



Коммутация пакетов: задержки и буферизация

Введение в компьютерные сети

проф. Смелянский Р.Л.

Лаборатория Вычислительных комплексов

ф-т ВМК МГУ

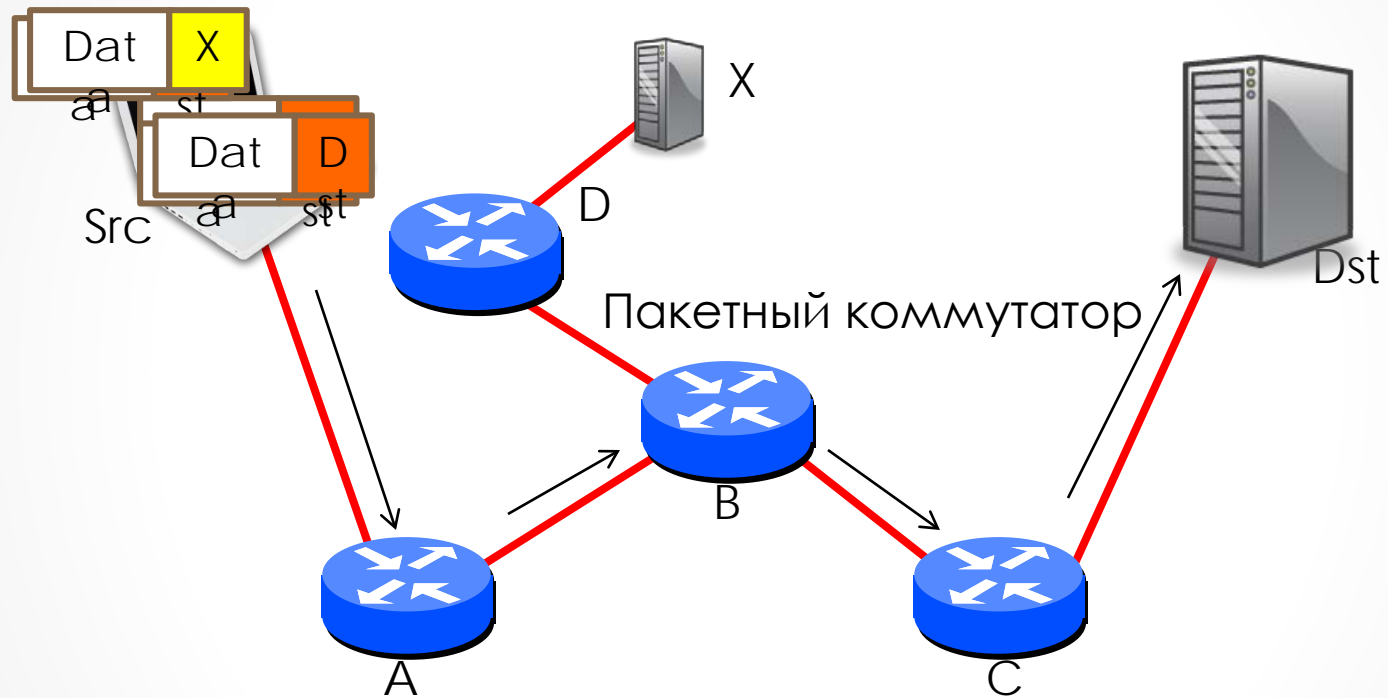
Содержание

- **Принцип коммутации пакетов**
- **Коммутация пакетов: виды задержек**
 - Задержка распространения
 - Задержка пакетизации
 - Сквозная задержка (end-to-end delay)
 - Задержка в очереди (Queuing delay)

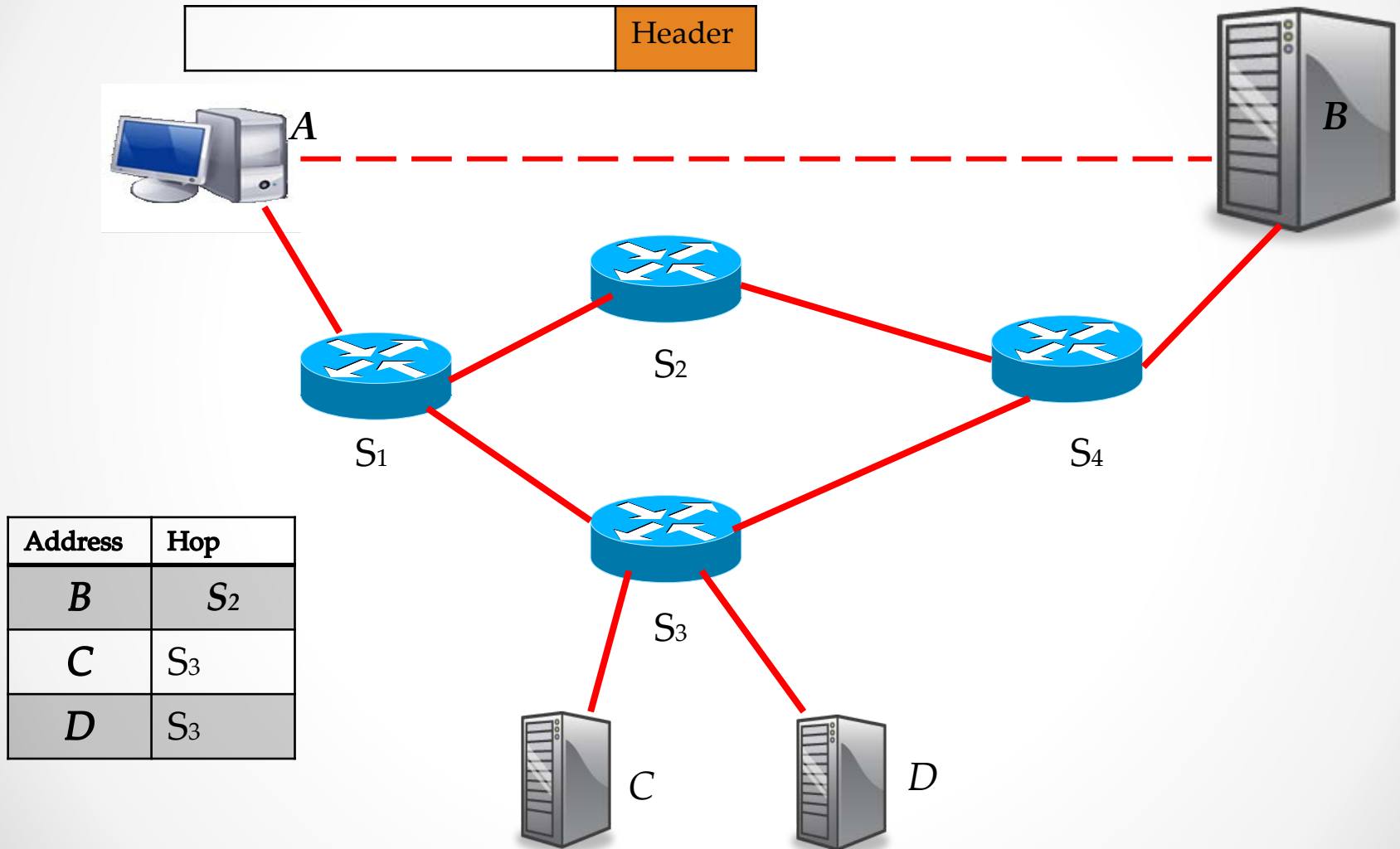
Что такое коммутация пакетов?

- **Пакет** - единица данных, несущая достаточно информации, чтобы быть доставленной к месту назначения
- **Коммутация пакетов**: для каждого поступающего пакета независимо выбирается канал для отправки. Если канал свободен, то пакет отправляют, если нет - буферизуют для более поздней отправки

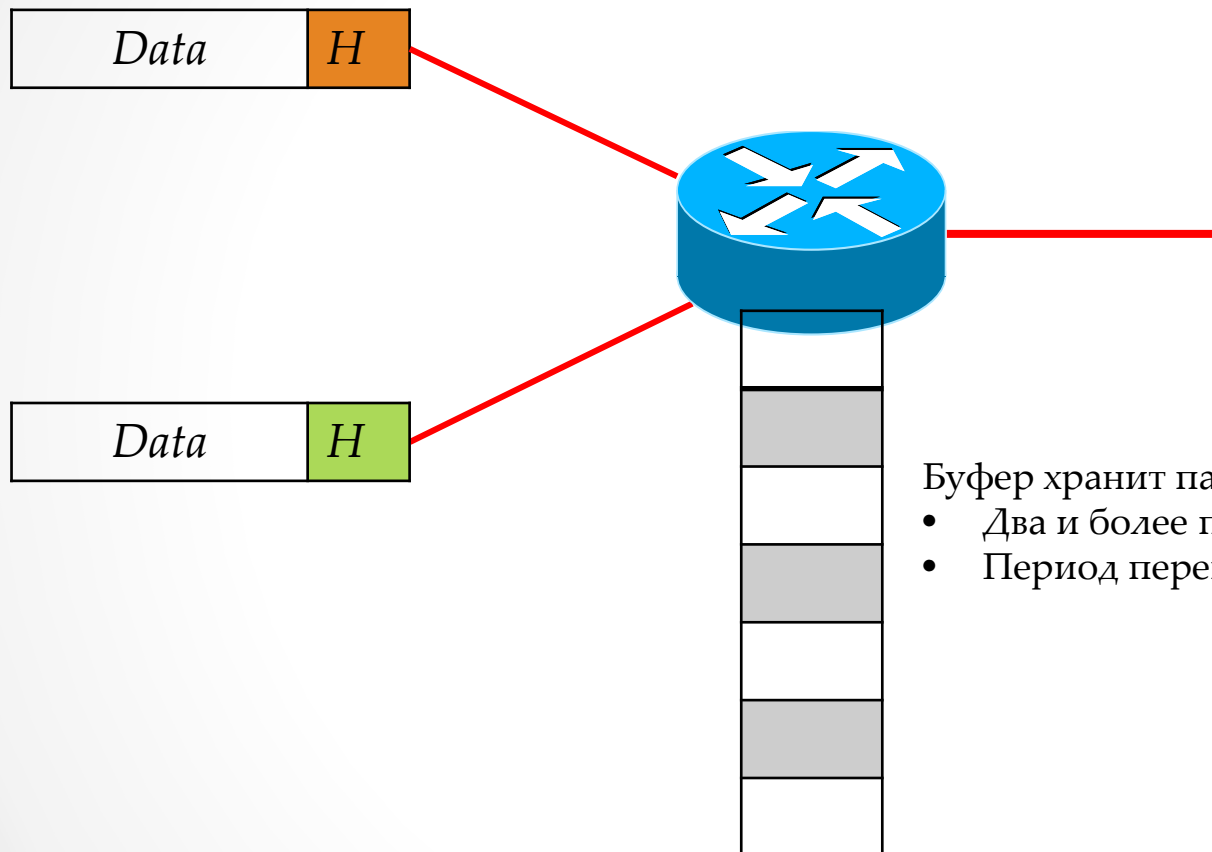
Коммутация пакетов



Коммутация пакетов



Коммутация пакетов: буферизация



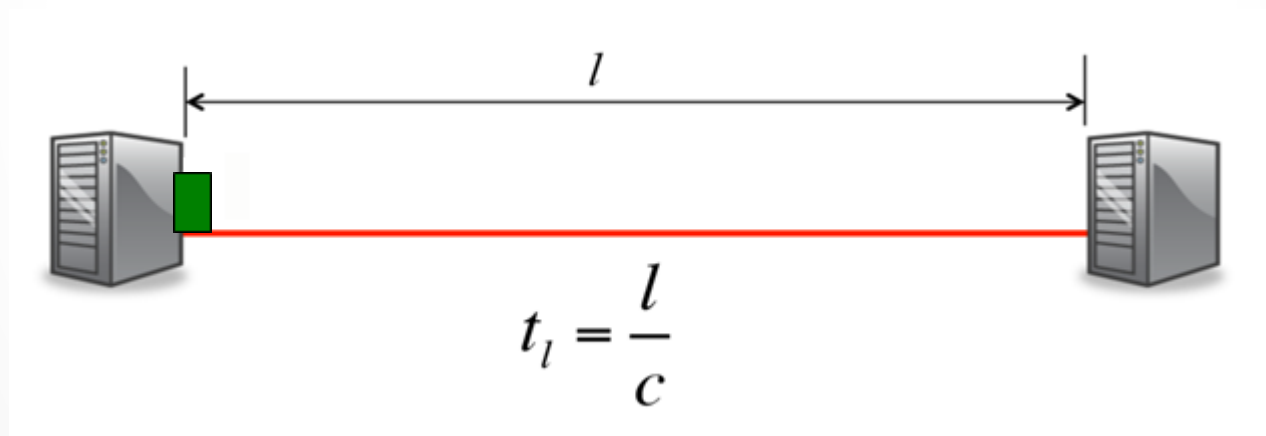
Буфер хранит пакеты:

- Два и более пакеты пришли одновременно
- Период перегрузки

Коммутация пакетов: задержка распространения

Задержка распространения

t_l : время распространения одного бита по каналу со скоростью c

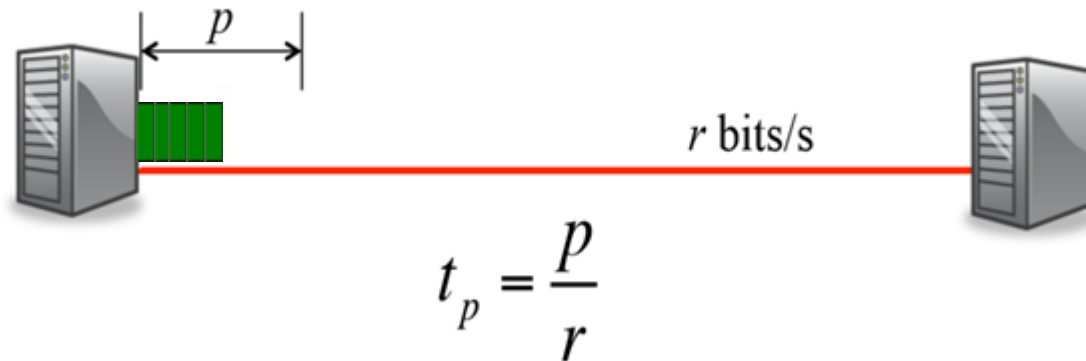


Пример: при $c = 2 \times 10^8 \text{ м/с}$

распространение бита на 1 000 км занимает 5 мс

Коммутация пакетов: задержка пакетизации

Задержка пакетизации t_p : время,
за которое биты пакета с первого до последнего переданы в канал

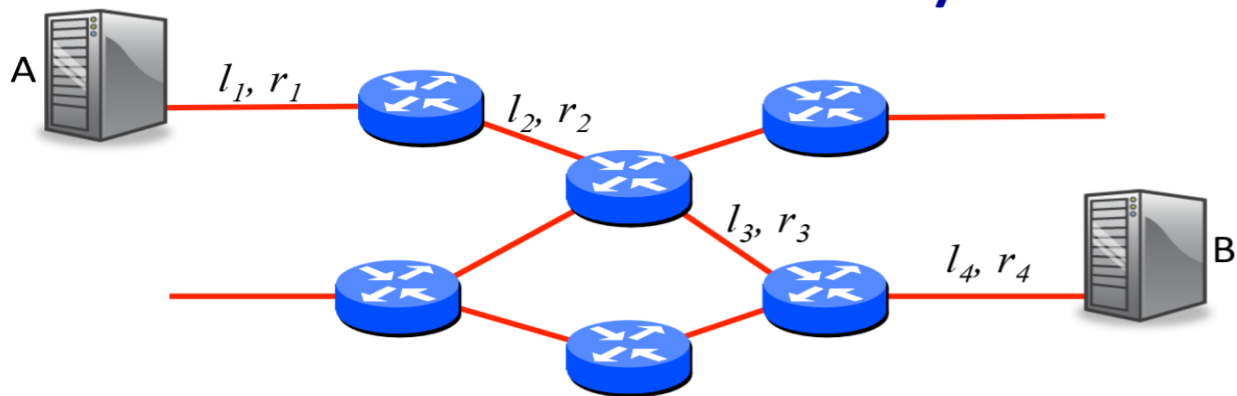


Пример 1: $p = 64$ Б пакет будет передан в канал с пропускной способностью $r = 100$ Мб/с за 5.12 μ с

Пример 2: 1Кб пакет будет передан в 1 Кб/с канал за 1.024 с.

Сквозная задержка (e2e delay)

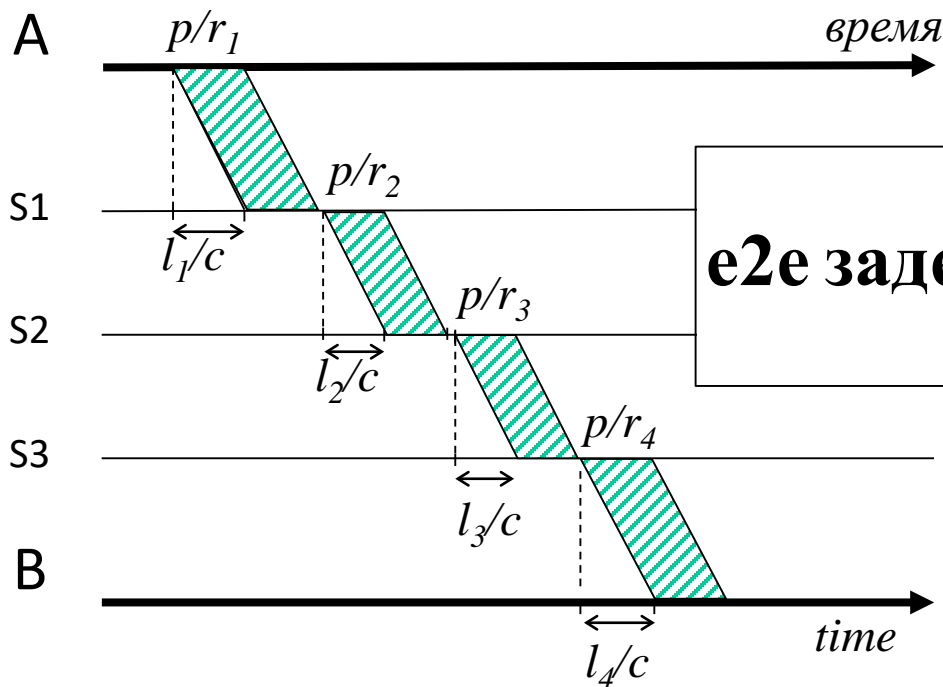
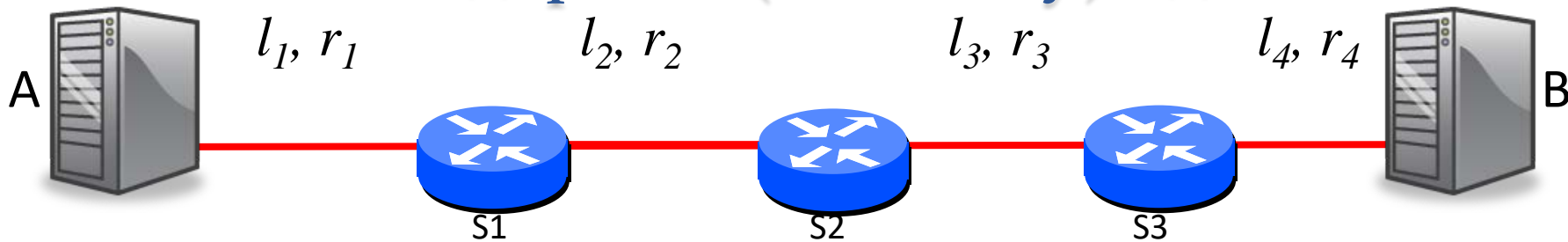
End-to-end delay



Пример: За какое время пакет длины p дойдет от A до B (от момента когда послан первый бит до момента когда придет последний бит). Предполагаем что коммутаторы принимают и сразу передают пакет

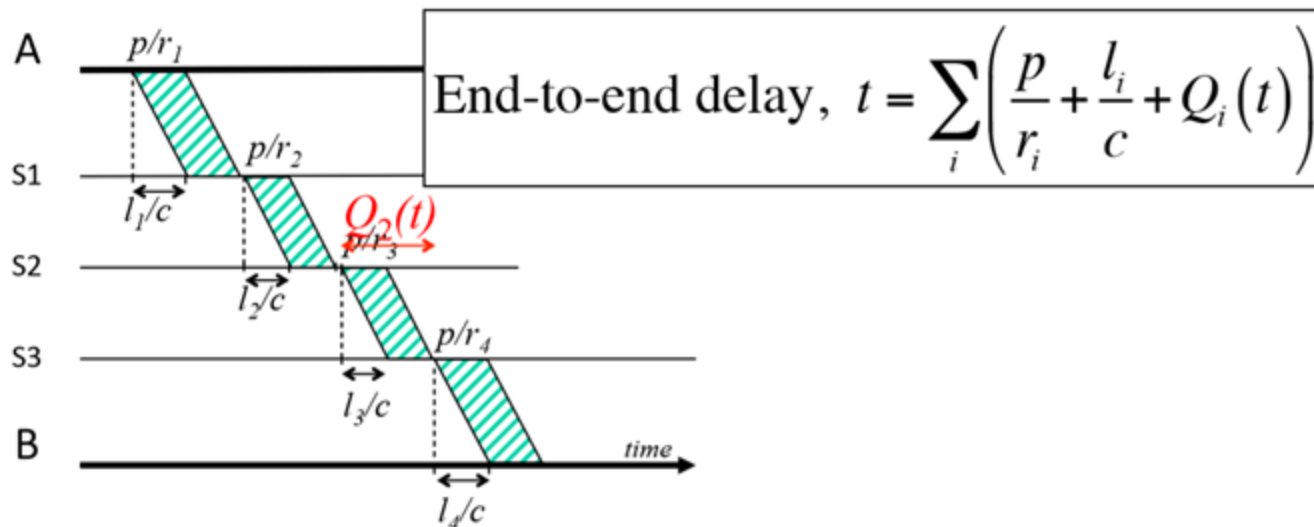
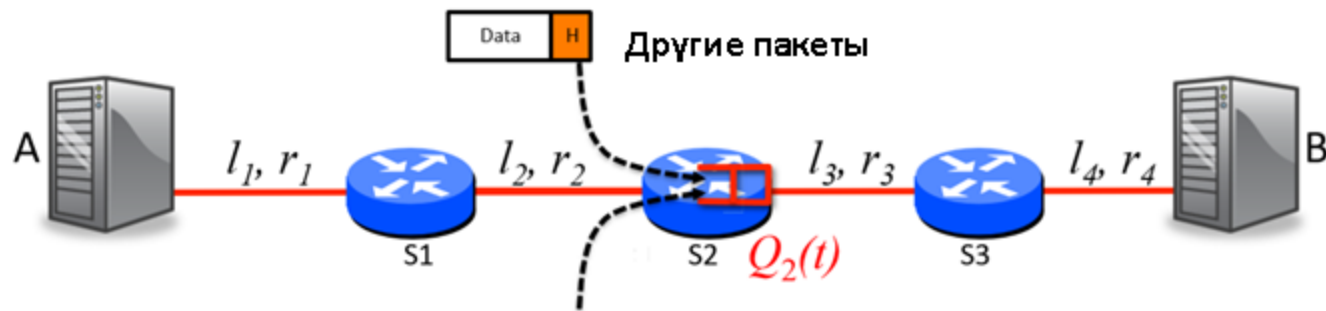
$$t = \sum_i \left(\frac{p}{r_i} + \frac{l_i}{c} \right)$$

Сквозная задержка (e2e delay) один поток

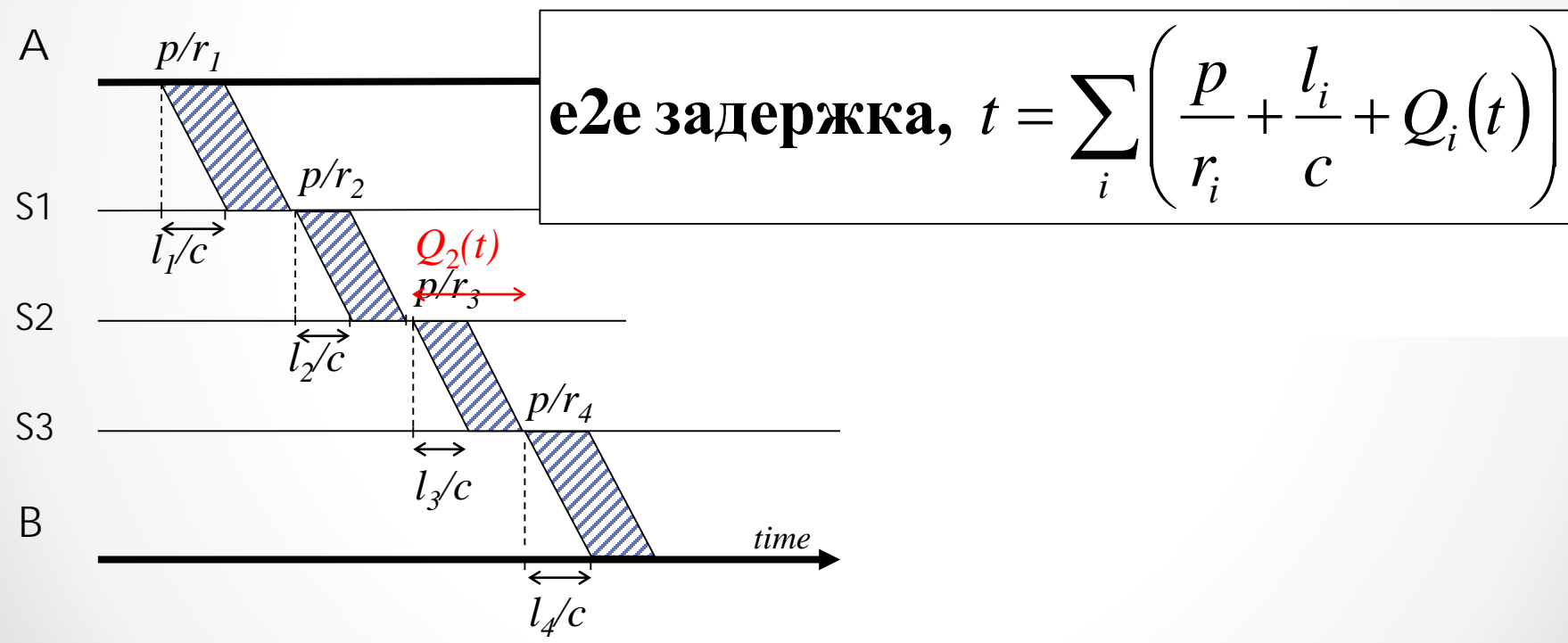
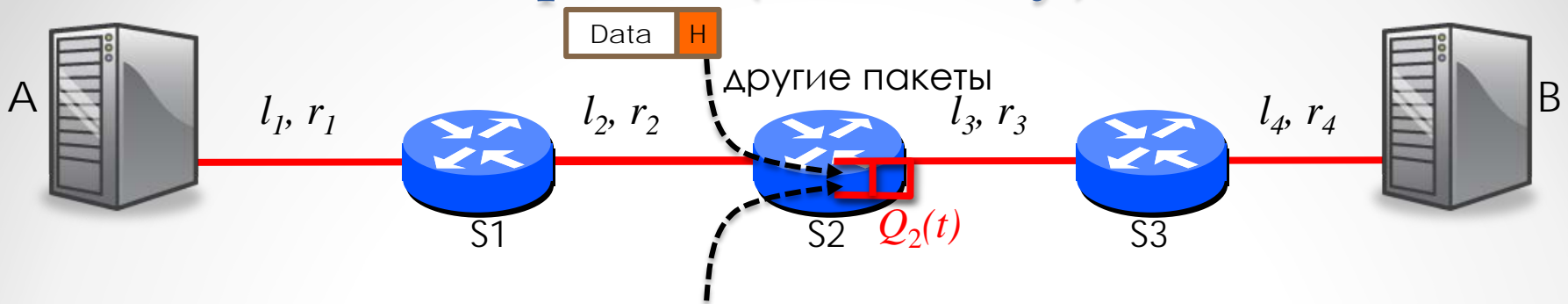


e2e задержка, $t = \sum_i \left(\frac{p}{r_i} + \frac{l_i}{c} \right)$

Сквозная задержка (e2e delay)



Сквозная задержка (e2e delay) не один поток

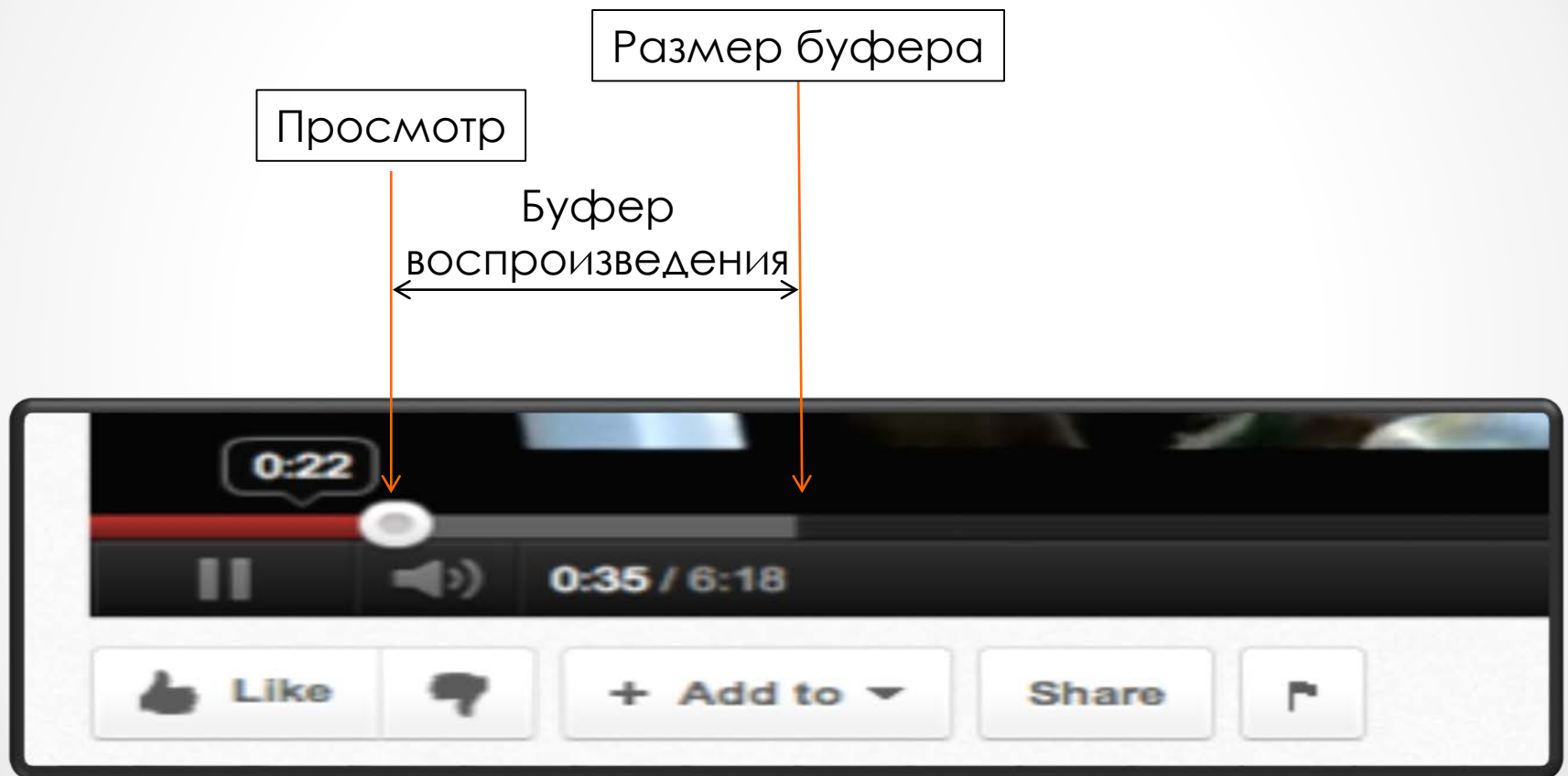




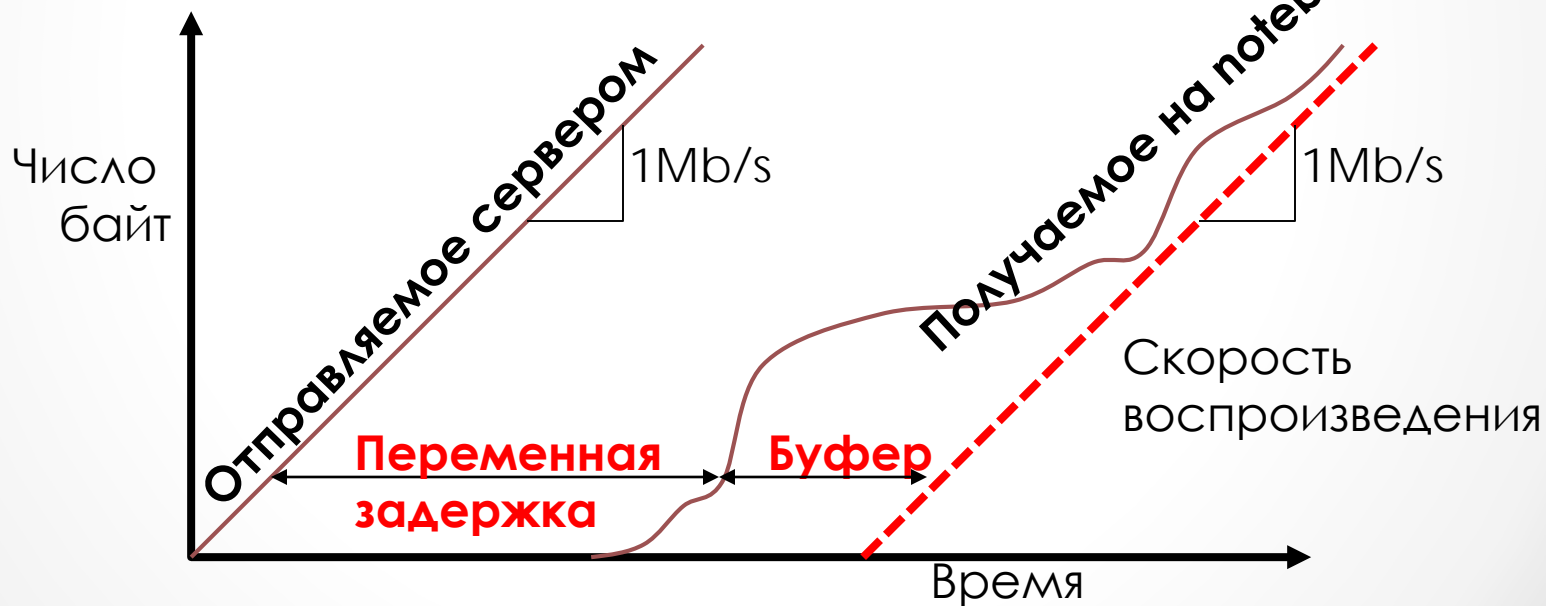
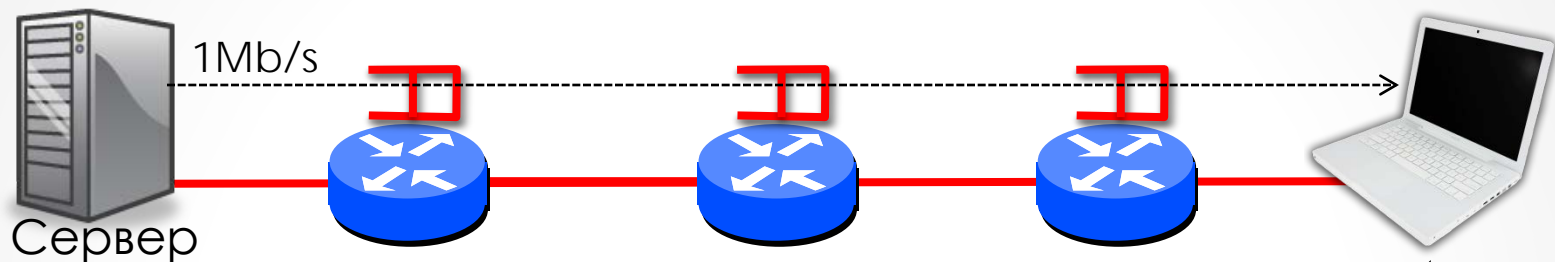
Влияние буферизации на e2e задержку

Введение в компьютерные сети
проф. Смелянский Р.Л.
Лаборатория Вычислительных комплексов
ф-т ВМК МГУ

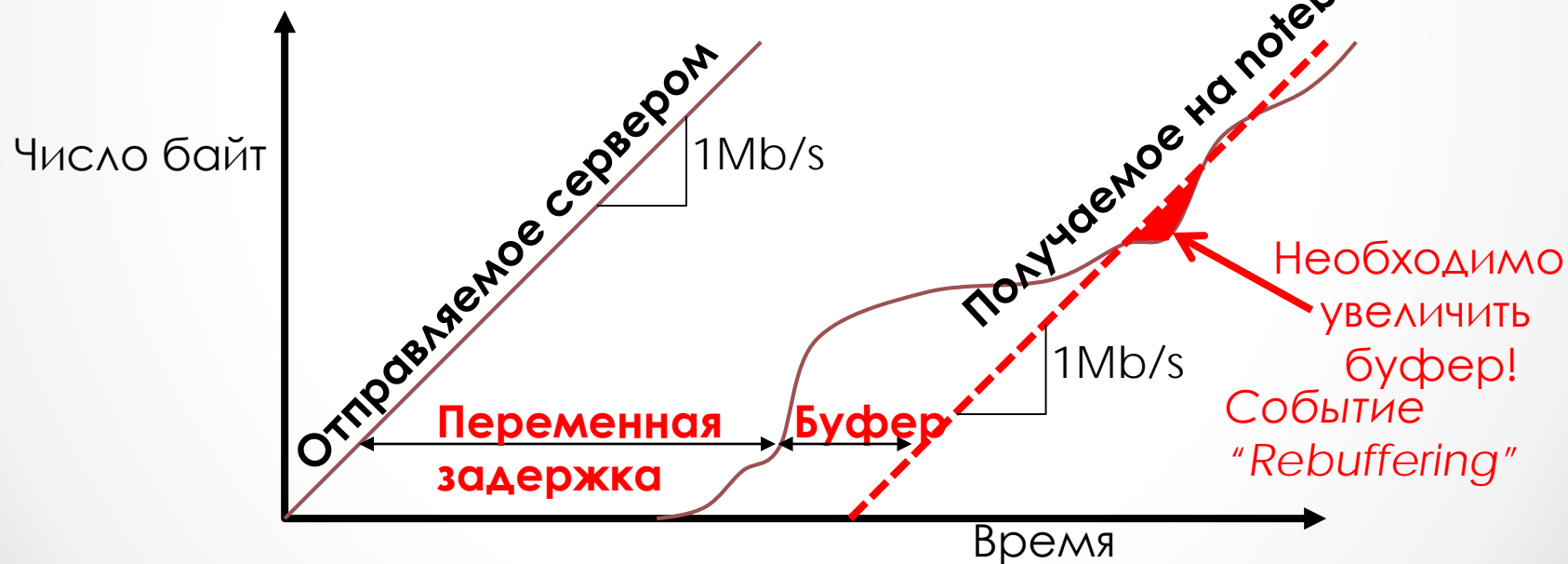
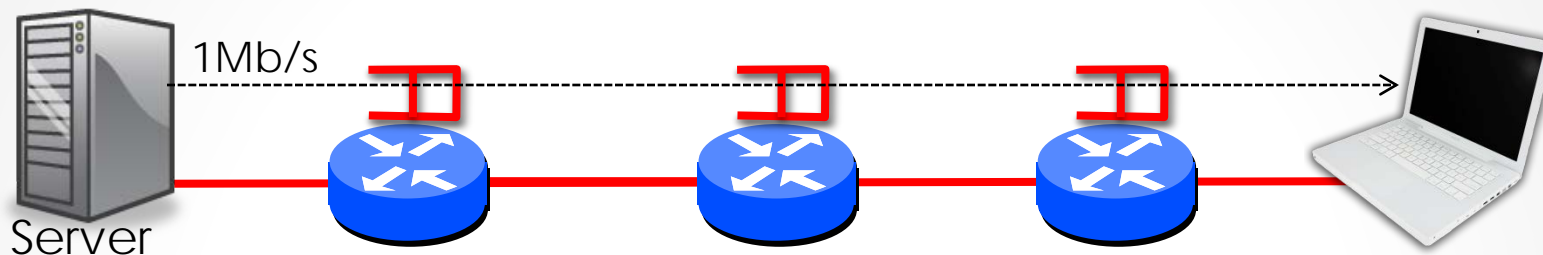
Буфер воспроизведения



Буфер воспроизведения

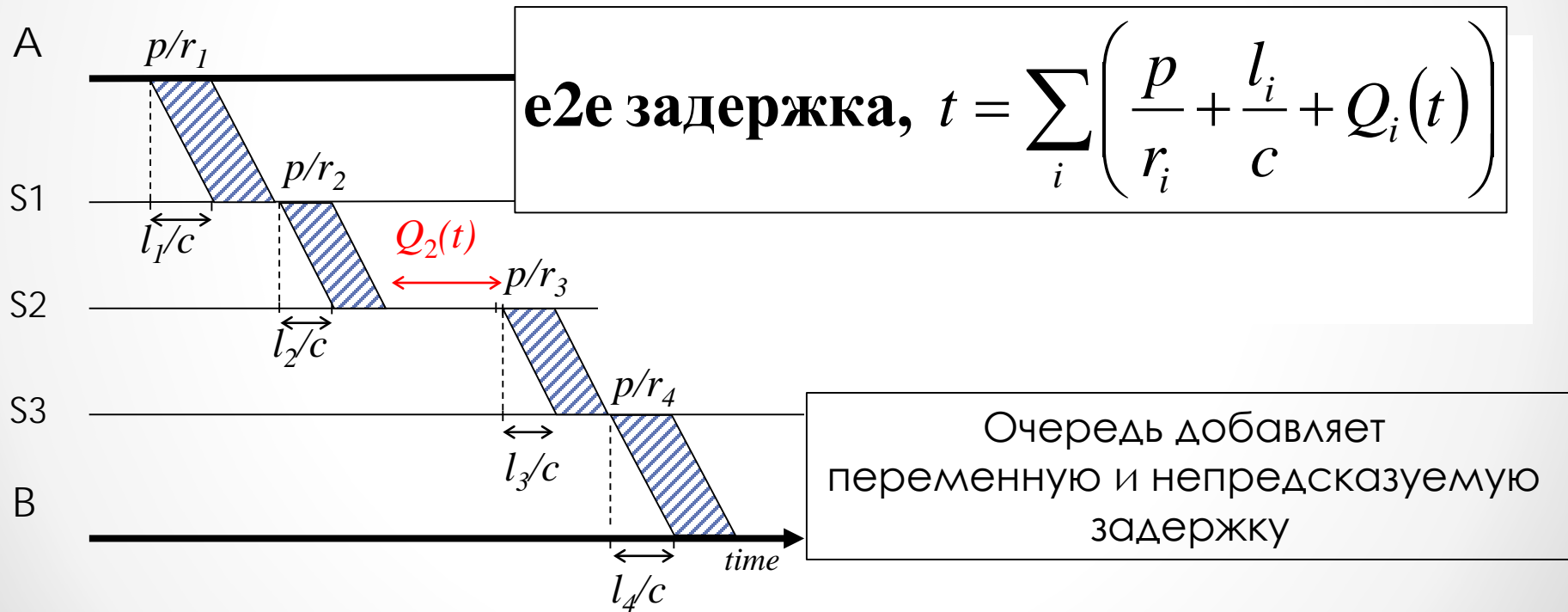
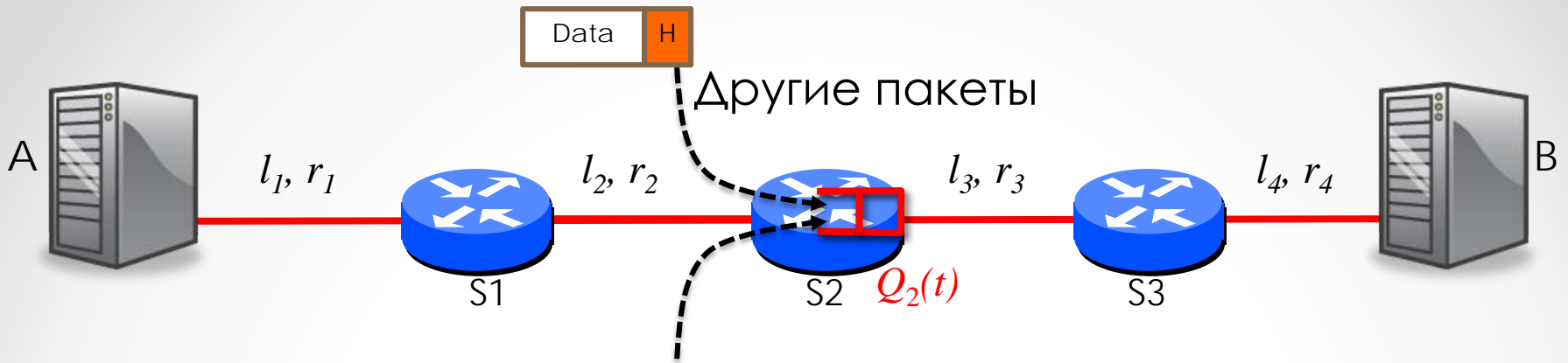


Если буфер мал



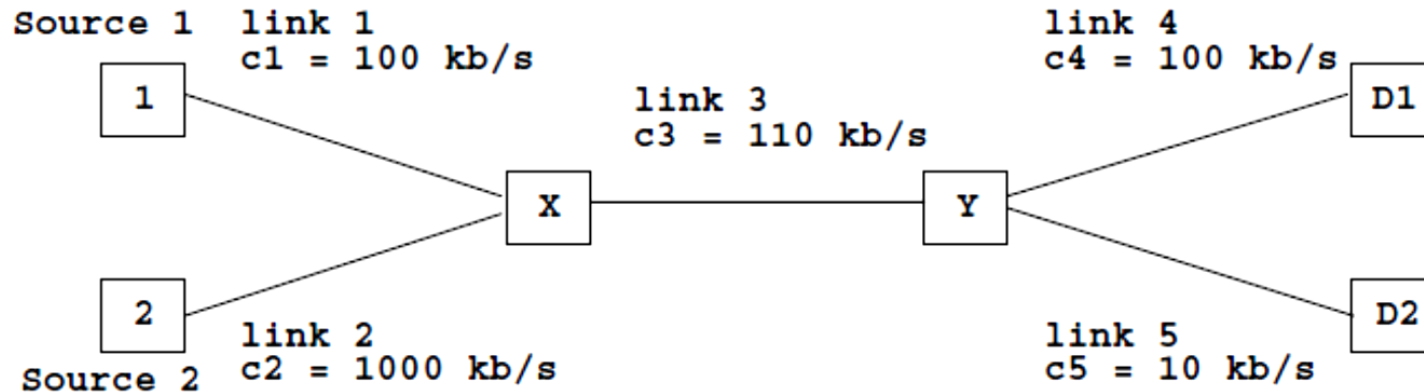
Буфер воспроизведения

- При коммутации пакетов e_2e задержка - величина изменчивая. Буферизация позволяет сгладить эти изменения.
- Можно делать буфер воспроизведения сразу большим, но тогда будет большая задержка на старте.
- Поэтому приложение должно оценивать задержку, устанавливать размер буфера воспроизведения, и изменять этот размер при изменении задержки.



Пример

Источники ничего не знают о распределении пропускных способностей каналов



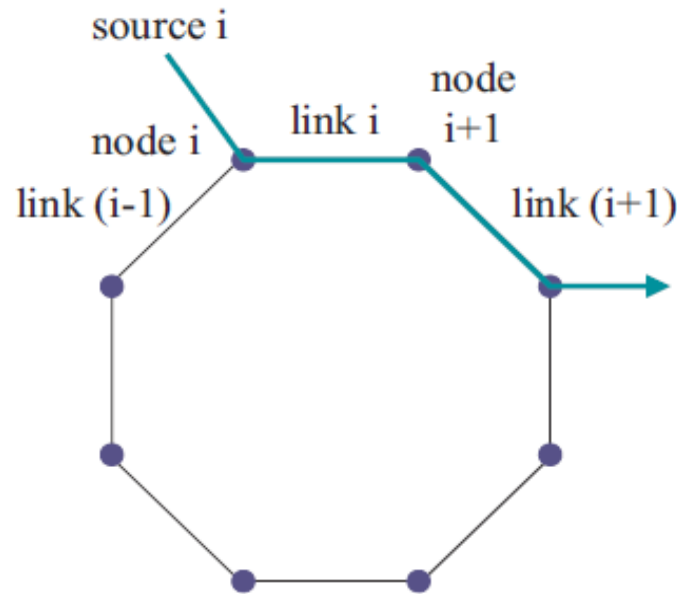
$$\lambda_1 = 100 \text{ kb/s}$$

$$\lambda_2 = 1000 \text{ kb/s}$$

$$\lambda'_1 = \lambda'_2 = 10 \text{ kb/s} \text{ Общая пропускная способность} = 20 \text{ kb/s}$$

Если бы Source 2 знал, что более 10 kb/s он не получит, то общая пропускная способность была бы 110 kb/s !

Пример



$$\lambda' = \frac{c\lambda}{\lambda + \lambda'}$$

$$\lambda'' = \frac{c\lambda'}{\lambda + \lambda'}$$

$$\begin{cases} \lambda'_i = \min \left(\lambda_i, \frac{c_i}{\lambda_i + \lambda'_{i-1}} \lambda_i \right) \\ \lambda''_i = \min \left(\lambda'_i, \frac{c_{i+1}}{\lambda'_i + \lambda_{i+1}} \lambda'_i \right) \end{cases}$$

$$\lambda' = \frac{\lambda}{2} \left(-1 + \sqrt{1 + 4\frac{c}{\lambda}} \right) \quad \lambda'' = c - \frac{\lambda}{2} \left(\sqrt{1 + 4\frac{c}{\lambda}} - 1 \right)$$

$$\sqrt{1 + u} = 1 + \frac{1}{2}u - \frac{1}{8}u^2 + o(u^2) \quad \text{при } u \rightarrow 0$$

$$\lambda'' = \frac{c^2}{\lambda} + o\left(\frac{1}{\lambda}\right)$$

При $\lambda \rightarrow \infty$, $\lambda'' \rightarrow 0$

Заключение

- Сквозная задержка состоит из трех компонентов:
 1. Задержка распространения
 2. Задержка пакетизации
 3. Задержка в буфере коммутатора
- Буферизация позволяет сгладить влияние задержки в очередях
- Важно уметь правильно оценить размер буфера.
- Без обратной связи не знаем как распределяются ресурсы на маршруте.
- Необходима обратная связь с сетью.