

Дополнительная лекция. Принципы построения VoIP-систем

VoIP (Voice over IP — голос через IP) — системы передачи человеческой речи через IP-сети (через интернет). К числу таких систем относятся открытые (работающие по открытым протоколам) сети традиционной VoIP-телефонии, а также ряд закрытых систем (наиболее широко из них распространены система Skype а также ряд современных мессенджеров).

Традиционные системы VoIP-телефонии включают два класса в зависимости от применяемого протокола: H.323 или SIP. Разработанный в 1996 году протокол H.323 предназначен для организации систем VoIP-телефонии и видеоконференцсвязи и до сих пор широко используется для организации видеоконференцсвязи. Но в области VoIP-телефонии его практически вытеснил протокол SIP, разработанный несколькими годами позже. Он начал создаваться в том же 1996-м, но первый стандарт на этот протокол был утвержден в конце 2000-го. Подавляющее большинство современных систем VoIP-телефонии базируются именно на этом протоколе (поэтому системы, основанные на H.323, далее не рассматриваются).

В данной лекции сначала рассмотрим общие принципы передачи речевого сигнала через IP-сеть, затем организацию и методы построения VoIP систем на примере SIP систем VoIP-телефонии. И наконец, кратко остановимся на особенностях организации работы Skype.

1. Общие принципы передачи речевого сигнала через IP-сеть

Рассмотрим представленный на рис. 1 тракт передачи оцифрованного речевого сигнала через IP-сеть.



Рис. 1. Схема передачи оцифрованного речевого сигнала через IP-сеть

На этом рисунке R_1 – R_n — это цепочка маршрутизаторов длиной n (route length) вдоль пути между абонентскими устройствами (компьютерами или VoIP-

телефонами), взаимодействующими в рамках сеанса VoIP-связи. Кодеки — это специальные программы, работающие на оборудовании абонентских устройств и выполняющие функции по компрессии/декомпрессии передаваемого цифрового сигнала и по частичному устранению искажений речевого сигнала, вызванных потерей пакетов (о причинах потерь см. ниже). Компрессия сигнала необходима для снижения необходимой для его передачи емкости свободной части каналов.

Потребность хотя бы в частичном устранении искажений речевого сигнала, вызванных потерей пакетов, обеспечивается достаточно просто.

Способ основан на передаче исходного цифрового сигнала через N подпотоков (мультиплекситуемых по времени в одном используемом канале) таким образом, что первые N сигналов передаются как совокупность первых сигналов через все подпотоки, вторые N сигналов — как совокупность вторых сигналов и т. д. Тогда с учетом непрерывности исходного аналогового речевого сигнала, дискретный цифровой образ которого передается по сети, при потере одного из пакетов, передаваемого через какой-то подпоток, его содержимое достаточно достоверно может быть восстановлено на базе содержимого соответствующих по номеру пакетов, передаваемых через другие подпотоки.

В частности, при использовании двух подпотоков значение каждого сигнала из потерянного пакета может быть получено путем линейной аппроксимации из значений соседних с ним в интегрированном потоке, но пересылаемы в соответствующем пакете другого подпотока. Применение линейной аппроксимации вполне корректно ввиду непрерывности функции аналогового речевого сигнала. Если при использовании всего двух звуковых подпотоков возможно восстановление лишь единичных потерянных пакетов, то при большем числе подпотоков могут восстанавливаться несколько подряд идущих потерянные пакеты.

Риск потери пакетов, передаваемых через IP-сеть в VoIP-системах, связан со следующим обстоятельством. Во избежание больших задержек групп пакетов (это возможно при применении транспортного протокола TCP и вызывает существенные искажения воспринимаемого пользователем принятого речевого сигнала) в VoIP-системах для передачи речевого сигнала используются протоколы, построенные над транспортным протоколом UDP, допускающим потери пакетов. Зачастую основной причиной возможных потерь пакетов являются не потери в каналах передачи данных, связанные с искажением

отдельных пакетов, а потери пакетов в очередях маршрутизаторов. Дело в том, что каждый маршрутизатор обрабатывает пакеты некоторого множества (динамически меняется количество и объем требуемой емкости выходных портов) проходящих через него потоков данных. Если темп поступления пакетов в некий порт маршрутизатора превышает скорость перенаправления пакетов в соответствующий выходной порт, то поступающие пакеты заносятся в очередь входного или выходного порта. Однако очереди маршрутизаторов имеют конечную длину. Поэтому при переполнении очередей пакеты могут выбрасываться. Отметим, что причиной эпизодических потерь пакетов может быть и краткосрочная некорректность таблиц маршрутизации в моменты их перевычисления протоколами управления маршрутизацией.

Аналогичная схема передачи потоков оцифрованных аудиоданных применяется и для передачи видеоданных. Различие лишь в том, что вместо аудиокодеков должны использоваться видеокодеки.

2. Общая организация, методы работы и протоколы традиционных систем SIP VoIP-телефонии

Традиционная система SIP VoIP-телефонии включает множество абонентских устройств и сервер VoIP-телефонии (VoIP-АТС — автоматическая телефонная станция), связанные друг с другом через сколь угодно распределенную IP-сеть. В качестве абонентских устройств могут использоваться как аппаратные IP-телефоны (включая видеотелефоны), так и специальные клиентские программы (называются также программными IP-телефонами), реализующие функции видеотелефонов. Часто IP-телефоны называют SIP-телефонами — по имени протокола SIP, используемого при взаимодействии абонентского устройства с сервером VoIP-телефонии (SIP-телефонии). В качестве таких серверов могут выступать специальные аппаратно-программные продукты или обычные компьютеры с установленным на них программным обеспечением VoIP-АТС. В качестве примера аппаратно-программной VoIP-АТС можно указать Cisco Unified Communication Manager. Наиболее широко применяемыми программными реализациями VoIP-АТС являются свободно распространяемые системы Asterisk и Freeswitch. Первая включает дополнительное ПО (например, биллинговую систему), вторая обеспечивает примерно в 5 раз большее

количество одновременно обслуживаемых VoIP-соединений. Информация обо всех упомянутых VoIP-АТС широко представлена в интернете.

Аппаратные IP-телефоны обычно имеют встроенный двухпортовый коммутатор Ethernet, применяемый для подключения к сети через одну сетевую розетку RJ-45 как самого IP-телефона, так и компьютера пользователя этого телефона. Указанный коммутатор получает электропитание с использованием возможности PoE (Power over Ethernet) и не требует установки дополнительной электрической розетки. Это позволяет без какой-либо модификации сетевых и электрических кабельных систем установить IP-телефоны для всех пользователей компьютеров корпоративной сети и полностью построить систему внутрикорпоративной телефонии на базе VoIP-технологий, как это и сделано, например, в Южном федеральном университете.

Перед тем как рассмотреть принципы и протоколы работы систем VoIP-телефонии, вкратце остановимся на способе адресации абонентов этой системы. В качестве адреса абонента используется аналог обычного телефонного номера, включающий определенное (настраиваемое для используемой VoIP-АТС) количество цифр. Некоторые префиксы этих номеров (значения их начальных цифр) могут использоваться в специальных целях, например для указания того, что следующие за этим номером цифры следует интерпретировать как номер ТфОП (телефонных сетей общего пользования) обычных телефонных сетей, включая междугородние и мобильные. В качестве других примеров использования префиксов можно привести указание на установление соединения с некоторой системой видеоконференцсвязи или с некоторой внешней (например, ведомственной) системой VoIP-телефонии. Естественно, что в сервере VoIP-АТС должен быть реализован соответствующий функционал.

Перейдем к описанию принципов работы систем VoIP-телефонии. Ядром таких систем является одна или несколько VoIP-АТС одного или различных типов. Мы ограничимся рассмотрением случая использования одной VoIP-АТС. Для подключения абонента к системе необходимо зарегистрировать этого пользователя в VoIP-АТС, указав IP-адрес и тип абонентского устройства, а также поддерживаемый этим устройством кодек и некоторую другую информацию. Отметим, что в абонентских устройствах разных типов (обычно разных производителей) могут использоваться различные типы (стандарты) кодеков. При

подключении абонентского устройства пользователя к сети выполняется конфигурирование этого устройства (в частности, задается IP-адрес VoIP-АТС).

После того как абонент системы VoIP-телефонии зарегистрирован на VoIP-АТС и его абонентское устройство должным образом подключено к сети и сконфигурировано, он может выполнять звонки любым другим абонентам этой системы по их номерам. При выполнении звонка абонентское устройство обращается в VoIP-АТС по протоколу SIP (Session Initiation Protocol — протокол установления сеанса; прикладной протокол, работающий над любым из транспортных протоколов) для установления сеанса обмена аудио- и видеопотоками между абонентскими устройствами инициатора и адресата соединения. Сервер VoIP-АТС на основании информации из созданной в процессе регистрации абонентов БД определяет, совпадают ли типы кодеков абонентских устройств инициатора и адресата соединения. Если совпадают, то средствами протокола SIP инициатору соединения сообщается IP-адрес адресата, который используется для установления *непосредственного соединения* по протоколу RTP. Соединение выполняется по кратчайшему маршруту, не зависит от степени удаленности VoIP-АТС и не создает абсолютно никакой нагрузки на сервер VoIP-АТС.

Если же типы кодеков инициатора и адресата VoIP-соединения различны, то сервер VoIP-АТС организует установление транзитного (через себя) соединения между инициатором и адресатом. Для этого ПО сервера VoIP-АТС должно включать кодеки всех типов, используемых в составе всех абонентских устройств системы. При этом каждое такое соединение создает дополнительную нагрузку на сервер, а длина маршрута между инициатором и адресатом соединения становится равной сумме длин маршрутов от каждого из них до VoIP-АТС. Поэтому при создании корпоративной системы IP-телефонии необходимо стремиться к унификации используемых абонентских устройств. Видимо, поэтому довольно популярная услуга предоставления виртуальной или облачной VoIP-АТС предоставляется при условии использования рекомендуемых поставщиком этой услуги абонентских устройств.

VoIP-соединение продолжается до момента его завершения одним из участников (рассмотрение обрыва связи выходит за рамки книги). Его абонентское устройство сообщает об этом по протоколу SIP серверу VoIP-АТС, который в свою

очередь средствами того же протокола информирует об этом другого участника соединения для корректной отработки им завершения соединения.

Мы рассмотрели упрощенную картину происходящего и не затронули организацию поцифрового приём номера адресата для анализа использования различных префиксов (например, выхода в ТфОП) и включения в работу соответствующих дополнительных функций (шлюзования с ТфОП).

В завершение кратко охарактеризуем протокол передачи потоков данных RTP. RTP (Real-time Transport Protocol — транспортный протокол реального времени), несмотря на наличие слова «транспортный» в его названии, является протоколом прикладного уровня, который может работать как над протоколом TCP, так и над UDP. Учитывая недопустимость задержек групп пакетов при потере единичного пакета, характерных для TCP, чаще используются реализации RTP, основанные на применении UDP. RTP — протокол реального времени, предназначенный для передачи потоковых данных «из конца в конец». В нем реализованы возможности компенсации *вариации задержек (jitter)* и обнаружения нарушений последовательности пакетов данных, зачастую возникающих при пересылке данных через IP-сети. Протокол RTP, применяемый совместно с кодеками, считается основным стандартом для передачи голоса и видео в IP-сетях. Может использоваться в сетях с групповым (multicast) вещанием, то есть для проведения видеоконференций (хотя для этих целей чаще выбирается протокол H.323, который может применяться и для построения систем VoIP-телефонии).

3. Некоторые особенности организации и использования системы Skype

Широко известная система Skype, в отличие от традиционных средств VoIP-телефонии, одновременно с функциями видеотелефонии может предоставлять дополнительные функции (мгновенный обмен сообщениями и файлами). Эта система также имеет ряд отличий от традиционных систем VoIP-телефонии. Главным является закрытость Skype. Информация об устройстве и внутренних компонентах системы (таких как VoIP-АТС и протоколы взаимодействия компонентов) доступна только нынешнему владельцу Skype — корпорации Microsoft. Справедливости ради следует отметить, что спецификации кодека SILK системы Skype (<https://ru.wikipedia.org/wiki/SILK>) являются открытыми. Они используются совместно со спецификациями другого свободно

распространяемого эффективного аудиокодека CELT (<https://www.linux.org.ru/news/opensource/2601080>) для разработки нового свободно распространяемого аудиокодекса Opus (<http://opus-codec.org>), обеспечивающего высокое качество передачи речи даже при весьма значительной доле потерянных пакетов.

По необходимости открытыми являются экранный интерфейс программы Skype (является единственно доступным программным абонентским устройством Skype-видеотелефонии), и способ адресации абонентов. В качестве адресов абонентов в системе используются мнемоничные имена, задаваемые при регистрации пользователя. Для доступа к абонентам ТфОП, предоставляемого через систему Skype, используются телефонные номера этих абонентов.

Поскольку «абонентские устройства» системы Skype используют один и тот же кодек SILK, все соединения между собственными абонентами этой системы нисколько не нагружают ее внутреннюю инфраструктуру (они идут по кратчайшим маршрутам между компьютерами абонентов и не проходят через серверы Skype, вероятно расположенные в тупиковом ответвлении от магистральной структуры интернета). Поэтому владельцы Skype смогли позволить себе сделать внутренние звонки между абонентами бесплатными.

Со звонками на телефоны ТфОП ситуация кардинально отличается. Во-первых, для каждого звонка устанавливается сетевое соединение между компьютером абонента и неким сервером системы Skype, реализующим функции телефонного шлюза между этой системой и ТфОП. Это создает определенную нагрузку на внутреннюю инфраструктуру Skype. Во-вторых, владельцы Skype должны платить оператору телефонной связи, к сети которого подключен упомянутый шлюз, за каждый «телефонный разговор» между шлюзом и абонентом ТфОП, которому звонил пользователь Skype. Поэтому за телефонные разговоры пользователей Skype с абонентами ТфОП взимается плата.