

КАЧЕСТВО РЕЧИ В IP-СЕТЯХ

В. Ю. Тарасов, К. И. Дроздов

Ситуация с передачей данных в IP-сетях во многом схожа с обстановкой на городских автомагистралях. Не случайно в английском языке одно из основных значений слова «трафик» — это автомобильное движение. Рост числа машин в Москве опережает темпы строительства дорог более чем в 4 раза. Автомобилисты вынуждены все больше и больше времени проводить в «пробках», искать маршруты объездов либо выбирать альтернативные способы передвижения — поездки на метро.

С увеличением доли голосовых пакетов в сети перед операторами связи регулярно возникает дilemma: на чем сконцентрировать основные усилия — на повышении эффективности управления качеством голосового трафика в существующих сетях или на построении дополнительных/резервных каналов связи? Сложности такого рода начали возникать в конце XX в., когда объем трафика в сетях передачи данных и Интернете превысил объем TDM-трафика традиционной телефонии. Это — то время, когда стала приобретать популярность услуга голосовой связи по каналам передачи данных, получившая название IP-телефонии. В большинстве случаев соединение осуществлялось по коммутируемым (dial-up) каналам и качество разговора оставляло желать лучшего: возникали перебои, фрагменты речи оказывались неразборчивыми, а иногда даже происходили разрывы соединений.

Сегодня, с развитием широкополосного Интернет-доступа, в сети появляется множество дополнительных конвергентных сервисов. Пользуются популярностью приложения голосовой и мультимедиа-связи, в Интернете распространяется цифровое телевидение. Таким образом, обеспечение гарантированного качества передачи речи в условиях высоких нагрузок на сети становится все более актуальным.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО ПЕРЕДАЧИ РЕЧИ

Качество голосовой связи в сетях передачи данных определяется параметрами доставки голосовых пакетов и качеством обмена сигнальными сообщениями. Параметры доставки голосовых пакетов оказывают влияние на разборчивость, искашение, задержки голосового сигнала, уровень громкости, наличие эха. Качество обмена сигнальными сообщениями определяет скорость установления и разрыва соединения, возможность его разрыва, задержки в появлении тонового сигнала, или попросту гудка.

К факторам, влияющим на качество IP-телефонии при одинаковом способе кодирования сигнала, относятся:

- задержка доставки пакета — промежуток времени, требующийся для передачи пакета через сеть;



Рис. 1. Задержки, возникающие при голосовой связи в пакетной сети

- джиттер (вариация задержки) — промежуток времени между доставкой двух последовательных пакетов;
- пропускная способность сети;
- вероятность потери пакетов;
- необходимая полоса пропускания.

Каждый из перечисленных факторов по-своему влияет на качество голосовой связи. Так, например, задержка приводит к перекрытию диалогов и появлению эха. На рис. 1 показаны задержки, возникающие на разных этапах установления голосовой связи между компьютерами абонентов пакетной сети.

В рекомендации Международного союза электросвязи (МСЭ) G.114 максимальное значение односторонней задержки (от абонента А к абоненту Б, см. рис. 1), при которой сохраняется высокое качество голоса, определено меньше или равным 150 мс. Задержка менее 200 мс тоже считается хорошим показателем, менее 400 мс — приемлема, выше 450 мс — уже делает разговор практически невозможным. Суммарная задержка складывается из ряда составляющих — как постоянных, так и переменных. К задержкам с постоянным значением времени относятся те, что возникают при кодировании/декодировании, инкапсуляции/декапсуляции и буферизации пакетов, их приеме и передаче. Значение задержки варьируется при постановке пакетов в очередь и передаче их по сети.

Эффективность использования доступной полосы пропускания канала напрямую зависит от алгоритма кодирования и декодирования голосовой информации.

Несмотря на сквозную поддержку оператором QoS, нарушение оговоренного качества иногда обуславливается коллизиями на «последней миле» у абонентов, будь то ADSL или технологии радиодоступа

Для контроля и обеспечения допустимых параметров, влияющих на качество при передаче голосового трафика, используются различные методы. Выбор технологии определяется типом сети, в которой передаются голосовые пакеты. В данном случае анализируемые сети можно разделить на две категории: позволяющие гарантировать необходимый уровень качества обслуживания и не позволяющие делать это. К первой категории отно-

сятся корпоративные и операторские IP-сети, ко второй — сеть Интернет.

КАЧЕСТВО РЕЧИ В КОРПОРАТИВНЫХ И ОПЕРАТОРСКИХ СЕТЯХ

Разработчики IP-протокола изначально предполагали использовать его для обмена данными, а не для голосовой связи в режиме реального времени. Поэтому пакеты одного и того же информационного потока маршрутизируются независимо друг от друга и время их обработки в узлах имеет широкий разброс. При пиковой загрузке каналов связи нет гарантии, что голосовые пакеты не будут простоять в очередях или получат более высокий приоритет по сравнению с менее чувствительными к задержкам данными. Для разрешения данной проблемы в IP-сетях используются механизмы, гарантирующие необходимый уровень качества обслуживания (Quality of Service — QoS). В настоящий момент существует три основных подхода к обеспечению необходимого уровня обслуживания в режиме реального времени. Это резервирование ресурсов, т. е. когда на время сеанса резервируются необходимые для работы приложения ресурсы; приоритизация трафика, или разделение его на классы с последующей приоритизацией порядка обслуживания; и перенархтуризация, т. е. перевод трафика на резервный маршрут при перегрузках сети.

Для реализации указанных методов применяются технологии Integrated Services (IntServ) и Differentiated Services (DiffServ) с использованием протокола резервирования ресурсов (Resource Reservation Protocol — RSVP). Каждая из них имеет свои особенности и область применения.

Обеспечение QoS на этапе передачи голосового трафика

Технология IntServ предполагает управление обслуживанием трафика на уровне потоков. Она реализует подход резервирования ресурсов и основана на протоколе сигнализации RSVP. В этом случае окончательные системы должны выдавать команды на резервирование ресурсов для каждого используемого ими потока в сети, а сеть — обеспечивать это резервирование. Руководствуясь информацией о запрошенных ресурсах, сеть может их предоставить или отказать приложению в их предоставлении, вынуждая его пересмотреть требования либо отложить сеанс связи. Существует две модели предоставления услуг: с контролем загрузки (Controlled Load Service) и с гарантией доставки (Guaranteed Service). Первая модель пред-

назначена для резервирования полосы пропускания по пути следования трафика, вторая — для предоставления услуг доставки с гарантиями полосы пропускания и задержки трафика. Оба сервиса требуют сложных и точных механизмов управления очередями (fair queuing), а также предварительной процедуры проверки доступности ресурсов (Call Admission Control).

По сути, RSVP является протоколом обмена сигнальными сообщениями, которые обеспечивают резервирование части пропускной полосы канала связи. Недостатком протокола RSVP является то, что зарезервированные ресурсы нельзя использовать для передачи других данных при снижении нагрузки в выделенном «речевом» канале связи. Если на маршруте голосового трафика встречается оборудование, не поддерживающее резервирование пропускной способности, то эффективность метода снижается. Протоколу RSVP свойственна высокая активность обмена сигнальными сообщениями. Большой объем обрабатываемой маршрутизаторами сигнальной информации накладывает жесткие требования на производительность данных устройств. Это осложняет расширение сети, поскольку количество сигнальных сообщений прогрессирует с увеличением установленных соединений. В связи с этим технология IntServ больше подходит для небольших оконечных и офисных IP-сетей и не рекомендуется к использованию в транзитных сетях.

Технология DiffServ позволяет преодолеть недостатки IntServ. В DiffServ выделяется несколько классов трафика, каждому из которых обеспечивается определенный уровень обслуживания. На периферийные устройства сети возлагаются задачи обработки трафика с целью отнесения его к какому-либо классу. На остальных устройствах все потоки данного класса обрабатываются одинаково. При этом устройства сети ничего не знают о состоянии каждого конкретного потока, в их задачу входит только обработка агрегированного потока (при этом считывается лишь одно поле в пакете) для всего класса. Таким образом, требования к магистральным устройствам снижаются, поскольку отпадает необходимость контролировать состояние всех потоков. Контроль над параметрами трафика (policing) и профилирование (shaping) также осуществляются для классов, а не для потоков.

В классификации QoS можно выделить срочную доставку пакета (Expedited Forwarding PHB), гарантированную доставку (Assured Forwarding PHB) и негарантированную доставку (Best Effort).

К недостаткам технологии DiffServ следует отнести то, что точность обеспечения качества услуг у нее ниже, чем у IntServ.

IP-ТЕЛЕФОНИЯ - КОМФОРТНОЕ ОБЩЕНИЕ

Новая улучшенная модель
IP-телефона (SIP).

VIP-154



- Реальная экономия с IP-тарифами
- Простое подключение к интернету без компьютера
- Телефонное качество связи
- Выгодная цена



www.planet.com.ru

Представительство Planet в России:
г. Москва, Врачебный проезд, дом 8, стр.1,
тел./факс: (495)942-52-32, (499)190-12-02,
e-mail: planet@planet.com.ru

Обеспечение QoS на этапе формирования голосового трафика

Для реализации определенного уровня обслуживания трафика разных классов в современных сетевых устройствах используются очереди пакетов. От алгоритмов формирования и обслуживания очередей напрямую зависит задержка распространения пакетов и параметры качества голосовой связи. На сегодняшний день разработано множество алгоритмов управления очередями. Наиболее часто применяются Low-Latency Queuing (LLQ), Random Early Detection/Weighted Random Early Detection (RED/WRED) и Modified Deficit Round Robin (MDRR).

В процедуре LLQ (очередь с малым временем ожидания) для обработки трафика, чувствительного к задержке, например, голоса или видео, используется выделенная очередь. В такой очереди всегда включена функция ограничения трафика, чтобы она не могла полностью блокировать обслуживание параллельных (не LLQ-) очередей.

Механизм RED/WRED, ориентированный на предупреждение перегрузок в сети, позволяет осуществлять интеллектуальный сброс пакетов на основании маркировки конкретного пакета в момент возникновения перегрузки. Пакеты сбрасываются случайным образом, однако статистически при достижении предварительно заданного порога заполнения очереди более активно откидываются пакеты с меньшим приоритетом.

И наконец, MDRR — это комбинированный механизм, обеспечивающий управление очередностью пакетов с учетом приоритетности трафика. В основе этого механизма лежит принцип циклического обслуживания (Round Robin). Алгоритм MDRR позволяет организовать одну высокоприоритетную LLQ-очередь для данных, чувствительных к задержкам, и несколько менее приоритетных очередей. Обслуживание очередей в MDRR происходит по двум основным схемам: со строгой и альтернативной приоритетностью. В первом случае высокоприоритетная очередь обслуживается каждый раз, когда в ней появляются данные, а затем обрабатываются остальные очереди. Это позволяет гарантировать качественный сервис для трафика чувствительного к задержкам, но негативно оказывается на обслуживании данных в других очередях. При работе механизма MDRR по второй схеме (с альтернативной приоритетностью) обслуживание идет в следующем порядке: высокоприоритетная очередь, одна из неприоритетных и снова высокоприоритетная.

КАЧЕСТВО РЕЧИ В ОТКРЫТЫХ СЕТЯХ

Если раньше провайдеры услуг VoIP в основном боролись за корпоративный сегмент рынка, то сейчас IP-телефония приходит в обычные квартиры. При этом задача предоставления услуг качественной голосовой связи сохраняет свою актуальность.

Как стало ясно из нашего исследования, около 8–10% хостов абонентов имеют среднее время отклика более 250 мс, что не позволяет обеспечить качественное голосовое соединение

Подключиться к Интернету и совершать звонки через сеть можно следующими путями:

- через оператора связи, который, помимо доступа в Интернет, имеет собственную IP-АТС и оказывает VoIP-услуги своим абонентам;
- через провайдера, предоставляющего только Интернет-доступ, а услуги голосовой связи оказываются на IP-АТС другой организации.

В первом случае услуги как доступа в Интернет, так и IP-телефонии пользователям предоставляются одной и той же компанией, в сети которой могут использоваться методы обеспечения и контроля QoS — в частности, приоритизация трафика. При осуществлении входящих или исходящих вызовов соглашение об уровне обслуживания (SLA) будет действовать не только на стыке операторских сетей и внутри транспортной сети Интернет-провайдера, но и на «последней мили», от IP-АТС до терминала абонента. В данной ситуации можно обеспечить приемлемое качество голосовой связи даже на относительно низких скоростях доступа в сеть. Тем не менее стоит отметить, что нарушение оговоренного качества, несмотря на поддержку QoS, иногда обуславливается коллизиями на «последней мили» у определенных абонентов. Скажем, снижение качества на DSL-линии может быть связано с сезонным «промоканием канала связи»; на соединения с использованием радиотехнологий Wi-Fi или WiMax могут оказывать влияние интерференция или посторонние радиопомехи.

Во втором случае, когда пользователь подключен к сети провайдера Интернет-услуг для работы с IP-АТС стороннего оператора IP-телефонии, все данные реального времени (RTP-трафик, Real-time Transport Protocol) будут маршрутизироваться аналогично другим типам потоков данных, некритичным к задержкам и потерям (HTTP, FTP). Многообразие технологий обеспечения качества сервиса, несогласованность параметров QoS между операторами связи и отсутствие единства в реализациях протоколов у разных производителей оборудования не позволяют гарантировать необходимое качество обслуживания в данной ситуации. Даже при скорости доступа в Интернет, равной 1 Мбит/с, можно наблюдать резкое снижение качества речевой передачи в часы пиковой нагрузки. Эта проблема частично решается за счет перехода на более скоростные тарифы доступа в сеть, однако качество сервиса в любом случае не будет гарантированным. Таким образом, на сегодня единственной возможностью обеспечить требуемый уровень голосовой связи в открытых сетях является использование услуг провайдера, предлагающего гарантированную скорость линии доступа вне зависимости от времени суток.

Авторами статьи предложена и исследована методика тестирования качества канала связи



Рис. 2. Распределение временных параметров отклика ping для множества хостов абонентов, использующих услуги IP-телефонии

между абонентами на пригодность установления голосового соединения в открытых сетях. Суть ее заключается в анализе параметров канала связи между абонентами (между абонентом и VoIP-сервером) на основе данных ICMP- и UDP-протоколов пересылки дейтаграмм. Для измерений использовалась процедура ping, основанная на отправке в адрес абонента (и обратно) тестовых ICMP-пакетов, содержащих произвольные данные. Процедура позволяет получить параметры прохождения пакетов от сервера IP-АТС до хоста абонента и характеризуется тремя количественными величинами: средним, максимальным и минимальным временем отклика (рис. 2).

На основе данных параметров вычисляется среднеквадратичное отклонение времени отклика хоста. Оно позволяет оценить степень стабильности работы хоста абонента и уровень джиттера. Таким образом, перед установлением соединения мы можем определить принципиальную возможность голосового обслуживания.

В ходе эксперимента было получено распределение времени по 289 результативным откликам хостов случайных посетителей Интернет-ресурса, для соединений с которыми число потерянных пакетов не превышало 5%. Результаты, отображенные на графиках, трактуются следующим образом: 5% хостов имели среднее время отклика (прохождение пакета туда и обратно) более 1000 мс, 15% хостов — более 300 мс, 100% хостов — более 0 мс.

Как видно из распределения, около 8–10% хостов абонентов имеют среднее время отклика более 500 мс (в одну сторону — 250 мс), что не позволяет обеспечить качественное голосовое со-

единение, даже если предположить, что пакеты в обоих направлениях распространяются с одинаковым временем задержки.

Комплексный анализ параметров, полученных в результате использования данной методики, позволяет накладывать более жесткие ограничения на канал связи и устанавливать соединения, обеспечивающие требуемое качество передачи голоса. Однако само понятие качественной передачи речи является достаточно субъективным. Одного абонента все устраивает, другому ничего не слышно: и ему кажется, что все искажено. Оценивать качество по жалобам клиентов бессмыслиценно, хотя именно они стимулируют операторов к улучшению предоставляемого сервиса.

Для анализа качества речи МСЭ выпустил две рекомендации: Р.800 — Mean Opinion Score (MOS) и Р.861 — Perceptual Speech Quality Measurement (PSQM). Компания British Telecom разработала собственный алгоритм: Perceptual Analysis/Measurement System (PAMS).

Методология MOS определяет «ручной» способ получения средней оценки качества речи на основе тестирования речевых фрагментов, переданных по сети связи. Тест включает в себя запись различных, заранее выбранных речевых фрагментов и их последующее воспроизведение смешанной группе мужчин и женщин при контролируемых условиях. Оценки, данные этой группой, затем усредняются, чтобы дать единственную оценку MOS, колеблющуюся между 1 (наихудший) и 5 (наилучший). Оценку MOS 4 можно считать стандартом «телефонного» качества.

Спецификация Р.861, или PSQM, определяет методику, с помощью которой можно автоматизировать оценку качества речи по шкале MOS. Однако эта методика неприменима для тестирования VoIP-систем, поскольку в ней не учитываются возникающие задержки при передаче голоса.

Методика PAMS компании British Telecom определяет алгоритм, согласно которому тест выполняется путем передачи речи или речеподобного сигнала в одной оконечной точке сети и захвата этого же сигнала на другой оконечной точке. Оценка качества вычисляется с помощью математического сравнения исходного и полученного сигнала. Так же как и в MOS, здесь применяется 5-балльная система. Взяв данную технологию на вооружение, можно реализовать системы мониторинга качества голоса в реальном времени. На пограничных узлах сети устанавливается программный модуль, генерирующий VoIP-вызовы и передающий заранее записанный тестовый RTP-фрагмент в сеть. На принимающей стороне устанавливается аналогичный программный мо-

дуль, который осуществляет получение и запись переданного фрагмента. Далее информация передается в центр обработки, где происходит анализ исходного и переданных фрагментов, на основе которого строится оценка качества.

Другим интересным способом оценки состояния голосовой сети является методика анализа работоспособности каналов связи на основе параметров сигнального трафика. Методика описана в стандарте МСЭ E.411 (International Network Management — Operational Guidance). Анализируя корреляцию кодов завершения вызовов в сигнальных сообщениях и собирая статистику отказов, можно получить картину доступности маршрутов в режиме реального времени. Информация о доступности удаленных узлов регулярно поступает из детализированных протоколов вызовов в программных коммутаторах и содержит данные как об успешных, так и о неуспешных попытках соединения. Для количественной оценки состояния сети используются описанные ниже коэффициенты.

Коэффициент Answer Seizure Ratio (ASR) определяет процентное отношение числа обслуженных вызовов к общему числу попыток совершить вызов в данном направлении. Значение данного параметра выражает эффективность предоставляемого сервиса. Так как случаи занятости абонентской линии и другие ситуации, когда сбрасывается вызов, считаются неудачными попытками соединения, величина коэффициента может меняться в зависимости от поведения вызываемого абонента.

Коэффициент Answer Bid Ratio (ABR) рассчитывается как процентное отношение числа запросов линии, приведших к ответу, к общему числу

Оценивать качество голосового соединения по жалобам клиентов бессмысленно в силу их субъективности, поэтому для подобной оценки существуют специальные методики МСЭ

запросов линии в данном направлении. Параметр выражает эффективность передачи трафика и отличается от ASR тем, что учитывает попытки соединений, не приведшие к выделению логического канала передачи данных.

Коэффициент Network Effectiveness Ratio (NER) отражает способность сети передачи дан-

ных доставлять вызовы до конечных терминалов в заданном направлении и позволяет исключить фактор зависимости от поведения конечного пользователя, давая тем самым наиболее объективное представление о качестве канала связи. Значение NER рассчитывается как процентное отношение (число обслуженных вызовов + число вызовов, когда абонент был занят, + число вызовов, на которые не ответили, + число вызовов, отвергнутых окончным оборудованием абонента) / общее число вызовов.

Расчет коэффициента NER в режиме реального времени и предварительное задание допустимых пороговых значений этого показателя позволяют строить отчеты о качестве сети передачи данных как в целом, так и по отдельным маршрутам и предпринимать меры оперативного реагирования в целях поддержания этого качества на заданном уровне. Одной из таких мер является перенаправление вызовов рассматриваемого направления на резервный маршрут. Под направлением здесь понимается географическая область, характеризуемая, например, соответствующим кодом международного телекоммуникационного плана нумерации. Идея состоит в формировании маршрутного реестра, где все возможные маршруты на каждое направление отсортированы в порядке убывания весовой функции, учитывающей показатели качества. В дальнейшем предполагается динамическая корректировка реестра при изменении картины распределения коэффициентов NER по маршрутам заданного направления.

* * *

Как правило, основные помехи, влияющие на качество передачи речи в IP-сетях, возникают на «последней милю» абонента, а не на операторском сегменте. Коллапсы на операторском уровне, приводящие к возникновению проблем у всех абонентов, случаются довольно редко, но даже в случае их возникновения оператор несет за них финансовую ответственность. Это и отличает ситуацию в пакетных сетях от сегодняшней обстановки на дорогах.

Об авторах

Тарасов Валерий Юрьевич,
канд. техн. наук,
ведущий менеджер компании «АМТ-Групп»
Телефон: (495) 725-7660
vtarasov@amt.ru

Дроздов Константин Игоревич,
ведущий инженер компании RegionCom
k.drozdov@gmail.com