Лекция 3. Сетевые характеристики

Дисциплина: Сетевые технологии

Цель лекции

Изучить основные сетевые характеристики, показатели качества транспортных услуг, производительность компьютерных сетей, особенности передачи пакетов в идеальной и реальной сети, а также характеристики задержки и скорости передачи данных.

План лекции

1. Понятие и типы сетевых характеристик.
2. Качество транспортных услуг.
3. Временная шкала передачи данных.
4. Соглашение об уровне обслуживания (SLA).
5. Производительность компьютерных сетей.
6. Передача пакетов в идеальной сети.
7. Передача пакетов в реальной сети.
8. Характеристики задержки пакетов.
9. Характеристики скорости передачи данных.

1. Понятие и типы сетевых характеристик

Сетевые характеристики представляют собой количественные и качественные показатели, которые описывают работу компьютерной сети, скорость передачи данных, время доставки пакетов и надёжность соединения.

Сетевые характеристики позволяют оценить, насколько эффективно сеть выполняет свои задачи и соответствует требованиям пользователей.

Например, при просмотре видео важны скорость передачи данных и задержка. При видеоконференции также важны джиттер и потери пакетов. Для передачи файлов большое значение имеют пропускная способность и время завершения передачи.

Основные типы сетевых характеристик

Характеристика	Описание
Пропускная способность	Максимальный объём данных, который может быть передан за единицу времени
Скорость передачи данных	Фактическая скорость передачи информации
Задержка	Время, которое требуется пакету для прохождения от отправителя до получателя
Джиттер	Изменение задержки пакетов
Потери пакетов	Доля пакетов, которые не были доставлены
Надёжность	Способность сети обеспечивать работу без отказов
Доступность	Доля времени, в течение которого сеть доступна для использования

Производительность	Результативность работы сети при передаче и обработке данных

Эти показатели связаны между собой. Например, высокая пропускная способность не гарантирует малую задержку, а низкая задержка не означает отсутствие потерь пакетов.

2. Качество транспортных услуг

Транспортные услуги сети обеспечивают передачу данных между приложениями и устройствами. Их качество определяется тем, насколько быстро, надёжно и предсказуемо данные доставляются получателю.

Для оценки качества сетевых услуг применяются показатели QoS (Quality of Service).

Основные показатели QoS

1. Пропускная способность. Показывает объём данных, который сеть может передать за определённое время.

2. Задержка. Определяет время доставки пакета от отправителя до получателя.

3. Джиттер. Показывает изменение задержки между последовательными пакетами.

4. Потери пакетов. Показывают долю пакетов, которые были потеряны при передаче.

5. Надёжность доставки. Характеризует способность транспортной службы обеспечить доставку данных в соответствии с выбранным протоколом и условиями сети.

Разные приложения предъявляют разные требования к качеству сетевых услуг.

Приложение	Важные характеристики
Электронная почта	Надёжность доставки
Передача файлов	Пропускная способность и время передачи
Видеоконференция	Задержка, джиттер и потери
Онлайн-игры	Низкая задержка и небольшой джиттер
Потоковое видео	Достаточная скорость и стабильность передачи
Веб-сервисы	Время отклика и доступность

Для управления качеством обслуживания применяются приоритизация трафика, очереди пакетов, ограничение скорости и резервирование ресурсов. Например, голосовой трафик может получить более высокий приоритет, чем загрузка больших файлов.

Важно различать QoS и QoE. QoS характеризует технические показатели сети, а QoE (Quality of Experience) отражает качество услуги с точки зрения пользователя.

3. Временная шкала передачи данных

Временная шкала позволяет показать, как изменяется состояние передачи данных во времени.

При передаче пакета можно выделить несколько основных событий:

- начало передачи пакета;
- завершение передачи пакета отправителем;
- прохождение пакета по каналу связи;
- поступление пакета в сетевой узел;
- обработка пакета маршрутизатором;
- получение пакета конечным устройством.

Временная шкала помогает определить задержку, продолжительность передачи и интервалы между поступлением пакетов.

Пример временной шкалы

Передача одного пакета от узла A к узлу B



Рисунок 1. Основные этапы передачи пакета во времени.

События расположены последовательно. Реальная продолжительность каждого этапа зависит от размера пакета, скорости канала и расстояния между узлами.

Основные интервалы времени

Время передачи (Transmission Delay) определяется размером пакета и скоростью канала.

$$T_{\text{передачи}} = \frac{L}{R}$$

где:

- L — размер пакета в битах;
- R — скорость передачи канала в бит/с.

Время распространения (Propagation Delay) зависит от расстояния и скорости распространения сигнала в среде.

$$T_{\text{расп}} = \frac{d}{v}$$

где:

- d — расстояние между узлами;
- v— скорость распространения сигнала в среде.

Например, если размер пакета составляет 12 000 бит, а скорость канала равна 12 Мбит/с, время передачи составит:

То есть

$$T = \frac{12000}{12000000} = 0{,}001\ c$$

То есть 1 мс.
Если расстояние между узлами равно 200 км, а скорость распространения сигнала в оптоволокне составляет приблизительно $2*10^8$ м/с, то время распространения составит:

$$T = \frac{200000}{2 \cdot 10^8} = 0{,}001\ c$$

Следовательно, передача пакета и его распространение по каналу являются разными процессами.

4. Соглашение об уровне обслуживания (SLA)

SLA (Service Level Agreement) представляет собой соглашение между поставщиком услуги и клиентом, в котором определяются требования к качеству обслуживания, доступности сети и ответственности сторон.

SLA часто применяется между интернет-провайдерами и организациями, которые используют корпоративные каналы связи, облачные сервисы или центры обработки данных.

Основные параметры SLA

- Доступность сети. Доля времени, в течение которого услуга доступна.
- Пропускная способность. Минимальная или гарантированная скорость передачи данных, если она предусмотрена договором.
- Задержка. Допустимое время доставки данных между указанными точками измерения.
- Джиттер. Допустимое изменение задержки, если этот параметр включён в соглашение.
- Потери пакетов. Максимально допустимая доля потерянных пакетов.

- Время устранения неисправностей. Установленный срок реакции или восстановления услуги.
- Компенсации. Условия возмещения при нарушении согласованных показателей.

Пример SLA

Предположим, организация заключила договор с провайдером на подключение к Интернету.

Параметр	Пример требования
Доступность	99,9% за месяц
Скорость доступа	Не менее 100 Мбит/с в согласованных условиях
Время реакции на обращение	Не более 30 минут
Срок восстановления	Не более 4 часов в предусмотренных договором случаях

Это условный пример. Реальные значения определяются договором и методикой измерения.

Расчёт доступности

Доступность часто выражается в процентах:

$$A = \frac{T_{\text{общ}} - T_{\text{простоя}}}{T_{\text{общ}}} \cdot 100\%$$

где:

- A — доступность услуги;
- $T_{\text{общ}}$ — общий период наблюдения;
- $T_{\text{простоя}}$ — время недоступности услуги.

Например, если за месяц из 30 суток услуга была недоступна в течение 43,2 минуты, то доступность составит приблизительно 99,9%.

SLA позволяет клиенту оценить качество услуги по заранее установленным критериям, а провайдеру даёт измеримые требования к обслуживанию.

5. Производительность компьютерных сетей

Производительность компьютерной сети характеризует способность сети передавать данные с определённой скоростью и обеспечивать требуемое качество связи.

Производительность зависит от пропускной способности каналов, количества пользователей, размера передаваемых пакетов, загрузки оборудования и особенностей сетевых протоколов.

Основные показатели производительности

1. Пропускная способность канала. Максимальная скорость передачи данных, которую допускают характеристики канала в заданных условиях.

2. Фактическая скорость передачи. Скорость, с которой данные действительно передаются в конкретный момент времени.

3. Полезная пропускная способность (goodput). Скорость передачи полезных данных приложения без учёта заголовков протоколов и повторно переданных данных.

4. Время отклика. Интервал между отправкой запроса и получением ответа.

5. Загрузка сети. Степень использования доступных сетевых ресурсов.

Пропускная способность и фактическая скорость

Пропускная способность характеризует возможности канала, а фактическая скорость зависит от реальных условий передачи.

Например, канал имеет пропускную способность 100 Мбит/с. Однако из-за служебных заголовков, конкуренции за канал, потерь и повторных передач полезная скорость может быть ниже.

К основным факторам, которые снижают производительность, относятся:

- перегрузка каналов;
- очереди пакетов;
- недостаточная производительность маршрутизаторов;
- потери и повторные передачи;
- большое расстояние между узлами;
- ограничения протоколов;
- большое число одновременных соединений.

Для повышения производительности применяются модернизация каналов, балансировка нагрузки, управление очередями, настройка протоколов и оптимизация сетевой архитектуры.

6. Передача пакетов в идеальной сети

Идеальная сеть представляет собой упрощённую модель, в которой передача данных выполняется без потерь, перегрузок и непредвиденных задержек.

В такой модели предполагается, что:

- канал имеет постоянную пропускную способность;
- пакеты не теряются;
- очереди отсутствуют или не создают задержки;
- оборудование работает без ошибок;
- время передачи и распространения известно.

Идеальная модель используется для расчётов и оценки теоретических характеристик сети.

Пример передачи пакета

Пусть пакет размером 12 000 бит передаётся по каналу со скоростью 12 Мбит/с. Расстояние между узлами составляет 200 км. Скорость распространения сигнала равна \(2\cdot10^8\) м/с.

Время передачи:

$$T_{\text{передачи}} = \frac{12000}{12000000} = 1 \text{ мс}$$

Время распространения:

$$T_{\text{расп}} = \frac{200000}{2 \cdot 10^8} = 1 \text{ мс}$$

Если не учитывать обработку пакета и очереди, общая задержка составит:

$$T_{\text{общ}} = T_{\text{передачи}} + T_{\text{расп}}$$

$$T_{\text{общ}} = 1 + 1 = 2 \text{ мс}$$

Таким образом, в данной идеализированной модели пакет будет доставлен за 2 мс.
Если пакет проходит через несколько каналов, общая задержка зависит от способа передачи, скорости каждого канала и расстояния на каждом участке. Для последовательной передачи с промежуточным хранением пакета время передачи может учитываться на каждом участке.

7. Передача пакетов в реальной сети

В реальной компьютерной сети условия передачи отличаются от идеальной модели. Пакеты проходят через маршрутизаторы и коммутаторы, могут ожидать в очередях и конкурировать с другими потоками данных.

На передачу влияют:

- текущая загрузка каналов;
- производительность сетевого оборудования;
- длина маршрута;
- размер пакетов;
- задержка обработки;
- потери пакетов;
- повторные передачи;
- особенности протоколов.

Основные составляющие задержки

В общем случае задержка передачи пакета включает четыре составляющие:

$$T_{\text{общ}} = T_{\text{передачи}} + T_{\text{расп}} + T_{\text{обработки}} + T_{\text{очереди}}$$

где:

- $T_{\text{передачи}}$ — время отправки всех битов пакета в канал;
- $T_{\text{расп}}$ — время распространения сигнала;
- $T_{\text{обработки}}$ — время обработки пакета сетевым оборудованием;
- $T_{\text{очереди}}$ — время ожидания пакета перед передачей.

В некоторых случаях к общему времени также добавляются задержки повторной передачи, установления соединения и обработки на конечном устройстве.

Пример реальной передачи

Предположим, пакет проходит через один сетевой участок со следующими параметрами:

Составляющая задержки	**Значение**
Передача пакета	1 мс
Распространение сигнала	1 мс
Обработка оборудования	0,5 мс
Ожидание в очереди	3 мс
Общая задержка	5,5 мс

Расчёт:

$$T_{\text{общ}} = 1 + 1 + 0{,}5 + 3 = 5{,}5 \text{ мс}$$

В данном примере основная дополнительная задержка возникла из-за ожидания пакета в очереди.

При высокой нагрузке очереди увеличиваются. Поэтому задержка может меняться даже при неизменной скорости канала.

Сравнение идеальной и реальной сети

Характеристика	**Идеальная сеть**	**Реальная сеть**
Задержка	Предсказуемая	Может изменяться
Потери пакетов	Отсутствуют	Возможны
Очереди	Отсутствуют или не влияют	Возникают при перегрузке
Скорость передачи	Постоянная в модели	Может меняться
Ошибки оборудования	Не учитываются	Возможны

Джиттер	Обычно отсутствует в упрощённой модели	Возможен

8. Характеристики задержки пакетов

Задержка пакета представляет собой время, которое проходит между отправкой пакета и его поступлением в заданную точку назначения. Задержка измеряется в секундах, миллисекундах или микросекундах.

8.1. Виды задержки

Задержка передачи. Время, необходимое для отправки пакета в канал связи.

$$T_{\text{передачи}} = \frac{L}{R}$$

Задержка распространения. Время, за которое сигнал проходит расстояние между узлами.

$$T_{\text{расп}} = \frac{d}{v}$$

Задержка обработки. Время, которое требуется маршрутизатору или коммутатору для анализа заголовков, проверки информации и определения дальнейшего действия.

Задержка очереди. Время ожидания пакета до начала его передачи. Она зависит от интенсивности входящего трафика и доступных ресурсов.

8.2. Средняя задержка

Если задержка измерена для \(n\) пакетов, среднее значение вычисляется по формуле:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} T_i$$

Например, для трёх пакетов получены значения 10, 12 и 14 мс.

$$T_{\text{ср}} = \frac{10 + 12 + 14}{3} = 12 \text{ мс}$$

Средняя задержка полезна для общей оценки сети, но она не показывает все возможные колебания. Поэтому при анализе качества также рассматривают максимальную задержку, процентили и джиттер.

8.3. Джиттер

Джиттер характеризует изменение задержки пакетов во времени.

Например, пакеты могут поступать с задержками 10, 11, 18 и 12 мс. Разница между значениями указывает на непостоянство задержки.

Большой джиттер ухудшает качество голосовой и видеосвязи, поскольку пакеты поступают неравномерно.

Для уменьшения влияния джиттера применяются буферы воспроизведения, управление очередями и приоритизация чувствительного к задержкам трафика.

8.4. Потери пакетов

Потери пакетов возникают, когда пакет не достигает получателя. Причинами могут быть перегрузка сети, ошибки канала, неисправность оборудования или неправильная настройка сети.

Процент потерь вычисляется по формуле:

$$P_{\text{потерь}} = \frac{N_{\text{отпр}} - N_{\text{получ}}}{N_{\text{отпр}}} \cdot 100\%$$

где:

- $N_{\text{отпр}}$ — число отправленных пакетов;
- $N_{\text{получ}}$— число полученных пакетов.

Если было отправлено 1000 пакетов, а получено 990, то:

$$P_{\text{потерь}} = \frac{1000 - 990}{1000} \cdot 100\% = 1\%$$

Потери особенно заметны в голосовой связи, видеоконференциях и интерактивных приложениях. В TCP часть потерянных данных может быть передана повторно, что увеличивает время завершения передачи.

9. Характеристики скорости передачи данных

Скорость передачи данных показывает, сколько бит информации передаётся через канал за единицу времени.

Основная единица измерения скорости сети — бит в секунду (бит/с).

Применяются следующие единицы:

Единица	Значение
1 Кбит/с	1 000 бит/с
1 Мбит/с	1 000 000 бит/с
1 Гбит/с	1 000 000 000 бит/с
1 Тбит/с	1 000 000 000 000 бит/с

В сетевых характеристиках обычно применяются десятичные значения единиц.

9.1. Расчёт скорости передачи

Средняя скорость передачи данных определяется отношением объёма переданных данных к времени передачи:

$$R = \frac{D}{T}$$

где:

- R — скорость передачи;
- D — объём данных в битах;
- T — время передачи в секундах.

Например, файл объёмом 80 Мбит был передан за 10 секунд.

$$R = \frac{80}{10} = 8\ \text{Мбит/с}$$

Следовательно, средняя скорость передачи составила 8 Мбит/с.

9.2. Пропускная способность и полезная скорость

Следует различать три понятия.

- Пропускная способность канала характеризует потенциальные возможности канала.
- Фактическая скорость передачи показывает, с какой скоростью данные передаются в текущих условиях.
- Полезная скорость (goodput) учитывает только полезные данные приложения.

Например, если канал имеет пропускную способность 100 Мбит/с, фактическая скорость передачи составляет 90 Мбит/с, а полезная скорость приложения равна 85 Мбит/с, то часть ресурса используется для заголовков протоколов, служебных данных и других накладных расходов.

9.3. Влияние задержки на передачу данных

Для некоторых приложений высокая скорость канала не гарантирует быстрого ответа. Например, удалённый сервер может находиться далеко от пользователя, поэтому время распространения сигнала увеличивает задержку.

Для передачи больших файлов важны и скорость канала, и время завершения передачи. Для интерактивных приложений большое значение имеет время отклика.

В TCP при передаче данных также важны размер окна передачи и время кругового обхода (RTT). Если окно мало относительно RTT, доступная пропускная способность может использоваться не полностью.

Заключение

В ходе лекции были рассмотрены основные сетевые характеристики: пропускная способность, скорость передачи данных, задержка, джиттер, потери пакетов и доступность сети.

Было показано, что производительность компьютерной сети зависит не только от скорости канала, но и от загрузки оборудования, длины маршрута, очередей и особенностей протоколов.

В идеальной сети задержка рассчитывается по заранее известным параметрам. В реальной сети к времени передачи и распространения добавляются задержки обработки и ожидания в очередях, а также могут возникать потери пакетов.

Для оценки качества сетевых услуг применяются показатели QoS и соглашения SLA. Их использование позволяет контролировать качество связи и устанавливать измеримые требования к работе сети.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под сетевыми характеристиками?
2. Какие основные показатели применяются для оценки качества сети?
3. Что такое QoS и чем он отличается от QoE?
4. Для чего используется временная шкала передачи данных?
5. Что такое SLA и какие параметры оно может включать?
6. Как определяется производительность компьютерной сети?
7. Чем отличаются идеальная и реальная сети?

8. Какие составляющие входят в общую задержку пакета?
9. Что такое задержка передачи и задержка распространения?
10. Что такое джиттер и как он влияет на видеоконференции?
11. Как рассчитывается процент потерь пакетов?
12. Чем отличаются пропускная способность, фактическая скорость и полезная скорость?
13. Какие факторы могут снижать производительность сети?