

Faculdade de Computação - FACOM

Bacharelado em Sistemas de Informação

FACOM32504 - Redes de Computadores

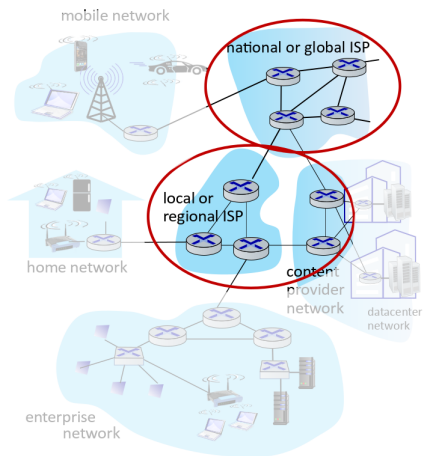
Prof. Thiago Pirola Ribeiro

- As imagens e textos dos slides foram obtidas, em sua grande maioria, dos livros contantes da bibliografia da disciplina e modificadas para esta disciplina.

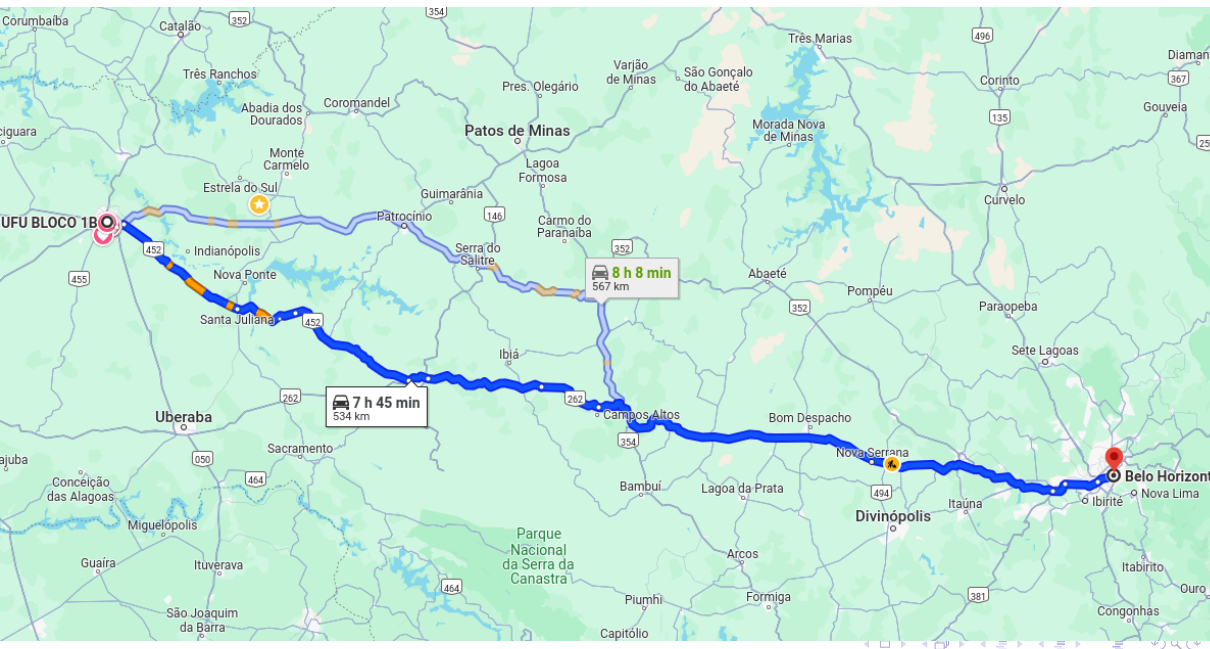
- O que é a Internet?
- A periferia da Internet
- **O núcleo da rede**
- **Atraso, perda e vazão em redes de comutação de pacotes**
- Camadas de protocolo e seus modelos de serviço
- Redes sob ameaça
- História das redes de computadores e da Internet

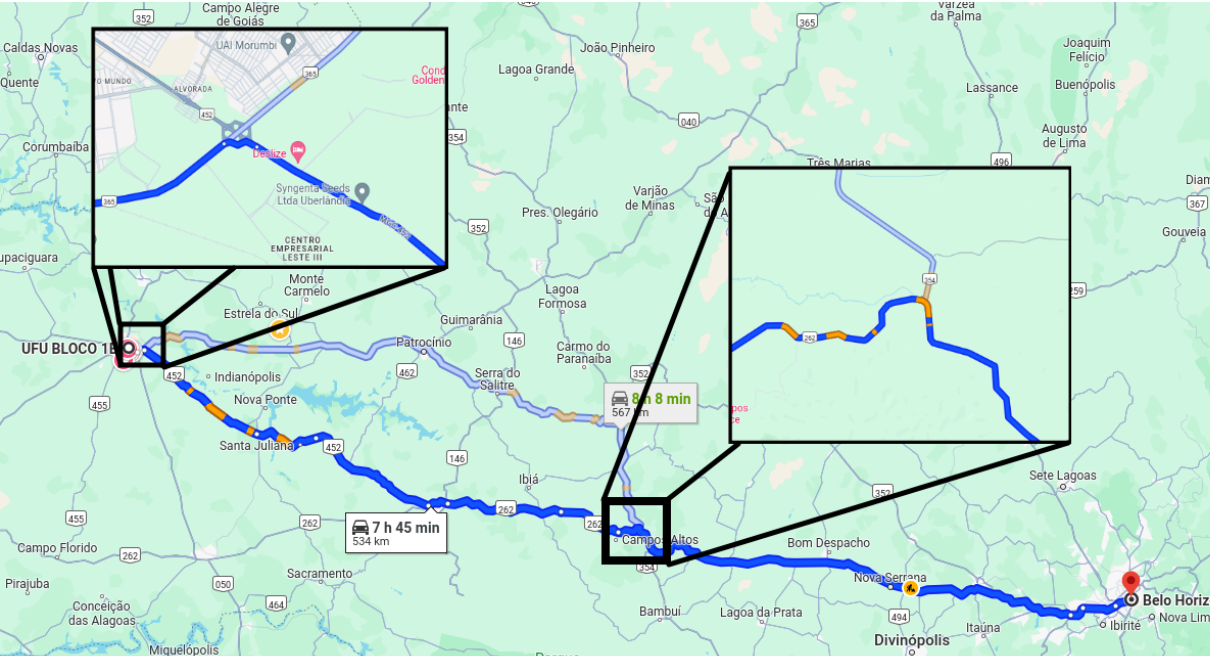
Núcleo da Rede (*Core*)

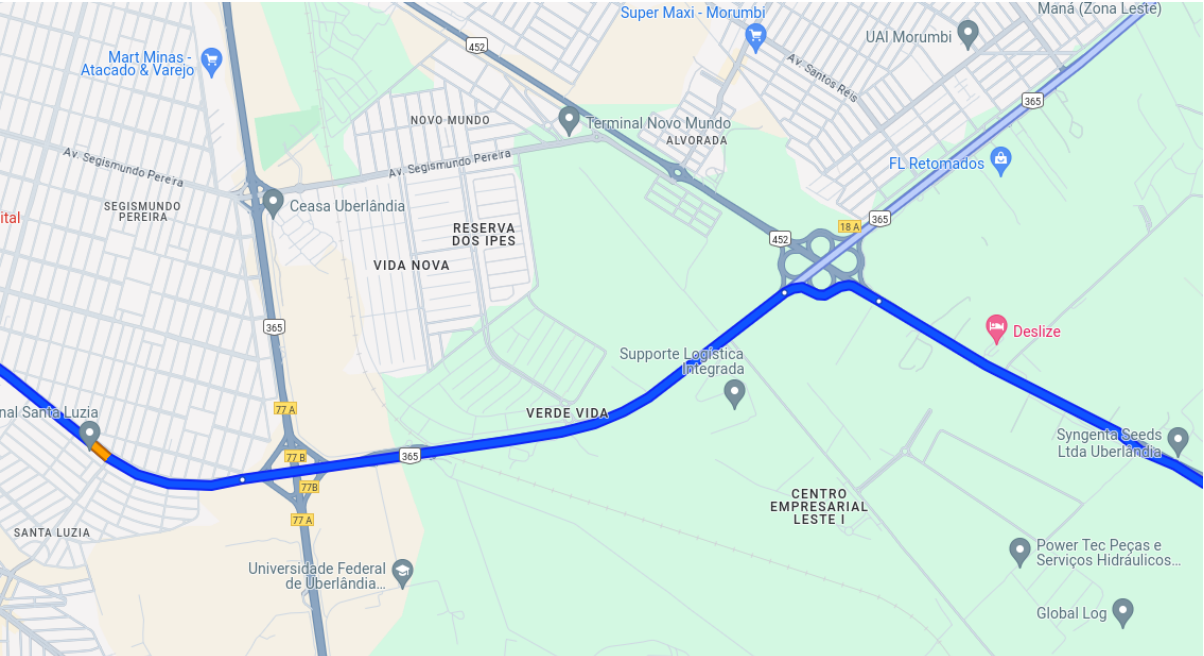
O núcleo da rede



- Malha de roteadores interconectados
- Rede de Redes
- **Comutação de pacotes:** os *hosts* dividem as mensagens da camada de aplicação em **pacotes**
 - A rede encaminha, da origem até o destino, os pacotes de um roteador para o próximo roteador por meio dos links de comunicação









9 / 61

Comutadores

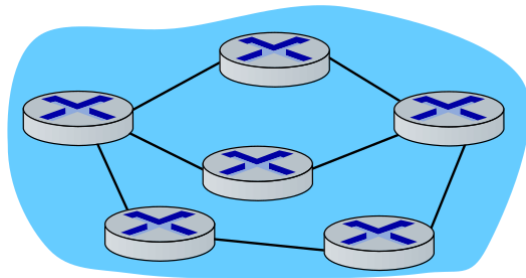




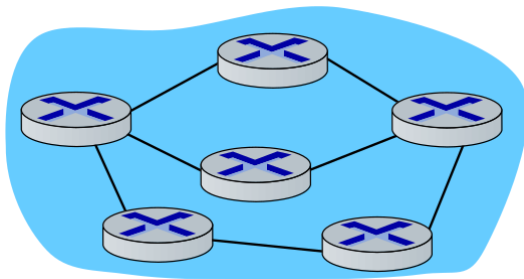


- Em uma aplicação de rede, sistemas finais trocam **mensagens** entre si.
- Para enviar uma mensagem de um sistema final de origem para um destino, o originador fragmenta mensagens longas em porções de dados menores, denominadas **pacotes**.
- Entre origem e destino, cada um deles percorre enlaces de comunicação e **comutadores de pacotes**.
- Há dois tipos principais de comutadores de pacotes: **roteadores e comutadores de camada de enlace**.

Funções Principais da Rede



Funções Principais da Rede

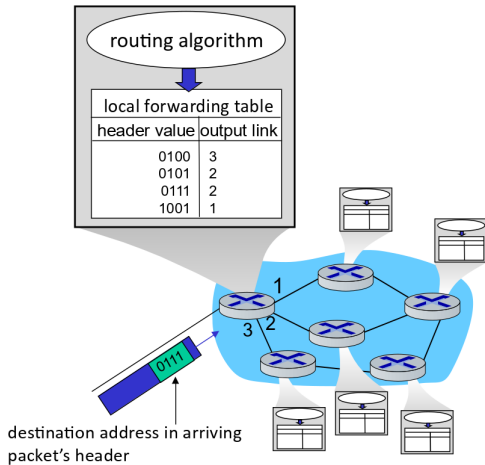


- Suponha que 2 sistemas finais estejam interconectados por diversos comutadores. Como os comutadores sabem qual é o próximo "pulo"? Ou seja, se o comutador A possui diversas opções para qual comutador ele deve enviar o pacote?

Tabelas de repasse e protocolos de roteamento

- Cada roteador possui uma tabela de encaminhamento que mapeia os endereços de destino (endereço IP) para enlaces de saída desse roteador;
- Quando um sistema final de origem quer enviar um pacote a um destino, a origem inclui o endereço IP do destino no cabeçalho do pacote;
- O roteador recebe o pacote, analisa uma parte do endereço de destino e o conduz a um roteador adjacente.
- O processo de roteamento fim a fim é semelhante a um motorista que não quer consultar o mapa, preferindo pedir informações.
 - Quero chegar até a Av. Paulista, 1578 - Bela Vista, São Paulo, SP. Como fazer?

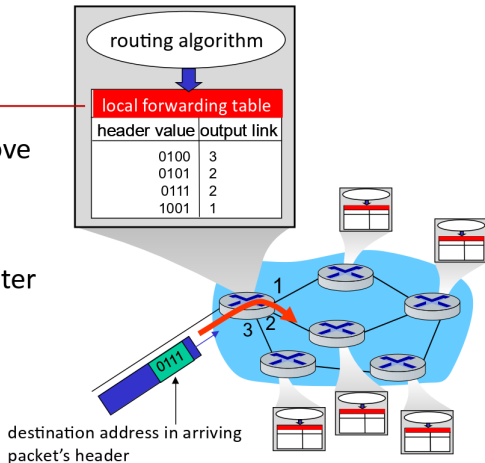
Funções Principais da Rede



Funções Principais da Rede

Forwarding:

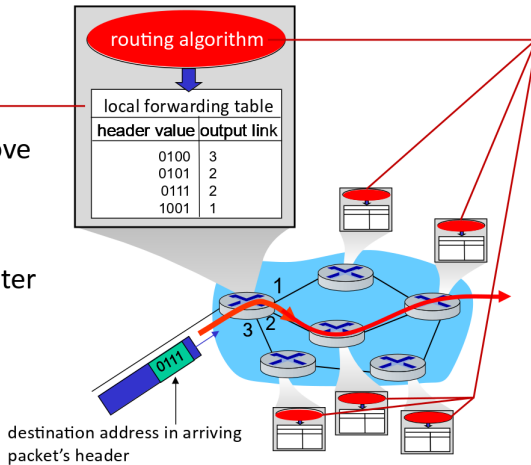
- *local* action: move arriving packets from router's input link to appropriate router output link



Funções Principais da Rede

Forwarding:

- *local* action: move arriving packets from router's input link to appropriate router output link



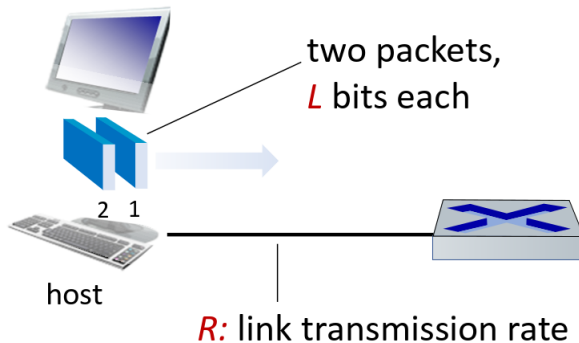
Routing:

- *global* action: determine source-destination paths taken by packets
- routing algorithms

- Como as tabelas de roteamento são montadas? Configuradas manualmente em cada roteador ou utiliza um procedimento mais automatizado?

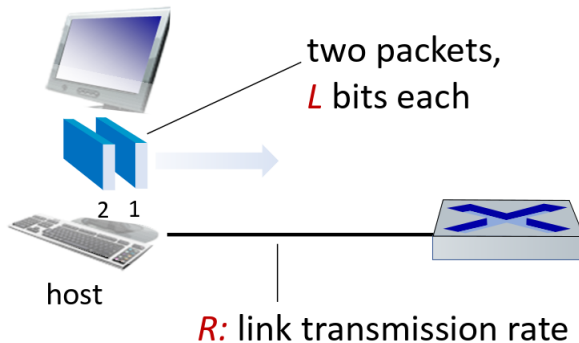
R: Um protocolo de roteamento pode, por exemplo, determinar o caminho mais curto de cada roteador a cada destino e utilizar os resultados para configurar as tabelas de encaminhamento nos roteadores.

Host: envio de pacotes de dados



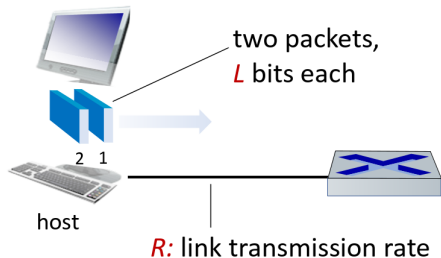
$$\text{packet transmission delay} = \text{time needed to transmit } L\text{-bit packet into link} = ?$$

Host: envio de pacotes de dados



$$\text{packet transmission delay} = \text{time needed to transmit } L\text{-bit packet into link} = \frac{L \text{ (bits)}}{R \text{ (bits/sec)}}$$

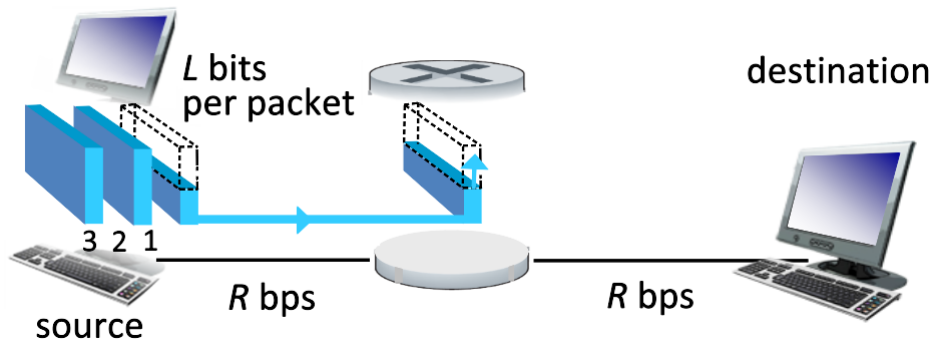
Host: envio de pacotes de dados



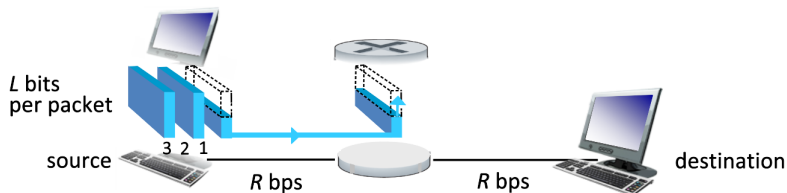
$$\text{packet transmission delay} = \text{time needed to transmit } L\text{-bit packet into link} = \frac{L \text{ (bits)}}{R \text{ (bits/sec)}}$$

- Funções de envio do *host*:
 - levar a mensagem do aplicativo;
 - dividir a mensagem em pedaços menores (pacotes), com L bits de comprimento
 - transmitir o pacote para a rede de acesso na taxa de transmissão R
- * taxa de transmissão do link = capacidade do link = largura de banda do link

Comutação de Pacotes



Comutação de Pacotes: Armazena-e-Envia



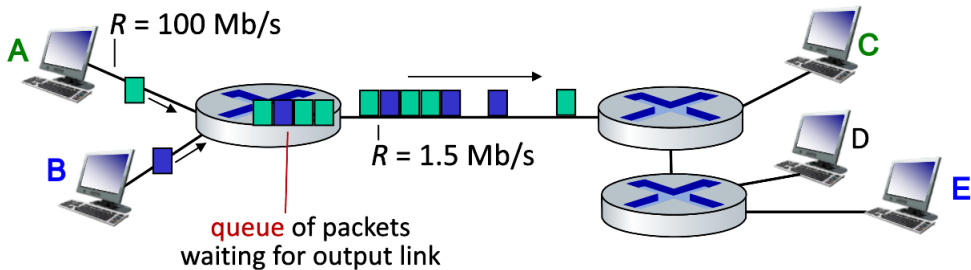
- **Atraso de transmissão de pacote:** leva L/R segundos para transmitir (enviar) o pacote de L -bit para o link em R bps
- **Armazenar e Encaminhar:** o pacote inteiro deve chegar ao roteador antes de ser transmitido para o próximo link
- **Atraso Final:** $2L/R$ (acima), assumindo o atraso de propagação como zero

Comutação de Pacotes: Atraso e Fila

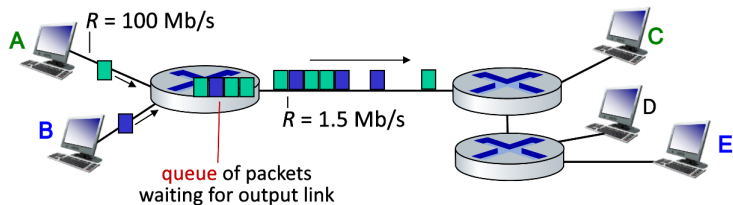
- Cada comutador está ligado à vários enlaces;
- Cada um deles tem um **buffer de saída** (fila de saída) que armazena pacotes prestes a serem enviados pelo roteador para aquele enlace;
- Se um pacote que está chegando precisa ser transmitido por um enlace, mas o encontra ocupado com a transmissão de outro pacote, deve aguardar no *buffer* de saída;
- Os pacotes sofrem **atrasos de fila** e dependem do grau de congestionamento da rede;
- Pode acontecer **perdas de pacote** afinal o espaço do *buffer* é finito.

Comutação de Pacotes: Atraso, Fila e Perda

- Uma rede simples de comutação de pacotes:

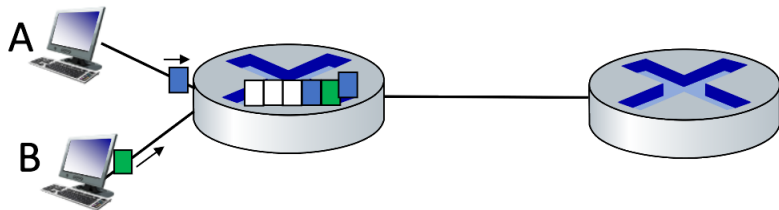


Comutação de Pacotes: Atraso, Fila e Perda

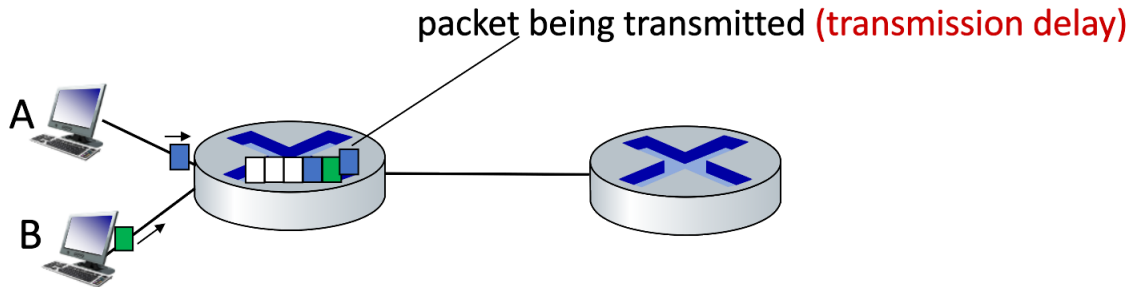


- Se a taxa de chegada ao link exceder a taxa de transmissão do link por algum período de tempo:
 - os pacotes ficarão na fila, esperando para serem transmitidos no link de saída
 - os pacotes podem ser descartados (perdidos) se o *buffer* do roteador ficar cheio

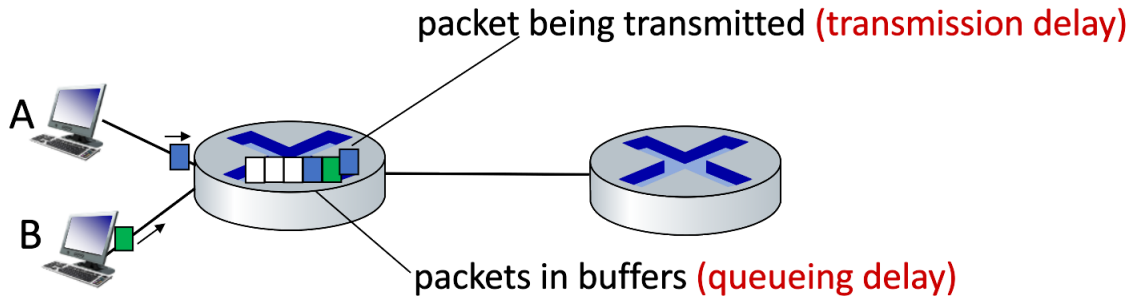
Atraso em redes de comutação de pacotes



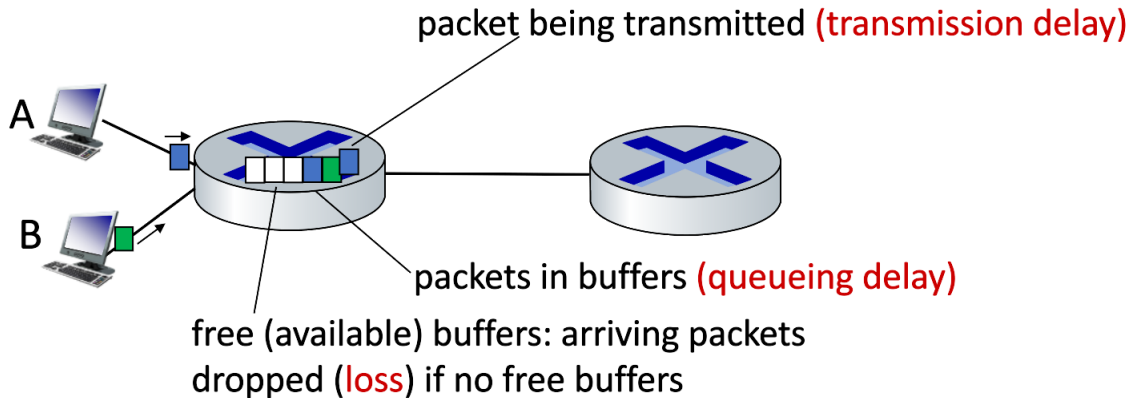
Atraso em redes de comutação de pacotes



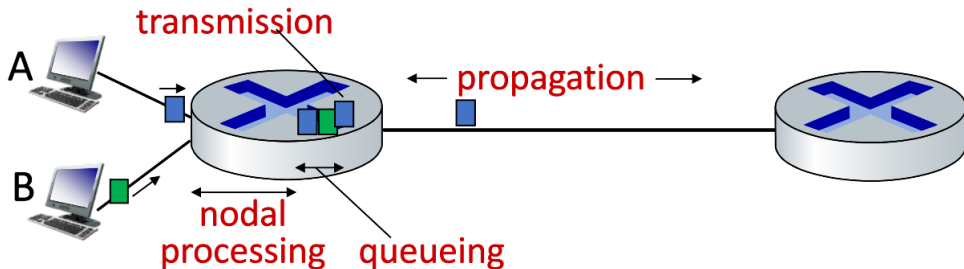
Atraso em redes de comutação de pacotes



Atraso em redes de comutação de pacotes

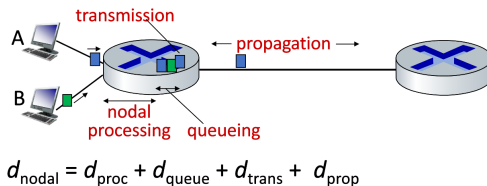


Atraso em redes de comutação de pacotes



$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

Atraso em redes de comutação de pacotes



- Atrasos - mais importantes:

- o atraso de processamento nodal (d_{proc}),
- o atraso de fila (d_{queue}),
- o atraso de transmissão (d_{trans})
- e o atraso de propagação (d_{prop});

juntos, eles se acumulam para formar o **atraso nodal total** (d_{nodal}).

- O **desempenho** de muitas aplicações da Internet é muito afetado por **atrasos na rede**.

Atraso em redes de comutação de pacotes

- **Atraso de processamento** - tempo exigido para examinar o cabeçalho do pacote (microsegundos ou menos);
- **Atraso de fila** - tempo de espera para ser transmitido pelo enlace (micro a milissegundos);
- **Atraso de transmissão** - tempo para transmitir todos os bits do pacote para o enlace (L/R onde L é o tamanho do pacote em bits e R é a velocidade de transmissão do enlace do roteador 1 para o 2, micro a milissegundo);
- **Atraso de propagação** - tempo necessário para propagar o bit desde o início do enlace até o roteador 2 (distância entre os dois roteadores dividida pela velocidade de propagação).

Atraso de fila e perda de pacote

- O mais complicado e interessante componente do atraso nodal é o **atraso de fila**;
- Diferente dos outros três, o atraso de fila pode variar de pacote a pacote;
- Quando o atraso é grande e quando é insignificante?
 - A resposta depende da velocidade de transmissão enlace e da taxa com que o tráfego chega à fila.

Atraso de fila e perda de pacote

- **a**: taxa média com que os pacotes cheguem à fila (pacotes/segundo);
- **R**: taxa de transmissão, taxa com que os bits são retirados da fila (bits/segundo);
- **L**: tamanho dos pacotes (bits);

$$\frac{L \cdot a}{R}$$

Atraso de fila e perda de pacote

- **a**: taxa média com que os pacotes cheguem à fila (pacotes/segundo);
- **R**: taxa de transmissão, taxa com que os bits são retirados da fila (bits/segundo);
- **L**: tamanho dos pacotes (bits);

$$\frac{L \cdot a}{R}$$

O que acontece quando $L a / R$ (intensidade de tráfego) > 1 ?

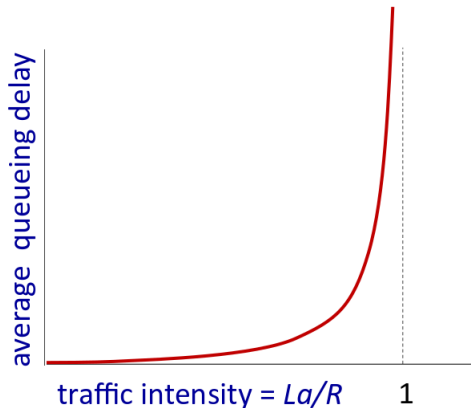
Atraso de fila e perda de pacote

O que acontece quando $La/R > 1$?

Atraso de fila e perda de pacote

O que acontece quando $La/R > 1$?

- A velocidade média com que os bits chegam à fila excederá aquela com que eles podem ser transmitidos para fora da fila;
- A fila tenderá a aumentar sem limite e o atraso de fila tenderá ao infinito.



Atraso de fila e perda de pacote

O que acontece quando $La/R \leq 1$?

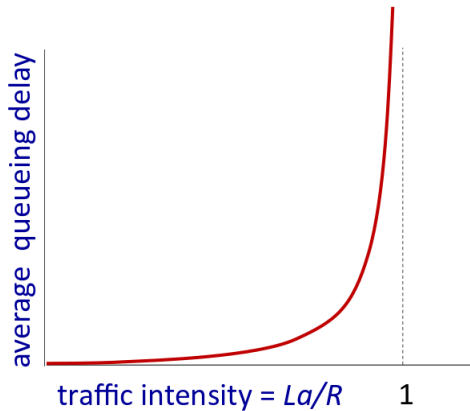
- A **natureza do tráfego** influenciará o atraso da fila;
- Se os pacotes chegam periodicamente, mas em **rajadas**, poderá haver um significativo atraso de fila médio;
- Suponha que cheguem N pacotes ao mesmo tempo, a cada $(L/R)N$ segundos;
- O primeiro pacote não sofrerá atraso, o segundo terá um atraso de (L/R) segundos e assim sucessivamente;
- Chegadas de pacotes costumam ser aleatórias, mas modelá-las de forma periódica e em rajadas auxilia a compreender o atraso da fila.



$$La/R \sim 0$$



$$La/R \rightarrow 1$$



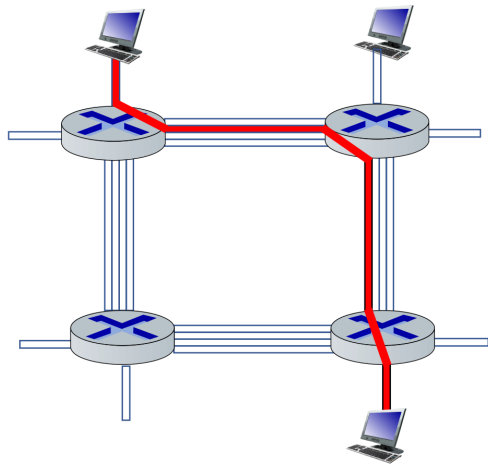
Comutação de Circuitos

- O funcionamento básico da comutação de pacotes foi apresentado;
- Dados também podem se locomover através da **comutação de circuitos**;
- Os recursos ao longo de um caminho (buffers, taxa de transmissão de enlaces) para oferecer comunicação aos sistemas finais são **reservados** pelo período da sessão;
 - Exemplo: restaurantes com ou sem reserva de mesa.
- As redes de telefonia tradicionais são exemplos de redes de comutação de circuitos.

- Quando uma pessoa envia informação (por voz) por meio de uma rede telefônica:
 - Inicialmente a rede precisa estabelecer uma conexão entre ele e o destinatário;
 - Os comutadores no caminho entre o remetente e o destinatário mantêm o estado (criam um **circuito**);
 - Quando a rede estabelece o circuito, também reserva uma taxa de transmissão constante nos enlaces de rede durante o período de conexão - **taxa constante garantida**.

Comutação de Circuitos

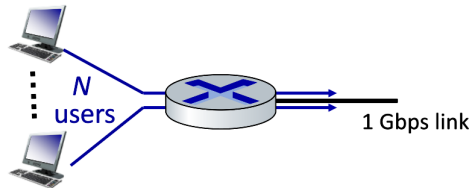
- Recursos finais alocados/reservados para "chamada" entre a origem e o destino;
- Conexão fim a fim dedicada entre dois hosts;
- Comumente utilizada na telefonia tradicional.



Comutação de pacotes vs comutação de circuitos

- Opositores da comutação de pacotes:
 - Não funciona muito bem para serviços de tempo real (telefonia e videoconferência, por exemplo) devido aos atrasos fim a fim;
- Defensores da comutação de pacotes:
 - Oferece melhor compartilhamento de banda - trata os períodos de silêncio que existem na comutação de circuitos;
 - Implementação é mais simples, eficiente e barata.

Comutação de Pacotes vs Comutação de Circuitos



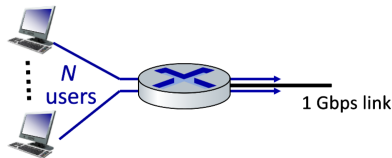
Exemplo:

- 1 Gb/s link;
- Cada usuário:
 - 100 Mb/s quando "ativo"
 - ativo 10% do tempo

? Quantos usuários podem usar esta rede em:

- Comutação de Circuitos
- Comutação de Pacotes

Comutação de Pacotes vs Comutação de Circuitos



Exemplo:

- 1 Gb/s link;
- Cada usuário:
 - 100 Mb/s quando "ativo"
 - ativo 10% do tempo
- ? Quantos usuários podem usar esta rede em:
 - **Comutação de Circuitos:** 10 usuários.
 - **Comutação de Pacotes:** com 35 usuários. A probabilidade de ter mais de 10 ativos ao mesmo tempo é menor que 0,0004

Então a Comutação de Pacotes é a "vencedora"?

Comutação de Pacotes vs Comutação de Circuitos

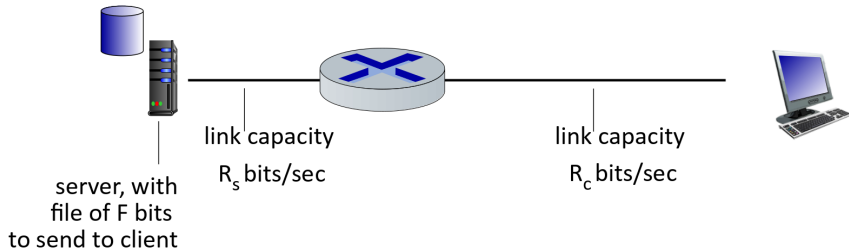
Então a Comutação de Pacotes é a "vencedora"?

- **Ótima para dados "intermitentes"**: às vezes tem dados para enviar, mas outras vezes não
 - compartilhamento de recursos
 - mais simples, sem configuração de chamada
- **Possibilidade de congestionamento excessivo**: atraso e perda de pacotes devido ao estouro de *buffer*
 - necessidade de protocolos para transferência confiável de dados e controle de congestionamento

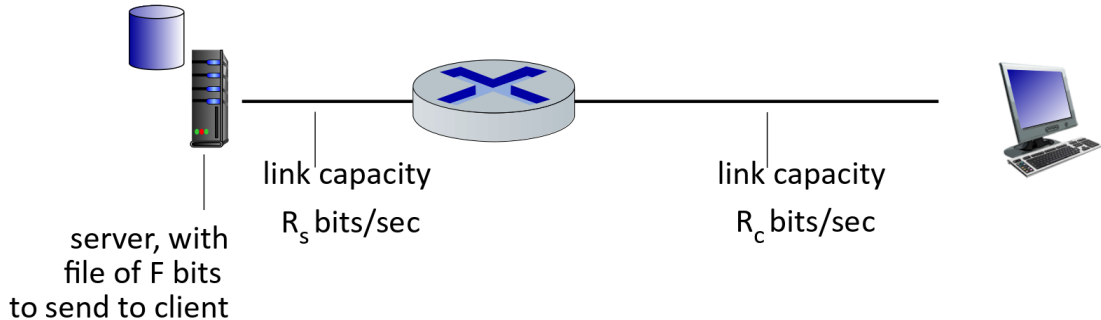
Vazão nas Redes de Computadores - *Throughput*

Vazão nas redes de computadores - *Throughput*

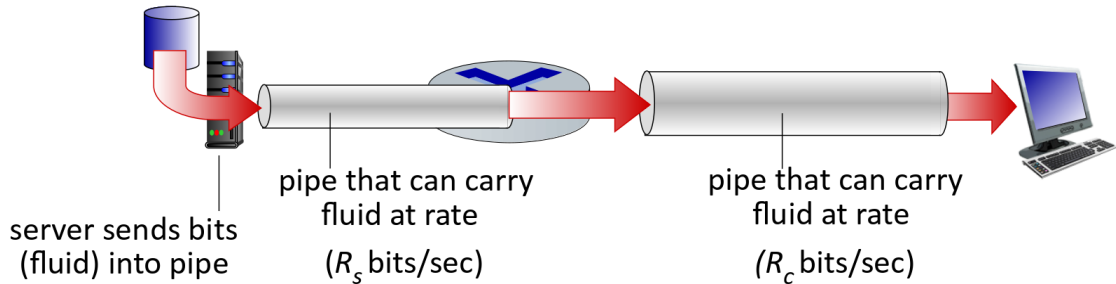
- Para definir vazão, considere a transferência de um arquivo grande do servidor para o cliente por uma rede de computadores.
- A **vazão instantânea** a qualquer momento é a **taxa** (em bits/s) em que o cliente está recebendo o arquivo.
- Se o arquivo consistir em F bits e a transferência levar T segundos para o cliente receber todos os F bits, então a **vazão média** da transferência do arquivo é F/T bits/s.



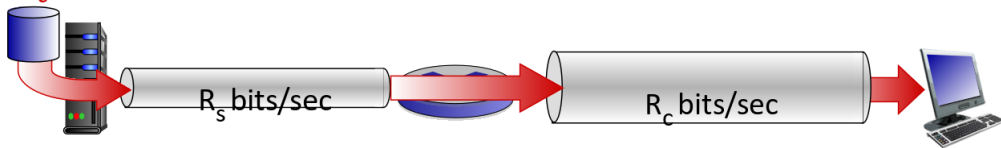
Vazão nas redes de computadores



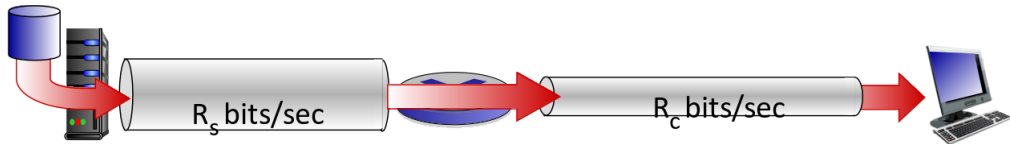
Vazão nas redes de computadores



$R_s < R_c$ What is average end-end throughput?

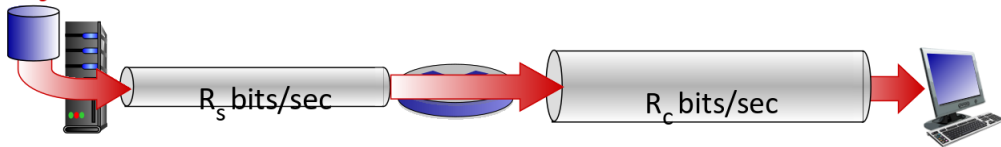


$R_s > R_c$ What is average end-end throughput?

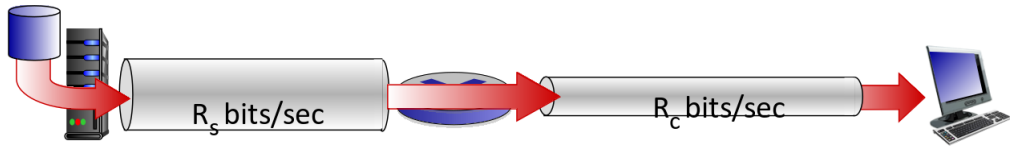


Vazão nas redes de computadores

$R_s < R_c$ What is average end-end throughput?



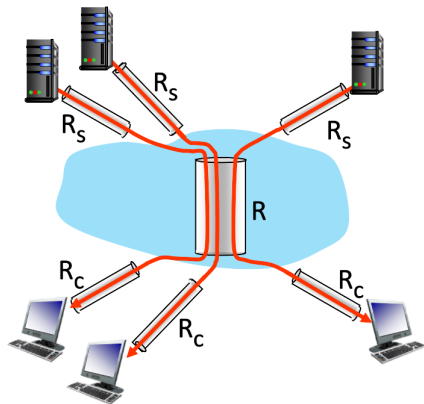
$R_s > R_c$ What is average end-end throughput?



Gargalo

link no caminho restringe a taxa de transferência fim-a-fim!

Vazão nas redes de computadores



- Vazão por conexão fim-a-fim:
 $\min(R_c, R_s, R/10)$
- Na prática: R_c ou R_s é frequentemente um gargalo

10 conexões (razoavelmente) compartilham
link com gargalo de backbone R bits/s

Vazão nas redes de computadores

- A vazão depende das taxas de transmissão dos enlaces sobre os quais os dados fluem;
- Quando não há tráfego interveniente, a vazão pode apenas ser aproximada como a taxa de transmissão mínima ao longo do caminho entre origem e destino;
- Um enlace com uma alta taxa de transmissão pode ser o gargalo para uma transferência, caso muitos outros fluxos de dados estejam passando por aquele enlace;
- O fator restritivo para vazão na Internet hoje é, em geral, a rede de acesso.

Atividades para o próximo encontro...

KUROSE, J.; ROSS, K. **Redes de Computadores e a Internet**. 5a ed. Pearson, 2010.

- Ler Capítulo 1 seções: 1.3 e 1.4

Faculdade de Computação - FACOM

Bacharelado em Sistemas de Informação

Prof. Thiago Pirola Ribeiro