

# ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

## Контроль качества в сетях IP



**А.В. Кузовлев**  
Ведущий инженер НПП «КОМЕТЕХ»

Конкуренция на рынке телекоммуникационных услуг растет с каждым годом, операторы развивают свои магистральные сети, расширяя территориальное покрытие. Соответственно падает и стоимость услуг. При этом предложение зачастую превышает спрос, поэтому клиентам есть из чего выбирать.

Появляются все новые и новые технологии. Сети на базе IP теперь доставляют не только данные, но и служат транспортом для самых разных сервисов (таких как передача данных, голоса, видео, сетевые игры, функции приложений и т.д.) с различными и нередко противоречивыми требованиями к параметрам сети. И все перечисленные приложения требуют от транспортной среды обеспечения заявленных параметров качества. В таких условиях необходимо согласовать выдвигаемые клиентом требования к сети и возможности, которые может предложить оператор. В развитии рынка телекоммуникаций вопрос качества сервиса играет важнейшую роль.

С точки зрения сети IP, по которой осуществляется транспорт сетевых сервисов, качество транспортной среды определяется следующими параметрами:

- полосой пропускания, номинальной пропускной способностью среды передачи, определяющей ширину канала;
- потерей пакетов IP (Packet Loss);
- круговой задержкой (RTD, RTL);
- вариацией задержки (PDV).

Некоторые из этих параметров описываются методикой RFC-2544.

### Тестирование по методике RFC-2544

Стандарт RFC-2544, установленный IETF, является стандартом де-факто для разнопланового тестирования сетей Ethernet. Стандарт описывает сценарий автоматизированной процедуры тестирования Ethernet канала с перерывом в обслуживании (рис. 1). В сценарии фиксированы ключевые параметры для четырех тестов: пропускной способности (Throughput), задержки распространения пакетов (Latency), зависимости уровня потерь пакетов от загрузки канала (Frame loss) и максимальной пропускной способности канала (Back-to-back). Методология определяет размеры кадров, продолжительность испытания и число повторений этих испытаний.

Чтобы гарантировать способность сети Ethernet к поддержке различных услуг (таких как VoIP, видео и т.д.), тест RFC-2544 поддерживает набор из семи предопределенных размеров кадров (64, 128 и так далее до 1518 байт), чтобы моделировать различные условия трафика. Малые размеры кадров увеличивают число переданных кадров, таким образом, задавая стрессовое тестирование сети с последующим переключением на кадры больших размеров.

Стандартное тестирование по методике RFC-2544 подразумевает использование кадров со стандартизированной длиной. В современных сетях Ethernet бывает полезно проводить более широкое тестирование такого же типа, но уже с Jumbo-пактами. При этом в приборе должна быть возможность установки дополнительно

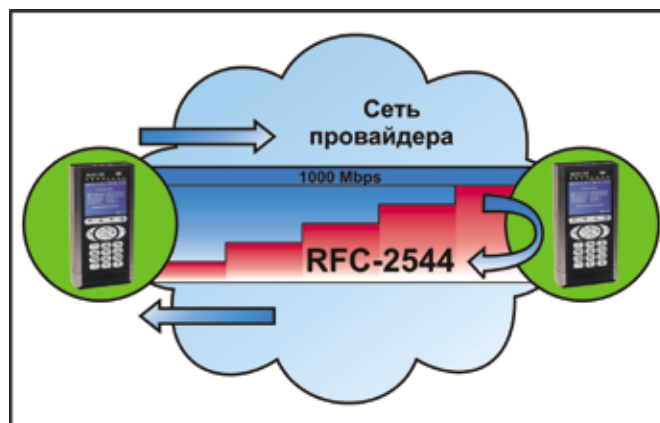


Рис. 1

любых других длин пакетов длиной от 64 до 9600 байт.

Также бывает полезна поддержка тестирования по методике RFC-2544 с двух интерфейсов одновременно, так как время проведения одного теста фиксировано и достаточно продолжительно.

### Функция шлейфа

Тестирование сетей Ethernet с помощью функции шлейфа в приборах весьма распространено. Такое тестирование позволяет снизить время диагностики и локализовать проблему. С помощью шлейфа различного уровня можно проводить тесты RFC-2544 или BERT, а также любое другое тестирование, требующее «заворот» передаваемого трафика в обратном направлении. На порту при включенной функции шлейфа одновременно можно просматривать статистику по принимаемым и передаваемым пакетам, на любом из уровней, осуществлять выборку входящего трафика, отфильтровывать пакеты, предназначенные для сетевого стыка этого интерфейса.

Функцию шлейфа можно реализовать на любом из трех нижних уровней модели IP: физическом, канальном или сетевом. При этом чтобы алгоритм заворота трафика работал верно, требуется перестановка либо подмена полей пакета, соответствующих каждому из уровней. Для канального уровня – это MAC-адреса источника и получателя, для сетевого уровня IP-адреса источника и получателя.

Обычно тестеры сетей Ethernet могут выступать как ведущим устройством, генерирующим различные тесты (BERT, RFC-2544), так и ведомым, способным

устанавливать «заворот» трафика при помощи функции Шлейф как под управлением с ведущего устройства, так и самостоятельно (рис. 2).

Стандартное тестирование обычно начинается со стороны ядра сети, а заканчивается на точке, соседней пользовательскому устройству. В этом случае прибор-тестер сети может быть подключен вместо устройства пользователя.

Функция шлейфа может быть включена на удаленном конце как вручную, так и удаленно, к примеру по протоколу OAM. При этом с прибора, выполняющего функцию тестера Ethernet-канала, необходимо послать OAM-сообщение о включении шлейфа на удаленном конце. Удаленный прибор, отлавливая это сообщение, включает шлейф. После этого можно проводить тестирование канала с «заворотом» трафика.

### Стресс-тестирование Ethernet

Стресс-тестирование подразумевает генерацию трафика с разными статическими и динамически меняющимися параметрами. При этом применяются пакеты длиной от 64 до 1518 байт или Jumbo-пакеты до 9600 байт. Jumbo-пакеты – это сверхдлинные Ethernet-кадры длиной от 1518 до 9600 байт, которые используются в высокопроизводительных сетях для увеличения производительности на длинных расстояниях. Часто оказывается важной способностью прибора одновременно генерировать и анализировать трафик на 100% скорости передачи среды для полнодуплексных сетей 10/100/1000Base-T, 1000Base-X со всеми возможными размерами кадров. При генерации трафика необходима регулировка нагрузки (до 100% загрузки канала),

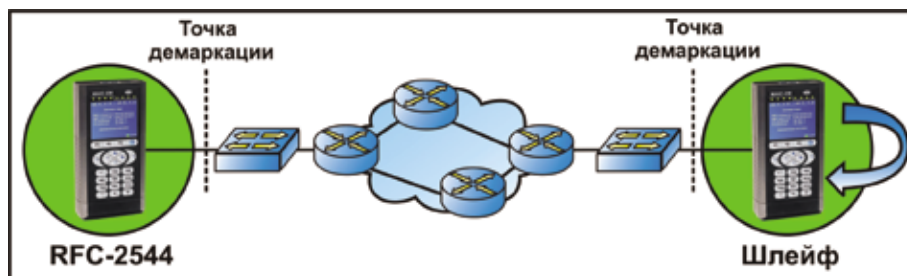


Рис. 2

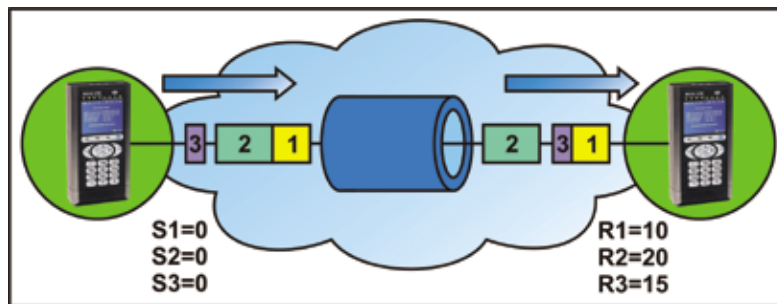


Рис. 3

причем удобнее, когда возможно задавать этот параметр либо в процентах от максимальной либо в бит/с, а также необходима возможность установки различных полей пакетов, таких как MAC-адресов и IP-адресов источника и получателя, биты приоритета, номера портов и любых иных полей для формирования произвольного заполнения Ethernet кадров. Заполнение поля данных пакета (на разных уровнях) обычно ведется тестовыми последовательностями: все единицы, все нули, альтернативной, стандартными ПСП (2e9, 2e11, 2e15, 2e20, 2e23, 2e31).

**Вариация задержки пакетов**

Одной из существенных характеристик участка сети является вариация задержки пакетов (пакетный джиттер), являющаяся дрожанием временного интервала между принятыми пакетами.

Вариация задержки определяется в RFC-3393 как разница сквозных задержек прохождения двух пакетов. Если S - время отправки пакета (при этом временная метка отправки включается в тело пакета), а R - время доставки пакета, то значение вариации задержки для пакетов с номерами i и j будет рассчитываться согласно простой формуле:

$$D_{i,j} = (R_j - R_i) - (S_j - S_i) = (R_j - S_j) - (R_i - S_i).$$

В RFC-3550 определен метод инкрементального расчета вариации для серии пакетов:

$$J_i = J_{i-1} + (|D_{i-1,i}| - J_{i-1})/16$$

При измерении берутся средние значения вариации задержки за заданный промежуток времени (рис. 3).

Возникновение вариаций задержки пакетов вытекает из самой природы пакетной коммутации сети. В идеальных условиях пакеты перемещаются с одинаковой скоростью и вариация равна нулю, то есть длительность доставки пакетов не различается. Однако в силу неоднородности сетевого потока, проходящего через узлы сети, а также вследствие действия механизмов дифференцированного обслуживания сетевого трафика вариация не является нулевой.

Сетевые сервисы в разной степени чувствительны к изменениям этих параметров. Когда количество передаваемых пакетов приближается или превышает предельное значение для данного канала, возникает перегрузка и, как следствие, ухудшение качества сервисов. В итоге страдают все сетевые приложения, включая приложения высокой важности. Наиболее критичными к вариации задержки оказываются такие применения технологии Ethernet, как VoIP, IPTV.

Некоторые приложения устойчивы к потере пакетов. Например, к такому типу относится большая часть мультимедийных приложений, в первую очередь это аудио- и видеоприложения, для которых допустимый процент потери кадров, как правило, не должен превышать 1%. Но если же мультимедийный трафик использует сжатые аудио- и видеосигналы, то даже 1% потерь является недопустимым, и система чувствительна к малой потере пакетов.

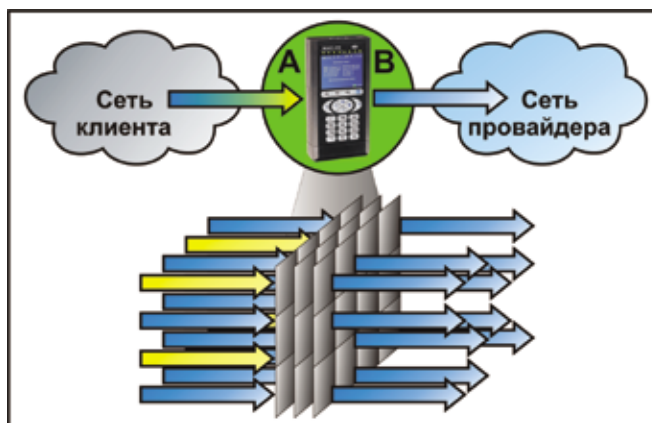


Рис. 4

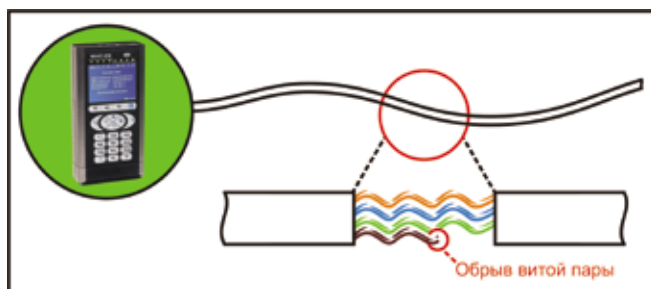


Рис. 5

### Измерение скорости битовых ошибок

Транспортом для передачи данных посредством технологии Ethernet является первый уровень L1 (например, 10Base-FL, 100Base-FX, 1000Base-LX). При этом маршрут может проходить достаточно протяженные расстояния. Поэтому возникает необходимость в верификации канала в битовой форме. Это можно сделать стандартным способом, проверяя частоту появления битовых ошибок. Большинство приборов оснащены функцией Ethernet BER Тест (BERT), позволяющей проводить измерение количества ошибок в сетях 10/100/1000 Ethernet. Функция BERT использует испытательные образцы, заключенные в структуру Ethernet-кадра. Эти образцы могут представлять собой как стандартные псевдослучайные последовательности ПСП 2e9, 2e11, 2e15, 2e20, 2e23 или 2e31, так и определенные пользователем. Надежность оптических элементов сети может быть протестирована с помощью Ethernet BER Тест с использованием стандартизованных паттернов xPATs (CRPAT, CSPAT, CJTPAT, короткий и длинный CRTPAT).

Ethernet BER Тест обеспечивает проверку транспортных систем физического уровня L1. Использование Ethernet BER Тест на втором уровне L2 возможно для того, чтобы проверить способности обработки ошибок элементов сети, таких как свитчи, поскольку пользователь может ввести ошибки в пределах полезной нагрузки или в FCS-последовательности структуры Ethernet-кадра.

Статистика по результатам тестирования Ethernet BER Тест накапливается согласно стандартизованным параметрам в соответствии с рекомендацией ITU-T G.821 и G.826.

### Фильтрация трафика

Фильтрацию трафика можно производить по всевозможным критериям. Так, можно фильтровать по фиксированным полям MAC, IP либо устанавливать сложные фильтры с взаимосвязями по алгоритму "И" и "ИЛИ". К примеру, можно реализовать алгоритмы жесткой фильтрации, откидывающие пакеты с одинаковыми MAC-адресами источника и получателя. Фильтрацию можно применять, например, при запуске тестов на уровне L3, при этом можно установить настройки, которые определяют, какие кадры или пакеты будут пропускаться через приемный фильтр и подсчитываться в категории результатов тестирования для трафика IP на уровне L3.

Фильтрацию трафика можно задействовать как при простом приеме пакетов, так и при включении функ-

ции шлейфа на любом из измерительных портов или в режиме Транзит с одного порта на другой. В последнем случае, включаясь в разрыв, можно достаточно эффективно разделить два участка сети, при этом локализовав проблему (рис. 4).

### Диагностика медного кабеля

Тестирование медного кабеля позволяет локализовать такие типичные проблемы, как обрыв с отображением расстояния до места неисправности, короткое замыкание на дальнем конце, полярность и перекрестность витых пар (рис. 5).

Также тест кабеля позволяет отображать значение затухания сигнала в кабеле в децибелах. Все эти функции должны помочь специалистам по прокладке домашних сетей отследить выполнение своей работы и обеспечить качественную прокладку сети.

### Требования к прибору

Исходя из вышесказанного сформируем список необходимых функций прибора для контроля качества в IP-сетях.

Прибор необходим, прежде всего, техническим специалистам или монтажникам сетей, инженерам, ответственным за транспортные сервисы, а также операторам, для документированного подтверждения требуемого и оговоренного качества сервиса. Для решения этих задач прибор должен обеспечивать:

- параллельное тестирование двух интерфейсов Ethernet/Fast Ethernet/Gigabit Ethernet, что позволяет генерировать трафик (тест RFC2544, BERT) и производить анализ на двух портах одновременно;
- измерение коэффициента битовых ошибок (BER) с заполнением кадра на физическом, канальном и сетевом уровнях;
- генерацию/анализ трафика на канальном и сетевом уровнях и выше;
- сбор и отображение статистической информации по принимаемому и передаваемому трафику на физическом, канальном и сетевом уровнях;
- тестирование в соответствии с рекомендацией RFC-2544; измерение пропускной способности, задержки распространения пакетов, зависимости уровня потерь пакетов от загрузки канала, максимальной пропускной способности канала;
- контроль связности каналов и маршрутов на уровне IP;

- организацию шлейфа на физическом, канальном и сетевом уровнях с перестановкой либо заменой полей MAC, IP и без изменения этих полей; включение шлейфа вручную, так и по протоколу OAM;
- организацию соединения с одного измерительного порта на другой с параллельным сбором статистики в режиме мониторинга, так называемый режим транзит;
- фильтрацию трафика на канальном и сетевом уровнях;
- диагностику неисправностей медного кабеля (состояния кабеля, затухания сигнала, расстояния до дефекта, перекрестности витых пар и т.д.);
  - эхо-запрос (Ping);
  - поддержку ARP;
  - поддержку DHCP;
  - поддержку MPLS;
  - измерение вариации задержки пакетов;
  - измерение коэффициента ошибочных пакетов IPER;
- удаленное управление через порт USB, а также через Web-интерфейс с помощью браузера по дополнительному стыку Ethernet;
  - возможность смены микрокода пользователем;
  - возможность формировать отчеты по текущим измерениям, для оперативного контроля параметров с одновременным выводом на дисплей в реальном времени и сохранением в энергонезависимую память, при этом интервал времени сохранения данных задается пользователем; также должны формироваться итоговые статистические отчеты за весь сеанс измерений, которые сохраняются в энергонезависимой памяти;
  - при использовании персонального компьютера должна быть возможна архивация результатов и составление протоколов измерений.

#### Список сокращений

ARP(Address Resolution Protocol) – протокол разрешения адресов;  
 BERT (Bit Error Rate Test) – тест коммуникационных устройств на частоту появления ошибок;  
 DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) – протокол динамической конфигурации узла;

IETF (Internet Engineering Task Force) – специальная комиссия интернет-разработок;  
 IP (Internet Protocol) – межсетевой протокол;  
 IPER(Internet Protocol Error Rate) – частота появления ошибок в IP;  
 IPTV (Internet Protocol Television) – цифровое интерактивное телевидение в сетях передачи данных по протоколу IP;  
 Jumbo-фреймы (Jumbo-пакеты) – сверхдлинные Ethernet-кадры длиной от 1518 до 9600 байт;  
 OAM (Operations, Administration and Maintenance) – протокол для эксплуатации, администрирования и обслуживания;  
 MAC (Media Access Control) – управление доступом к среде, уникальный идентификатор канального уровня;  
 MPLS (Multiprotocol Label Switching) – мультипротокольная коммутация по меткам;  
 PDV (Packet Delay Variation) – вариация задержки пакетов;  
 RTD (Round-Trip Delay)/RTL (Round-Trip Latency) – круговая задержка;  
 USB (Universal Serial Bus) – последовательный интерфейс передачи данных;  
 VoIP (Voice over IP) – система связи, обеспечивающая передачу речевого сигнала по IP-сетям;  
 xPATS – общее название стандартизованных паттернов для тестирования Ethernet BER:
 

- CRPAT (Continuous Random Pattern);
- CSPAT (Long Compliant Supply noise Pattern);
- CJTPAT (Long Continuous Jitter Test Pattern);
- CRTPAT (Long Continuous Random Test Pattern);

ПСП – псевдослучайная последовательность.

#### Литература

1. Рекомендация МСЭ-Т G.703 Физические и электрические характеристики иерархических цифровых стыков.
2. Рекомендация МСЭ-Т G.821 Характеристика ошибок на международном цифровом соединении, образуемом в цифровой сети с интеграцией служб.
3. Рекомендация МСЭ-Т G.823 Нормирование дрожания и дрейфа фазы в цифровых сетях, основанных на иерархии 2048 Кбит/с.
4. Рекомендация МСЭ-Т G.826 Показатели ошибок и нормы для цифровых международных трактов с постоянной скоростью передачи, равной или превышающей первичную скорость.
5. Рекомендация МСЭ-Т M.2100 Допустимые пределы показателей ошибок при вводе в эксплуатацию и техническом обслуживании международных цифровых трактов, участков и систем передачи.
6. Рекомендация МСЭ-Т M.2301 Нормы на качественные показатели и процедуры для подготовки к работе и для эксплуатации сетей на основе IP.