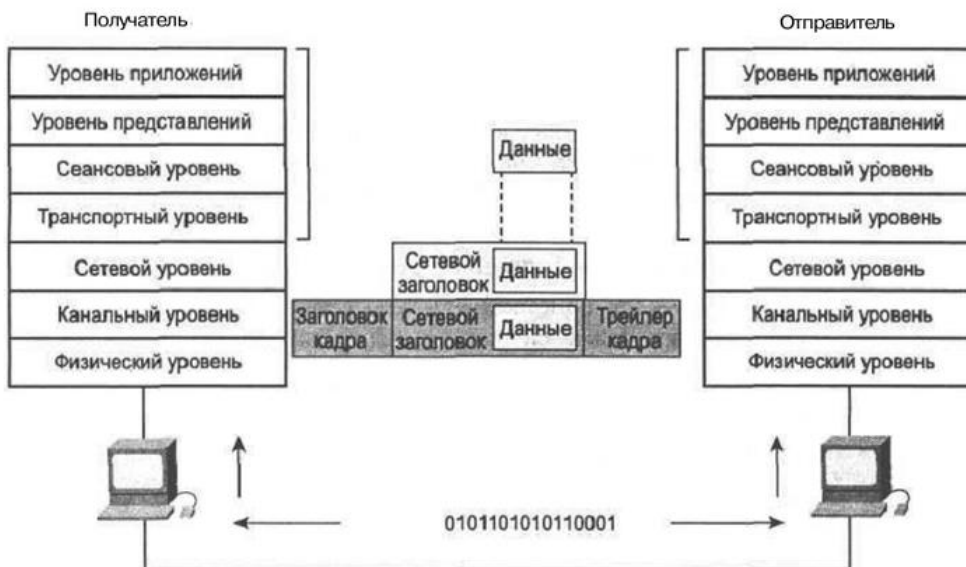
ИЗДАТЕЛЬСТВО ООО “РосГос Инфраструктура Телефонии Саранской Связи - Библиотека рабочего состава”

Саранск 1993г

### Введение

IP-телефония — это технология телефонной связи через интернет, по протоколу IP. Это удобный способ коммуникации, который отличается гибкими настройками и высоким качеством связи.

Принцип работы: во время разговора голос говорящего преобразуется в цифровой сигнал, который направляется другому абоненту. Устройство на другом конце, в свою очередь, расшифровывает сигнал, и он вновь становится аналоговым, поэтому принявший вызов абонент услышит живую человеческую речь.



Под IP-телефонией подразумевается голосовая связь, которая осуществляется по сетям передачи данных, в частности по IP-сетям (IP — Internet Protocol). На сегодняшний день IP-телефония все больше вытесняет традиционные телефонные сети за счет легкости развертывания, низкой стоимости звонка, простоты конфигурирования, высокого качества связи и сравнительной безопасности соединения. В данном изложении будем придерживаться принципов эталонной

модели OSI (Open Systems Interconnection basic reference model) и рассказывать о предмете “снизу-вверх”, начиная с физического и канального уровней и заканчивая уровнями данных.

Основные преимущества IP-телефонии:

- Цена. При подключении виртуальной IP-телефонии не нужно тратить на телефонные аппараты, дополнительное оборудование и вызов монтажников.
- Функциональность. Доступны не только звонки, но и автоответчик, голосовое меню, переадресация, запись, ожидание ответа, хранение разговоров и многое другое.
- Масштабируемость. С виртуальной АТС не нужно покупать телефон для новых сотрудников и тянуть от него кабель. Достаточно установить программу на компьютер или смартфон и подключить гарнитуру.
- Интеграция. Телефонию можно объединить с CRM-системой и системами аналитики.

Под IP-телефонией подразумевается голосовая связь, которая осуществляется по сетям передачи данных, в частности по IP-сетям (IP — Internet Protocol). На сегодняшний день IP-телефония все больше вытесняет традиционные телефонные сети за счет легкости развертывания, низкой стоимости звонка, простоты конфигурирования, высокого качества связи и сравнительной безопасности соединения. В данном изложении будем придерживаться принципов эталонной модели OSI (Open Systems Interconnection basic reference model) и рассказывать о предмете “снизу-вверх”, начиная с физического и канального уровней и заканчивая уровнями данных.

## TCP IP UDP

Так сложилось, что есть две модели, описывающие уровни протоколов. Одна из них теоретическая – модель OSI, а другая практическая – TCP/IP.

В 70-80-х годах прошлого столетия в сфере телекоммуникаций было много проблем, но и много возможностей. Тогда ещё не было такого Интернета, каким мы его знаем сегодня. Была лишь куча сетей, созданных разными компаниями. И этим сетям нужен был какой-то общий «язык» для общения, или скорее стандарт. А потому многие инженеры работали над тем, чтобы этот самый стандарт создать. Если говорить грубо, то для нас важно то, что в конечном итоге эти люди разделились на две группы.

Первая верила, что подобный стандарт должен создаваться открыто, со всеобщим обсуждением, с решением всех возникающих проблем и вопросов. Чтобы всем было удобно. Эта группа назвала стандарт, который она пыталась создать, – OSI, или Open Systems Interconnection.

Другая группа пошла иным путём, и начала разрабатывать и тестировать протоколы на основе тех сетей, что у них уже были. Так они создали TCP – Transmission Control

Protocol, и IP – Internet Protocol. Изначально эти два протокола были частью одного большого, но впоследствии были разбиты на два для упрощения работы с ними.

Эта группа успешно протестировала протокол и перевела сети, которые были под её руководством, на него. Это случилось первого января 1983-го года. Так что, можно сказать, что это день, когда родился Интернет.

После этого TCP/IP начал набирать популярность, потому что он «просто работал». Плюс, эта модель была бесплатной, в то время как авторы OSI хотели взимать деньги со всех, кто пользовался бы их стандартами.

И что в итоге стало с OSI? Инициатива провалилась. Из-за идеи «открытости» те, кто принимал тогда решения, потратили очень много времени на обсуждения и споры. Часть из них лоббировали идеи, которые были выгодны большим корпорациям. Из-за других же дискуссии постоянно увязали в обсуждении незначительных деталей.

Однако, несмотря на то, что OSI как сетевая модель не нашла своего применения в реальном мире, она всё ещё остаётся хорошей теоретической моделью, описывающей уровни протоколов. Но модель, которая была имплементирована и захватила мир – TCP/IP.

Транспортный уровень модели TCP/IP основан на двух китах: Transmission Control Protocol и User Datagram Protocol. Есть и другие протоколы на этом уровне (например, QUICK), но они не так часто используются.

Протоколы транспортного уровня используются для адресации пакетов с порта приложения отправителя на порт приложения получателя. Более того, протоколы этого уровня не знают ничего про различия в узлах сетей. Всё, что им требуется знать про адресацию, это то, что есть приложение, отсылающее сообщение, и оно для отправки использует какой-то порт. И приложение, которое получает сообщение, тоже использует какой-то порт. Основная «адресация внутри Интернета» же реализована на межсетевом уровне, и будет описана в следующей статье.

UDP куда «легче» и проще, чем TCP, но в то же время UDP не такой надёжный, как TCP. Чтобы посмотреть на разницу между ними поподробнее, давайте начнём с User Datagram Protocol.

User Datagram Protocol Этот протокол используется для «связи без установки соединения» (connectionless communication – пер.). Один узел сети просто отсылает пакеты, адресуя их другому узлу. Отправитель не знает ничего о том, готов ли получатель к приёму пакетов, и вообще, существует ли этот получатель. Отправитель также не ждёт какого-либо подтверждения о том, что получатель принял предыдущие пакеты.

Пакеты, передаваемые с помощью UDP, иногда называются датаграммами. Этот термин обычно используется тогда, когда важно подчеркнуть, что пакет передаётся без установки соединения.

Заголовок UDP-пакета состоит из 8 байт, которые включают в себя:

порт отправителя;

порт получателя;

длину датаграммы;

контрольную сумму.

Transmission Control Protocol Если UDP простой и не требующий установки соединения, то TCP – сложный и требующий. Перед тем, как начать передачу данных, клиент и сервер должны подключиться друг к другу и договориться о том, как они будут осуществлять эту самую передачу.

В отличие от датаграмм в UDP, пакеты, создаваемые TCP, называются сегментами.

А вот, некоторые из тех задач, что решает TCP во время передачи данных:

Убеждается в том, что сегменты доставлены в нужном порядке.

Убеждается в том, что они вообще доставлены.

Контролирует поток пакетов, чтобы не перегружать им узлы сети.

Работы много, а потому и заголовок у TCP как минимум 20 байт, а то и больше. Он включает в себя:

порт отправителя;

порт получателя;

порядковый номер;

номер подтверждения;

длину заголовка;

флаги;

размер окна;

контрольную сумму;

указатель важности;

дополнительные опции.

## Принципы IP-телефонии

При осуществлении звонка голосовой сигнал преобразуется в сжатый пакет данных (подробнее этот процесс будет рассмотрен в главах “Импульсно кодовая модуляция” и “Кодеки”). Далее происходит пересылка данных пакетов поверх сетей с коммутацией пакетов, в частности, IP сетей. При достижении пакетами получателя,

они декодируются в оригинальные голосовые сигналы. Эти процессы возможны благодаря большому количеству вспомогательных протоколов, часть из которых будет рассмотрена далее.

В данном контексте, протокол передачи данных — некий язык, позволяющий двум абонентам понять друг друга и обеспечить качественную пересылку данных между двумя пунктами.

### Отличие от традиционной телефонии

В традиционной телефонии установка соединения происходит при помощи телефонной станции и преследует исключительно цель разговора. Здесь голосовые сигналы передаются по телефонным линиям, через выделенное подключение. В случае же IP-телефонии, сжатые пакеты данных поступают в глобальную или локальную сеть с определенным адресом и передаются на основе данного адреса. При этом используется уже IP-адресация, со всеми присущими ей особенностями (такими как маршрутизация).

При этом IP-телефония оказывается более дешевым решением как для оператора, так и для абонента. Происходит это благодаря тому, что:

- Традиционные телефонные сети обладают избыточной производительностью, в то время, как IP-телефония использует технологию сжатия голосовых пакетов и позволяет полностью использовать емкость телефонной линии.
- Как правило, на сегодняшний момент доступ в глобальную сеть есть у всех желающих, что позволяет сократить затраты на подключение или совсем исключить их.
- Звонки в локальной сети могут использовать внутренний сервер и происходить без участия внешней АТС.

Вместе с вышеперечисленным, IP-телефония позволяет улучшить качество связи. Достигается это, опять же, благодаря трем основным факторам:

- Телефонные серверы постоянно совершенствуются и алгоритмы их работы становятся более устойчивыми к задержкам или другим проблемам IP-сетей.
- В частных сетях их владельцы обладают полным контролем над ситуацией и могут изменять такие параметры, как ширина полосы пропускания, количество абонентов на одной линии, и, как следствие, величину задержки.
- Сети с коммутацией пакетов развиваются, и ежегодно вводятся новые протоколы и технологии, позволяющие улучшить качество связи (например, протокол резервирования полосы пропускания RSVP).

Благодаря IP-телефонии очень элегантно решается проблема занятой линии, так как переадресация, либо перевод в режим ожидания могут быть осуществлены несколькими командами в конфигурационном файле на АТС.

## IP-телефония

### Физический уровень (Physical Layer)

На физическом уровне осуществляется передача потока битов по физической среде через соответствующий интерфейс. IP-телефония практически полностью опирается на уже существующую инфраструктуру сетей. В качестве среды передачи информации используются, как правило витая пара категории 5 (UTP5), одномодовое или многомодовое оптическое волокно, либо коаксиальный кабель. Тем самым в полной мере реализуется принцип конвергенции телекоммуникационных сетей.

### PoE

Интересно рассмотреть технологию PoE (Power Over Ethernet) — стандарты IEEE 802.3 af-2003 и IEEE 802.3at-2009. Ее суть заключается в возможности обеспечения питанием устройств посредством стандартной витой пары. Большинство современных IP-телефонов, в частности, модельный ряд Cisco Unified IP Phones 7900 Series, поставляются с поддержкой PoE. Согласно стандарту 2009 года, устройства могут получать ток мощностью до 25,5 Ватт.

При подаче питания используются лишь две витых пары кабеля 100BASE-TX, однако некоторые производители задействуют все четыре, достигая мощности до 51 Ватт. Необходимо заметить, что технология не требует модификации уже существующих кабельных систем, в том числе и кабелей Cat 5.

Для определения того, является ли подключаемое устройство питаемым (PD — powered device) на кабель подается напряжение 2,8 — 10 В. Тем самым вычисляется сопротивление подключаемого устройства. Если данное сопротивление находится в диапазоне 19 — 26,5 кОм, то процесс переходит на следующий этап. Если же нет — проверка повторяется с интервалом  $\geq 2$  мс.

Далее происходит поиск диапазона мощностей питаемого устройства путем подачи более высокого напряжения и измерения тока в линии. Вслед за этим на линию подается 48 В — питающее напряжение. Также осуществляется постоянный контроль перегрузок.

### Канальный уровень (Data Link Layer)

Согласно спецификации IEEE 802 канальный уровень разделяется на два подуровня:

MAC (Media Access Control) — обеспечивает взаимодействие с физическим уровнем; LLC (Logical Link Control) — обслуживает сетевой уровень.

На канальном уровне работают коммутаторы — устройства, обеспечивающие соединение нескольких узлов компьютерной сети и распределение фреймов между хостами на основе физической (MAC) адресации.

Необходимо упомянуть механизм виртуальных локальных сетей (Virtual Local Area Network). Данная технология позволяет создавать логическую топологию сети без

оглядки на ее физические свойства. Достигается это тегированием трафика, что подробно описано в стандарте IEEE 802.1Q.



В контексте IP-телефонии отметим Voice VLAN, широко применяющуюся для изоляции голосового трафика, генерируемого IP-телефонами, от других данных. Ее использование целесообразно по двум причинам:

Безопасность. Создание отдельной голосовой VLAN уменьшает вероятность перехвата и анализа голосовых пакетов. Повышение качества передачи. Механизм VLAN позволяет задать повышенный приоритет голосовым пакетам, и, как следствие, улучшить качество связи. Сетевой уровень (Network Layer)

На сетевом уровне происходит маршрутизация, соответственно основными устройствами сетевого уровня являются маршрутизаторы (Router). Именно здесь определяется, каким путем данные достигнут получателя с определенным IP-адресом.

Основной маршрутизируемый протокол — IP (Internet Protocol), на основе которого и построена IP-телефония, а также всемирная сеть Интернет. Также существует множество динамических протоколов маршрутизации, самый популярный среди которых OSPF (Open Shortest Path First) — внутренний протокол, основанный на текущем состоянии каналов связи;

На сегодняшний момент существуют специальные VoIP-шлюзы (Voice Over IP Gateway), обеспечивающие подключение обычных аналоговых телефонов к IP-сети. Как правило, они имеют и встроенный маршрутизатор, позволяющий вести учет трафика, авторизовать пользователей, автоматически раздавать IP-адреса, управлять полосой пропускания.

Среди стандартных функций VoIP-шлюзов:

Функции безопасности (создание списков доступа, авторизация); Поддержка факсимильной связи; Поддержка голосовой почты; Поддержка протоколов H.323, SIP (Session Initiation Protocol).

Для борьбы с возможными задержками передачи IP необходимо дополнять дополнительными средствами, например протоколами установления очередности (чтобы голосовые данные не конкурировали с обычными). Как правило, в этих целях на маршрутизаторах используется очередность с малой задержкой (LLQ — Low-

Latency queuing), либо взвешенная организация очередей на основе классов (CBWFQ — Class-Based Weighted Fair Queuing). Кроме того, необходимы схемы маркировки с заданием приоритетов для рассмотрения голосовых данных, как наиболее важных для передачи. Транспортный уровень (Transport Layer)

Для транспортного уровня характерны:

Сегментация данных приложений верхнего уровня; Обеспечение сквозного соединения; Гарантия надежности данных.

Основные протоколы транспортного уровня — TCP (Transmission Control Protocol), UDP (User Datagram Protocol), RTP (Real-time Transport Protocol). Непосредственно в IP-телефонии используются протоколы UDP и RTP, причем основное их отличие от TCP заключается в том, что они не обеспечивают надежность доставки данных. Это является более приемлемым вариантом, нежели осуществление контроля за доставкой (TCP), так как телефонная связь чрезвычайно зависима от задержек передачи, но менее чувствительна к потерям пакетов.

## UDP

UDP базируется на сетевом протоколе IP и предоставляет транспортные услуги прикладным процессам. Его главное отличие от TCP — обеспечение негарантированной доставки, то есть при отправке и получении данных никаких подтверждений не запрашивается. Также при отправке информации не обязательно установление логического соединения между модулями UDP (источник и приемник).

## RTP

Несмотря на то, что RTP принято считать протоколом транспортного уровня, как правило он работает поверх UDP. С помощью RTP реализуется распознавание типа трафика, работа с метками времени, контроль передачи и нумерация последовательности пакетов.

Основное назначение RTP состоит в том, что он присваивает каждому исходящему пакету временные метки, обрабатываемые на приемной стороне. Это позволяет принимать данные в надлежащем порядке, снижает влияние неравномерности времени прохождения пакетов по сети, восстанавливает синхронизацию между аудио и видео данными. Уровни данных (Data Layers)

Три последних уровня модели OSI рассмотрим совместно. Такое объединение допустимо, так как процессы, происходящие на данных уровнях тесно связаны между собой, и описывать их безотносительно разделения на подуровни будет логичнее.

## H.323

Первым делом необходимо описать стек протоколов H.323, разработанный в 1996 году. Данный стандарт содержит описание оборудования, сетевых служб и терминальных устройств, предназначенных для осуществления аудио- и видеосвязи



в сетях с коммутацией пакетов (Интернет). Для любого устройства стандарта H.323 обязательна поддержка обмена голосовой информацией.

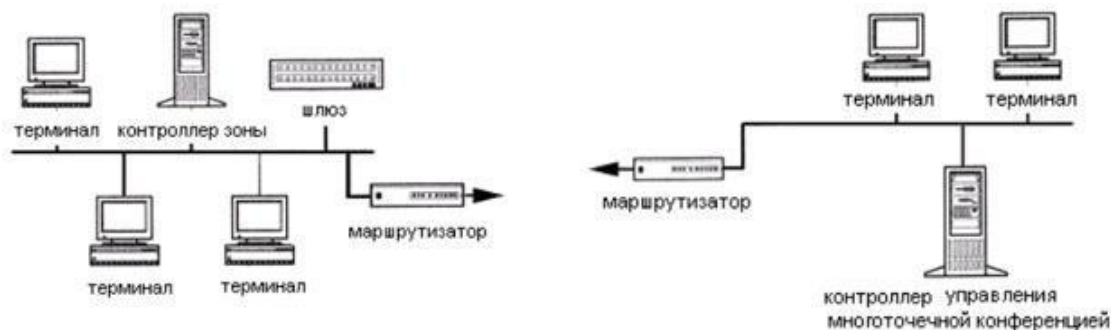
Рекомендации H.323 предполагают:

Платформенную независимость. Стандарты кодирования аналоговых данных.  
Управление полосой пропускания. Гибкость и совместимость.

Отметим очень важный факт: в рекомендациях не определены физическая среда передачи, транспортный протокол и сетевой интерфейс. Это значит, что устройства, поддерживающие стандарт H.323 могут работать в любых существующих сегодня сетях с коммутацией пакетов.

Согласно H.323 четырем основным компонентам VoIP-соединения являются:

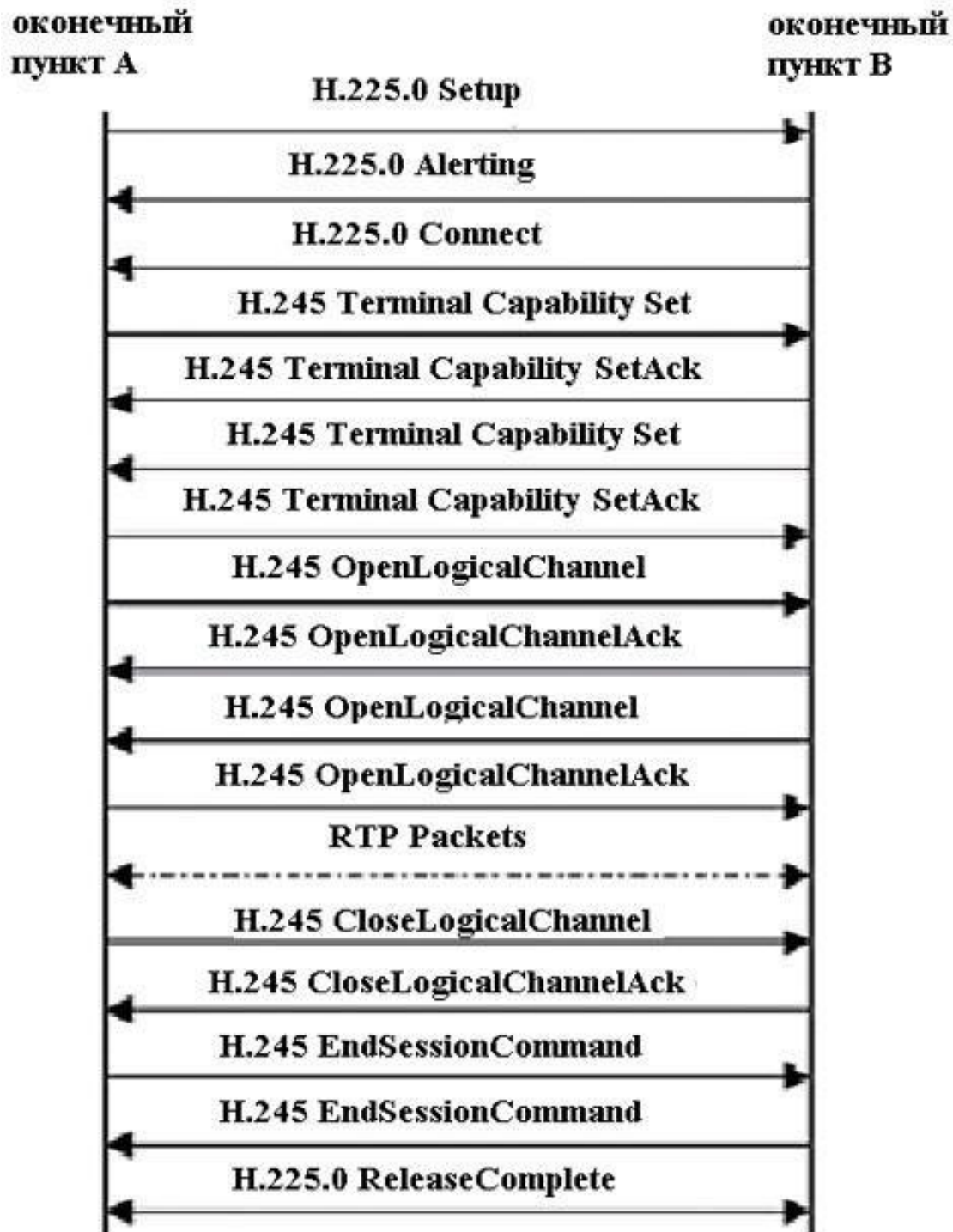
терминал; шлюз; контроллер зоны; контроллер управления多点多点 (MCU — Multipoint Control Unit).



Мой коллега, профессор Жовногуев из Армении, как то поделился со мной выдержкой из документа, описывающего стек H.323:

1. Управление соединением и сигнализация: 1.а. H.225.0: протоколы сигнализации и пакетирования мультимедийного потока (использует подмножество протокола сигнализации Q.931). 1.б. H.225.0/RAS: процедуры регистрации, допуска и состояния. 1.в. H.245: протокол управления для мультимедиа.
2. Обработка звуковых сигналов: 2.а. G.711: импульсно-кодовая модуляция тональных частот. 2.б. G.722: кодирование звукового сигнала 7 кГц в 64 кбит/с. 2.в. G.723.1: речевые кодеры на две скорости передачи для организации мультимедийной связи со скоростью передачи 5.3 и 6.3 кбит/с. 2.г. G.728: кодирование речевых сигналов 16 кбит/с с помощью линейного предсказания с кодированием сигнала возбуждения с малой задержкой. 2.д. G.729: кодирование речевых сигналов 8 кбит/с с помощью линейного предсказания с алгебраическим кодированием сигнала возбуждения сопряженной структуры.
3. Обработка видеосигналов: 3.а. H.261: видеокодеки для аудиовизуальных услуг со скоростью 64 кбит/с. 3.б. H.263: кодирование видеосигнала для передачи с малой скоростью.

4. Конференц-связь для передачи данных: 4.а. Т.120: стек протоколов (включает Т.123, Т.124, Т.125) для передачи данных между оконечными пунктами.
5. Мультимедийная передача: 5.а. RTP: транспортный протокол реального времени. 5.б. RTSP: протокол управления передачей в реальном времени.
6. Обеспечение безопасности: 6.а. H.235: обеспечение безопасности и шифрование для мультимедийных терминалов сети H.323.
7. Дополнительные услуги: 7.а. H.450.1: обобщенные функции для управления дополнительными услугами в H.323. 7.б. H.450.2: перевод соединения на телефонный номер третьего абонента. 7.в. H.450.3: переадресация вызова. 7.г. H.450.4: удержание вызова. 7.д. H.450.5: парковка вызова ( park ) и ответ на вызов ( pick up ). 7.е. H.450.6: уведомление о поступившем вызове в состоянии разговора. 7.ж. H.450.7: индикация ожидающего сообщения. 7.з. H.450.8: служба идентификации имен. 7.и. H.450.9: служба завершения соединения для сетей H.323.




---

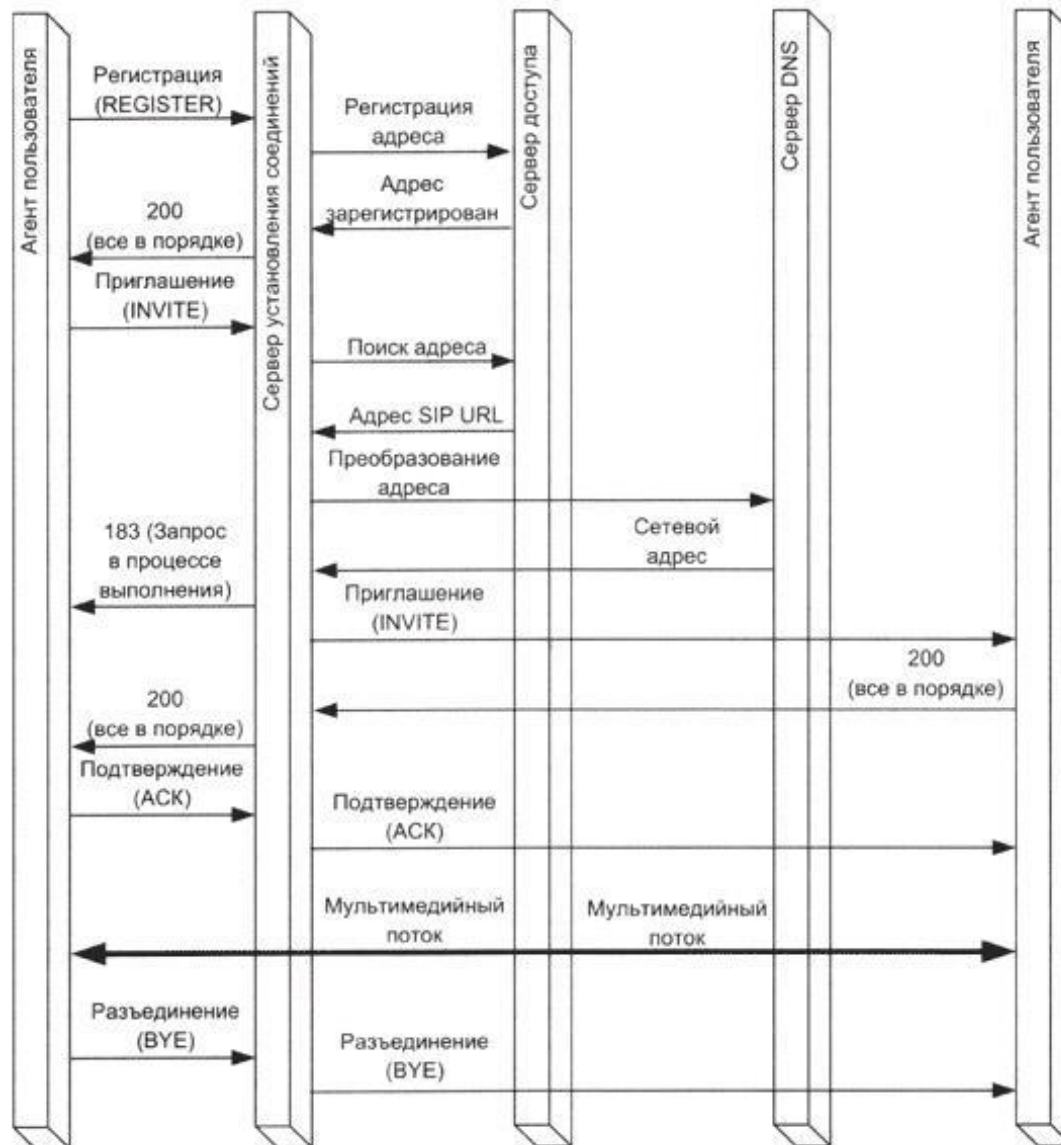
SIP (Session Initiation Protocol)

SIP — протокол сигнализации, предназначенный для организации, изменения и завершения сеансов связи. SIP независим от транспортных технологий, однако при установлении соединения предпочтительно использовать UDP. Для передачи самой

голосовой и видеоинформации рекомендовано применять RTP, но возможность использования других протоколов не исключена.

В SIP определены два типа сигнальных сообщений — запрос и ответ. Также существует шесть процедур:

INVITE (приглашение) — приглашает пользователя принять участие в сеансе связи (служит для установления нового соединения; может содержать параметры для согласования); BYE (разъединение) — завершает соединение между двумя пользователями; OPTIONS (опции) — используется для передачи информации о поддерживаемых характеристиках (эта передача может осуществляться напрямую между двумя агентами пользователей или через сервер SIP); ACK (подтверждение) — используется для подтверждения получения сообщения или для положительного ответа на команду INVITE ; CANCEL (отмена) — прекращает поиск пользователя; REGISTER (регистрация) — передает информацию о местоположении пользователя на сервер SIP, который может транслировать ее на сервер адресов (Location Server).



## Кодеки

Аудиокодеком называют программу или алгоритм, который сжимает, либо разжимает цифровые звуковые данные, позволяя снизить требования к пропускной способности канала передачи данных. В IP-телефонии на сегодняшний день наиболее распространено преобразование посредством кодека G.729, а также сжатие G.711 по А-закону (alaw) и  $\mu$ -закону (ulaw).

### G.729

G.729 является кодеком, который сжимает исходный сигнал с потерей данных. Основная идея, заложенная в G.729 — передача не самого оцифрованного сигнала, а его параметров (спектральной характеристики, количества переходов через ноль), достаточных для последующего синтезирования на принимающей стороне. При

этом все основные характеристики голоса, такие как амплитуда и тембр сохраняются.

Пропускная способность канала, на которую рассчитан данный кодек — 8 кбит/с. Длина кадра обрабатываемого G.729 — 10 мс, частота дискретизации — 8 кГц. Для каждого из таких кадров определяются параметры математической модели, которые в дальнейшем и передаются в канал в виде кодов.

При использовании кодирования G.729 задержка составляет 15 мс, из которых 5 мс тратится на заполнение предварительного буфера. Отметим также, что кодек G.729 предъявляет достаточно высокие требования к ресурсам процессора.

### G.711

G.711 — голосовой кодек, который не предполагает никакого сжатия, помимо компандирования — метода уменьшения эффектов каналов с ограниченным динамическим диапазоном. В основе данного метода лежит принцип уменьшения количества уровней квантования сигнала в области высокой громкости, сохраняя при этом качество звука. Две широко используемые в телефонии схемы компандирования — *alaw* и *ulaw*.

Сигнал в данном кодеке предоставлен потоком величиной 64 кбит/с. Частота дискретизации — 8000 кадров по 8 бит в секунду. Качество голоса субъективно лучше, нежели при применении кодека G.729.

*alaw*

*alaw* или А-закон — алгоритм сжатия звуковых данных с потерей информации. В основном используется на территории Европы и России.

Для сигнала  $x$  преобразование по алгоритму *alaw* выглядит следующим образом:

$$F(x) = \text{sgn}(x) \begin{cases} \frac{A|x|}{1+\ln(A)}, & |x| < \frac{1}{A} \\ \frac{1+\ln(A|x|)}{1+\ln(A)}, & \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1, \end{cases}$$

Где  $A$  — параметр сжатия (обычно принимается равным 87,7).

*ulaw*

*ulaw* или  $\mu$ -закон — алгоритм сжатия звуковых данных с потерей информации. В основном используется на территории Японии и Северной Америки.

Для сигнала  $x$  преобразование по алгоритму *ulaw* выглядит следующим образом:

$$F(x) = \text{sgn}(x) \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)} \quad -1 \leq x \leq 1$$

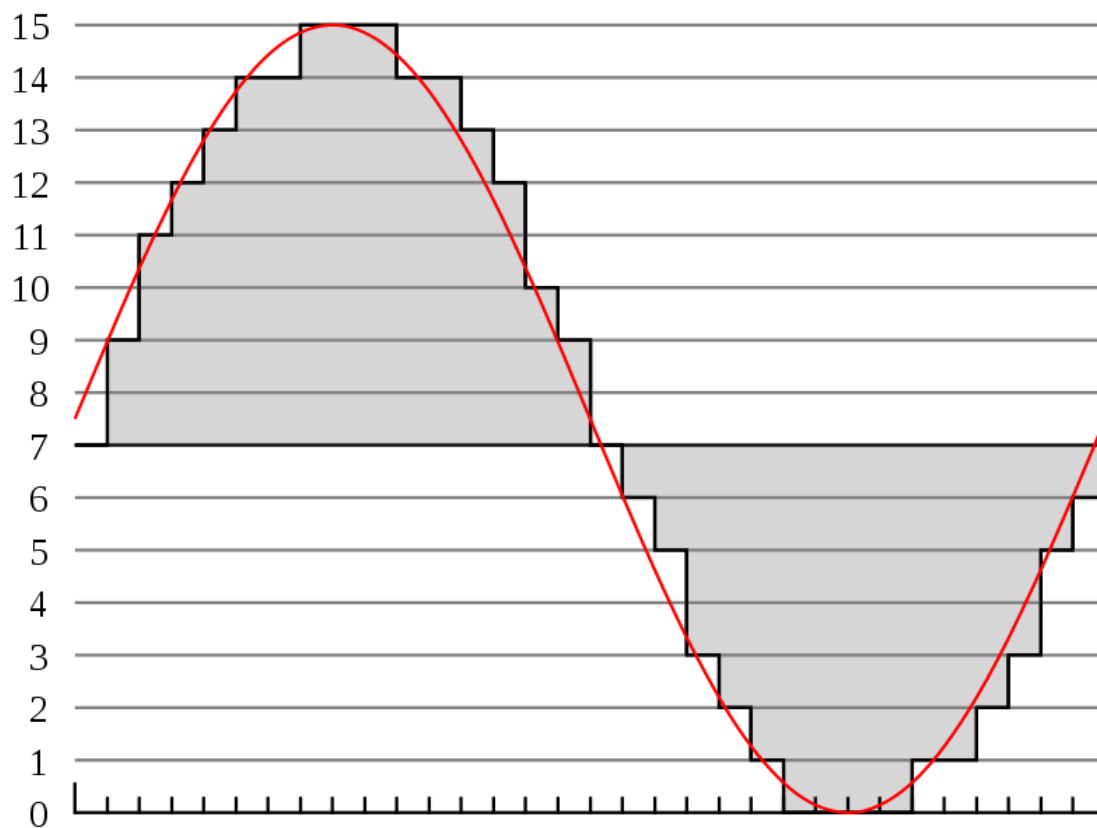
где  $\mu$  принимается равным 255 (8 бит) в стандартах Северной Америки и Японии.

Импульсно кодовая модуляция (PCM — Pulse Code Modulation)

Импульсно кодовая модуляция — передача непрерывной функции в виде серии последовательных импульсов.

Для получения на входе канала связи модулированного сигнала, мгновенное значение несущего сигнала измеряется АЦП с определенным периодом. При этом количество оцифрованных значений в секунду (иначе, частота дискретизации) должно быть большим или равным двукратной максимальной частоте в спектре аналогового сигнала.

Далее полученные значения округляются до одного из заранее принятых уровней. Заметим, что количество уровней необходимо принимать кратным степени двойки. В зависимости от того, сколько было определено уровней, сигнал кодируется определенным количеством бит.



На данном рисунке представлено кодирование с помощью четырех битов (то есть все промежуточные значения аналогового сигнала будут округляться до одного из заранее заданных 16 уровней). Для примера, при времени равно нулю сигнал будет представлен подобным образом: 0111.

При демодуляции последовательность нулей и единиц преобразуется в импульсы демодулятором, уровень квантования которого равен уровню квантования

модулятора. После этого ЦАП на основе данных импульсов восстанавливает сигнал, а сглаживающий фильтр окончательно убирает неточности.

В современной телефонии число уровней квантования должно быть большим или равным 100, то есть минимальное количество бит, которым может кодироваться сигнал — 7.

Вопросы качества обслуживания в IP-телефонии (Quality of Service — QoS)

В сетях на основе стека TCP/IP высокое качество обслуживания трафика, чувствительного к задержкам передачи не обеспечивается по умолчанию. При использовании протокола TCP имеется гарантия достоверной доставки информации, но ее перенос может осуществляться с непредсказуемыми задержками. Для UDP характерна минимизация задержек, но гарантия верной доставки пакета отсутствует.

В то же время добротность речевого трафика сильно зависит от качества передачи, и в сети, где не реализованы механизмы, гарантирующие соответственное качество, реализация IP-телефонии может быть не удовлетворяющей требованиям пользователей.

Основными показателями качества обслуживания являются пропускная способность сети и задержка передачи. Задержка при этом определяется как промежуток времени, прошедший с момента отправки пакета, до момента его приема.

Также существуют такие характеристики, как готовность сети и ее надежность (оцениваются по результатам контроля уровня обслуживания в течение длительного времени, либо по коэффициенту использования).

Для улучшения качества связи используются следующие механизмы:

Перемаршрутизация. При перегрузке одного из каналов связи позволяет осуществить доставку при помощи резервных маршрутов. Резервирование ресурсов канала связи на время соединения. Приоретизация трафика. Дает возможность пометить пакеты в соответствии с уровнем их важности и производить обслуживание на основе меток.

Как было сказано ранее, голосовой трафик чрезвычайно чувствителен к задержкам передачи. Максимальное время задержки не должно превышать 400 мс (сюда включается и продолжительность обработки информации на конечных станциях). Различают два основных типа задержек:

— Задержка при кодировании информации в голосовых шлюзах или терминальном оборудовании. Уменьшается путем улучшения алгоритмов обработки и преобразования голоса. — Задержка, вносимая сетью передачи. Уменьшается путем улучшения сетевой инфраструктуры, в частности, сокращением количества маршрутизаторов и использованием высокоскоростных каналов.

Источники задержки в IP-телефонии



## Джиттер

Еще одно явление, характерное для IP-телефонии — джиттер, или, иначе, случайная задержка распространения пакета.

Обуславливается джиттер тремя факторами:

Ограниченная полоса пропускания или некорректная работа активных сетевых устройств; Высокая задержка распространения сигнала; Тепловой шум.

Наиболее часто применяющийся метод борьбы с джиттером — джиттер-буфер, хранящий определенное количество пакетов.

Обычно предусматривается динамическая подстройка длины буфера в течение всего времени существования соединения. Для выбора наилучшей длины используются эвристические алгоритмы.

## Джиттер буфер

Для компенсации неравномерной скорости поступления пакетов на приемной стороне создают временное хранилище пакетов, или так называемый джиттер буфер. Его задача, собрать поступающие пакеты в правильном порядке в соответствии с временными метками и выдать их кодексу с правильными интервалами и правильном порядке.

## Джиттер буфер

Размер буфера приемное VOIP устройство рассчитывает в процессе работы, либо принудительно задается в настройках. С одной стороны он не может быть слишком большим, чтобы не увеличивать транспортную задержку. С другой стороны, маленький размер буфера вызывает потери пакетов при изменениях времени задержки в IP сети.

Отсюда и происходит одно из главных противоречий, между интернет провайдерами и пользователями IP телефонии. С точки зрения провайдера все пакеты доставлены абоненту, то есть, потерь нет. А с точки зрения VoIP устройства, разница во времени между приходом пакетов значительно превышает джиттер буфер. Поэтому фактически потери есть. На практике потеря более 1% вызывает определенные неприятные ощущения. При 2% разговор оказывается затруднен. При значениях больше 4% разговор уже практически невозможен.

## Размер джиттер буфера

Случайная задержка распространения  $J_i$  для  $i$ -го пакета может определяться по формуле:

где:  $D_i$  – отклонение от ожидаемого времени прибытия  $i$ -го пакета. Отклонение от ожидаемого времени прибытия  $i$ -го пакета  $D_i$  определяется по формуле:

где:  $R$  – время прибытия пакета в метках времени RTP,  $S$  – временная метка RTP, взятая из пакета.

Приведем пример расчета ожидаемого размера случайной задержки распространения 5-го пакета, на основе двух предыдущих.

Пусть  $J_4=10$  мс;  $R_4=10$ ,  $R_3=11$ ,  $S_4=6$ ,  $S_3=5$ , тогда  $D_5$  будет равно  $(10-11)-(6-5)=-2$ .

В среднем, случайная задержка времени распространения для одного пакета в текущем примере составит 10 мс (точнее можно посчитать по формуле, приведенной выше). Тогда для того, чтобы ни один пакет не был отброшен, размер джиттер буфера должен быть равным 10 мс.

Для определения требуемого размера джиттер буфера в мегабайтах, домножим полученное значение на 100 мбит/сек – среднюю пропускную способность сети:  
 $10 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 128$  кб.

Размер джиттер-буфера должен быть больше, чем флуктуация транзитного времени в сети. Например, если для 10 пакетов время транзита колеблется от 5 до 10 мс, то буфер должен быть хотя бы 8 мс, чтобы ни один пакет не был потерян. Лучше, если буфер еще больше, например 12 мс, тогда сможет работать механизм перезапроса потерянных пакетов. Решения для развертывания телефонной сети

## Asterisk

Asterisk — программная АТС, способная коммутировать как VoIP вызовы, так и вызовы, осуществляемые между IP-телефонами и традиционной телефонной сетью общего пользования.

Поддерживаемые протоколы: IAX, SIP, H.323, Skinny, UNISTim. Поддерживаемые кодеки: G.711 (ulaw и alaw), G.722, G.723, G.729, GSM, iLBC, LPC-10, Speex.

Asterisk — динамично развивающееся открытое программное обеспечение, которое может быть установлено без оглядки на лицензирование. Это делает данную программную АТС привлекательной для малого и среднего бизнеса. Количество абонентов в сети может достигать 2000 и ограничено только мощностью сервера.

Еще одно достоинство Asterisk — возможность гибкой настройки. Весь необходимый функционал либо уже реализован, либо может быть дописан самостоятельно без существенных временных и денежных затрат. Этому способствует принцип: одна задача — один программный модуль.

В сравнении с решениями от таких вендоров, как Cisco или Avaya, Asterisk привлекателен еще и стоимостью развертывания. Фактически все затраты сводятся только к покупке телефонных аппаратов и сервера, способного обеспечить требуемую нагрузку на сеть. Сама программа абсолютно бесплатна.

## Cisco Unified Communication Manager (CallManager)

CallManager предназначен скорее для крупных сетей, включающих до 30000 абонентов. Данный программно-аппаратный комплекс обеспечивает надежность работы и позволяет конфигурировать множество параметров, таких как

переадресация звонков или голосовое меню. Существует и “облегченная” express версия, предназначенная скорее для небольших офисов.

Из преимуществ Cisco CallManager следует отметить в первую очередь знаменитую техническую поддержку корпорации Cisco. При соответствующем уровне контракта на обслуживание, любая проблема, начиная с вопросов по настройке и заканчивая вышедшим из строя оборудованием, будет решена практически мгновенно. Поэтому Cisco CallManager подойдет компаниям, готовым платить немалые деньги, но и получать при этом высочайшее качество обслуживания.

### Avaya IP Office

Система IP Office может стать неплохим выбором для среднего размера телефонной сети. Количество абонентов здесь ограничено не только мощностью сервера, но и количеством приобретенных лицензий. Лицензировать необходимо практически все — платы расширения, используемые приложения и т.д., что может доставить определенные неудобства.

Конфигурирование может осуществляться через ряд программ, но наиболее популярная и простая в обращении — Avaya IP Office Manager. Также возможно управление через консоль с помощью Avaya Terminal Emulator.

В целом, продукция корпорации Avaya не ограничивается одним IP Office. Avaya, в 2009 году слившаяся с еще одним известным производителем Nortel, является признанным лидером на рынке оборудования для IP-телефонии.

Что можно почитать по теме:

Wendell Odom — все его книги хороши. “IP-телефония в компьютерных сетях”. И.В. Баскаков, А.В. Пролетарский, С.А. Мельников, Р.А. Федотов. “IP-телефония”. Б. С. Гольдштейн, А. В. Пинчук, А. Л. Суховицкий. “Asterisk. Будущее телефонии”. Джим Ван Меггелен, Лейф Мадсен, Джаред Смит. “Протокол SIP. Справочник”. Б. С. Гольдштейн, А. А. Зарубин, В. В. Саморезов.

## UDP TCP

### Протоколы обрезания UDP

UDP является быстрым, но крайне нестабильным сетевым протоколом. В отличие от TCP, у пакетов UDP нет гарантии что они доедут до конца. Поэтому они быстрые, но на них надеяться нельзя.

Поэтому они подходят для организации обрезания скорости трафика:

- CIRv4 - CIR для IPv4
- CIRv6 - CIR для IPv6

## Заключение

Данная книга в тираже 12000 была составлена для предприятия  
“РосГосОборонЗаказСет РосКомНадзор РосСетьНадзор РосГосПредприятие номер  
303 по производству сетевых серверов”.

Все права защищены.