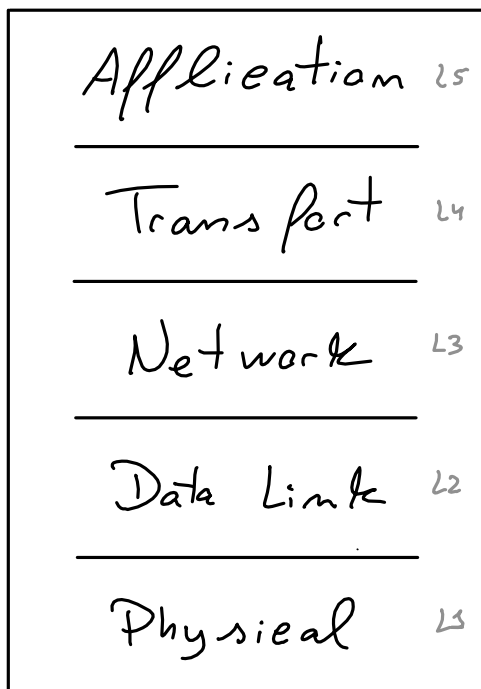


Redes de Computadores

Resumos

1. Internet Reference Model
 2. Camada física
 3. Camada de ligação de dados
 4. Latência
 5. Sub-camada MAC : Protocolos
 6. Camada de rede
 7. Camada de transporte
- Rotas : Greedy, Shortest Path, Dijkstra, Bellman-Ford e vetores de distâncias, max flow
 - Camada de aplicação : HTTP, SMTP/POP3/IMAP, DNS

TCP/IP Stack



Aplicação que usam a rede

HTTP / SMTP / FTP / ...

Transferência "end-to-end"

TCP / UDP

Rotas de pacotes

IP

Comunicação entre vizinhos

Ethernet

O Fio em si

Cálculos de $T_{\text{end-to-end}} = \sum_{\text{nodes}} (T_{\text{prop}} + T_{\text{f}})$

⊛ Packet Switching

- Tempo / Atraso de propagação (s)

$$T_{\text{prop} A-B} = v_{\text{prop}} \cdot d_{A-B}$$

- v | velocidade (m/s)
- d | distância entre A e B (m)

- Tempo de pacote (s)

$$T_{\text{f}} = L / C$$

- L | tamanho do pacote (bit)
- C | capacidade de transmissão (bit/s)

Capacidade $C = 2B \log_2(M)$

- B : Frequência do canal (Hz)
- M : #múltiplos para codificar informação
($\log_2(M) \rightarrow \text{bit}$)

Tipos de modulações

- Sinal binário



- Modulação por amplitude



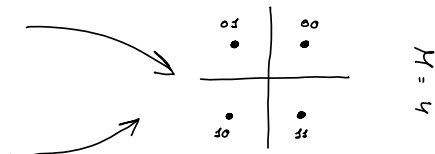
- Modulação por frequência



- Modulação por fase



- M-Modulação por amplitude:



Lei de Shammom

$$C = B_c \log_2(1 + \text{SNR})$$

\hookrightarrow Potência do ruído visto pelo receptor numa largura de banda

$$N = N_0 B_c \quad (\text{W})$$

C : Capacidade máxima teórica de um canal (bit/s)

B_c : largura de banda do canal (Hz)

P_r : Potência do sinal visto pelo receptor (W)

N_0 : Potência do ruído por unidade de banda (W/Hz)
 $= 10^{-9}$

\hookrightarrow "Signal to Noise Ratio" $\text{SNR} = \frac{P_r}{N}$

Unidades de potência

W, dBW e dBm

$$P_{\text{dBW}} = 10 \log_{10} P_w$$

$$P_{\text{dBm}} = 10 \log_{10} P_{\text{mw}}$$

- Ganho

\hookrightarrow Potência em Watts: $P_r = P_{\text{total}} \times \text{Ganho}$

\hookrightarrow Potência em dBm/dBW: $P_r = P_{\text{total}} + \text{Ganho}$

- Atenuação
- Tempo de propagação

$= - \text{Ganho}$ $T_{\text{prop}} = \frac{d}{c} = \frac{\lambda}{v}$

Transmissão no vazio

$$\frac{P_{\text{transmissão}}}{P_{\text{receção}}} = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} = \frac{(4\pi f d)^2}{c^2}$$

d : distância de propagação (m)

λ : comprimento de onda (m)

f : Frequência da onda (Hz)

c : 3×10^8 m/s (velocidade da luz)

Métodos de tramas

- Indicar o tamanho da trama
- "Byte stuffing" com "flags" e "escape"
- "Bit stuffing" com "flags" e "escape"

Probabilidades de erros

- Trama sem erros: $(1 - \text{BER})^m$ m | tamanho da trama
- Trama com erro(s): $\text{FER} = 1 - (1 - \text{BER})^m$ m | tamanho da trama
- i bits com erros: $\frac{n!}{i!(n-i)!} \text{BER}^i (1 - \text{BER})^{n-i}$

Deteção de erros

- "Simple Parity Check" (#bits par $\rightarrow 0$)
 $\hookrightarrow d = 2$
- "Bi-dimensional Parity Check"
 $\hookrightarrow d = 4$

Esquemas ARQ

k | #bits de sequência
 N_r | #tentativas até transmitir com sucesso

- "Stop and Wait" $\text{RTT} = 2T_{\text{prop}} + T_F$

$$S = \frac{1 - \text{FER}}{1 + 2a} \quad N_r = \frac{1}{1 - \text{FER}}$$

• Débito máxima:

$$C_{\text{máx}} = S \cdot C$$

- "Go Back N" (útil se $a \ll 1$)

$$S = \begin{cases} \frac{1 - \text{FER}}{1 + 2a \text{ FER}} & , W \geq 1 - 2a \\ \frac{W(1 - \text{FER})}{(1 + 2a)(1 - \text{FER} + W \text{ FER})} & , W < 1 - 2a \end{cases}$$

$$a = \frac{T_{\text{prop}}}{T_F}$$

$$W_{\text{máx}} = 2^k - 1$$

$$W = M - 1$$

- "Selective Repeat" (útil se $a \gg 1$)

$$S = \begin{cases} 1 - \text{FER} & , W \geq 1 + 2a \\ \frac{W(1 - \text{FER})}{1 + 2a} & , W < 1 + 2a \end{cases}$$

$$W_{\text{máx}} = 2^{k-1}$$

$$W = M/2$$

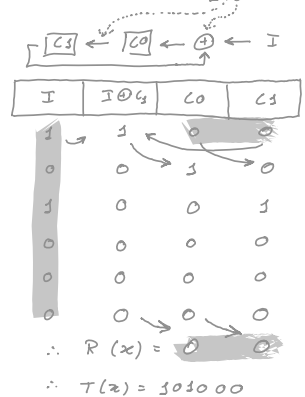
- CRC: "Cyclic Redundancy Check"

Ex: Dado $H(x) = x^3 + x$ (3030)

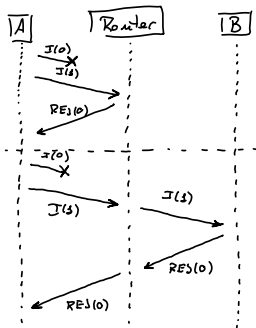
Escolhido $r = 2$

$$\hookrightarrow H(x) \cdot x^r = x^5 + x^3 \text{ (303000)}$$

$$\hookrightarrow \text{Escolhido } G(x) = x^3 + 1 \text{ (303)}$$



Link-by-Link vs End-to-End ARQ



$$C_{LL} = C \cdot (1 - \text{PLR})$$

$$C_{EE} = C \cdot (1 - \text{PLR})^k$$

- Mais eficiente
- Mais complexo

- Eficiente só com PLR baixo
- Mais simples

Estratégias de "multiplexing"

"Statistical Multiplexing"

* FDM



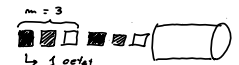
$$T_f = L / C$$

FDM (Frequência)



$$T_f = L \cdot m / C$$

TDM (Tempo)



Modelo de uma Fila

$$\mu = \frac{C}{L} \quad \lambda = \frac{R}{L}$$

Intensidade de tráfego

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

Lei de Little

$$N = \lambda T$$

$$N = N_w + N_s$$

$$T = T_w + T_s$$

$$N_w = \lambda T_w \quad N_s = \rho$$

$$(\Rightarrow) T_w = \frac{N_w}{\lambda}$$

Notação de Kendall

$\lambda \rightarrow$ Capacidade das Filas

\rightarrow # de servidores / "funcionários"

\rightarrow Processo de atendimento

\rightarrow Processo de chegada

A/S/\lambda/\mu/1

N : média de clientes no sistema

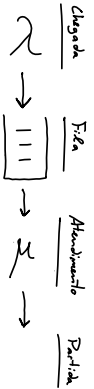
N_w : na fila

N_s : a ser servido

T : média de tempo gasto por cliente no sistema

T_w : na fila

T_s : a ser servido



Fila M/M/1

$$N = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

$$T = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{N}{\lambda} \quad \left(\frac{m}{\mu - \lambda} \text{ em TDM/FDM} \right)$$

$$T_s = \frac{1}{\mu}$$

$$T_w = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)} = \frac{N}{\lambda}$$

$$N_w = N - \rho$$

Fila M/M/1/B

• Probabilidade de perder um pacote (fila cheia):

$$P(B) = \frac{(1 - \rho) \rho^B}{1 - \rho^{B+1}}$$

$$\left| \rho \rightarrow 1 \right. \rightarrow \frac{1}{B+1}$$

$$\left| \rho \gg 1 \right. \rightarrow \approx \frac{\rho - 1}{\rho} = \frac{\lambda - \mu}{\lambda}$$

Rede de Jackson

$$\lambda_j = r_j + \sum_{i=1}^k \lambda_i P_{ij}$$



$$\lambda_3 = 5 + 0.2 \lambda_1 + 0.2 \lambda_2 = 5$$

$$\lambda_2 = 0 + 0.6 \lambda_1 + 0.4 \lambda_3 = 3$$

$$\lambda_1 = 0 + 0.4 \lambda_2 + 0.2 \lambda_3 = 2$$

Fila M/G/1

$$T_w = \frac{\lambda E[X^2]}{2(1 - \rho)}$$

$$(\rho = \lambda E(X))$$

Fila M/D/1

$$E[X] = \frac{1}{\mu}$$

$$E[X^2] = \frac{1}{\mu^2}$$

$$T_w = \frac{\rho}{2\mu(1 - \rho)}$$

"Channel Partitioning" "Random Access" "Taking Turns"

Vários "modos" divididos por tempo (TDM) ou Frequência (FDM)

- Sem partição
- Permite colisão

Estação com mais dados têm maiores turnos

ALOHA

| Espera por um "Round-Trip Propagation Delay" antes de transmitir.

| N estações, chegada em "Poisson", tamanho de trama constante, $T_{frame} = 1$

• Eficiência

• Tráfego gerado

• Prob. de uma estação gerar um pacote em T_F

$$S = \lambda_{rx} \cdot T_F$$

$$G = \lambda \cdot T_F$$

$$N \cdot p = G$$

λ_{rx} : taxa de transmissão com sucesso

CSMA

| Ouve antes de transmitir

• Probabilidade de colisão

$$a = \frac{T_{prop}}{T_F}$$

• CSMA Persistente

• CSMA Não persistente

• CSMA p-persistente

CSMA - CD

| Ao detectar uma colisão, a retransmissão é atrasada entre 0 e $2^i - 1$.

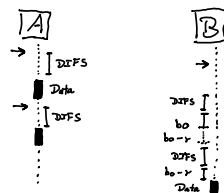
$$S \approx \frac{1}{1 + 5,44 a}$$

$$a = T_{prop,max} / T_F$$

CSMA - CA

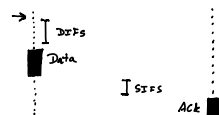
| Usado quando a detecção de colisão é impossível.

- Espera um intervalo DIFS com o meio livre
- Se ocupado, espera um intervalo "backoff" aleatório com o meio livre
↳ Se voltar a ficar ocupado, o cronômetro é parado e volta a decrementar quando o meio estiver livre



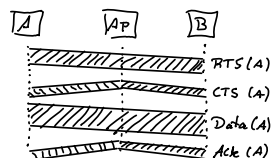
• Com Ack obrigatório:

- Após enviar os dados, o remetente espera um intervalo SIFS ($SIFS < DIFS$) e depois envia um Ack.
- Se o Ack não for recebido, a transmissão é reagendada.



• "Request-to-Send" e "Clear-to-Send"

- Colisão não muito custosa em grandes transmissões;
- Transmissor envia RTS para o AP;
- AP "broadcasts" CTS.

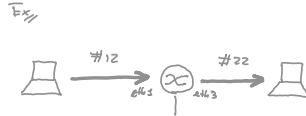


Serviços

- "Datagram": Serviço sem conexão, configuração ou estado.
- "Virtual Circuit": Serviço orientado a conexão; útil em controle de congestionamento

Tabela de redirecionamentos (VC)

Entrada	Interface	#463	
	#VC	52	
Saída	Interface	#463	
	#VC	22	



- Por eficiência, estas tabelas trabalham com intervalos.
- O intervalo mais específico (maior prefixo) é selecionado primeiro.

Subnets | Prefixo de uma rede interna



• Representação IP

223.3.3.0

subnet (24 bits) host

• Broadcast

223.3.3.255

(todos os bits a 1)

• Loopback

127.X.X.X

ARP

| "Address Resolution Protocol"

| Obter o endereço MAC dado o endereço IP

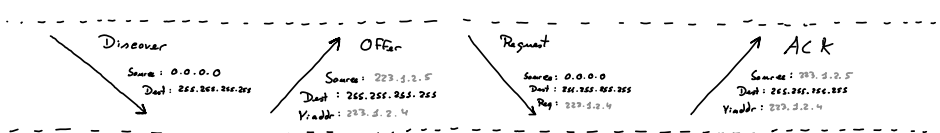
1. "Broadcast" de um "ARP Request".

2. O nó envia um "ARP Reply" com o MAC.

DHCP

| "Dynamic Host Configuration Protocol"

| Obter dinamicamente o endereço IP do servidor de rede



NAT

Hasia vários endereços IP_s internas
a um único IP externo usando "Port Forwarding"

198.96.29.7:8080 ↔ 10.0.0.1:3345

ICMP Redirect

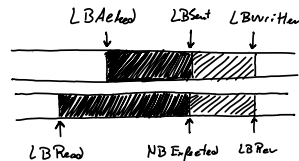
Router (com conhecimento extenso das rotas)
indica ao host (com conhecimento mínimo)
uma melhor rota para guardar em cache.

UDP | Orientado a datagramas
| Interface direta ao IP

TCP | Orientado a conexão
| Confível a custo de performance

Retransmissões TCP | Variação do Go-Back-N

- Espaço livre = $\text{len}(\text{Recv Buffer}) - (\text{LB Rev} - \text{LB Read})$
- Advertised Win = Espaço livre - $(\text{LBSent} - \text{LBAcked})$
- TCv bloqueado de escrever x bytes quando $(\text{LBWritten} - \text{LBAcked}) + x > \text{len}(\text{Recv Buffer})$



Retransmissão Adaptativa

$$\alpha = 0,125$$

$$\beta = 0,25$$

$$\text{Est RTT} = (1 - \alpha) \text{Est RTT} \quad (\text{média ponderada})$$

$$\text{Dev RTT} = (1 - \beta) \text{Dev RTT} + \beta | \text{Sample RTT} - \text{Est RTT} | \quad (\text{desvio padrão})$$

$$\text{Timeout} = \text{Est RTT} + 4 \text{Dev RTT}$$

"Additive Increase / Multiplicative Decrease"

- Janela de congestionamento como uma variável de conexão:
 - ↳ $\text{Max Win} = \min(\text{Congestion Win}, \text{Advertised Win})$
 - ↳ $\text{Effective Win} = \text{Max Win} - (\text{LBSent} - \text{LBAcked})$
- Aumenta em $\text{MSS}^2 / \text{Congestion Win}$ a cada Ack;
- Divide por 2 a cada perda de pacote
- Congestionamento é inversamente proporcional ao Congestion Win.
- $\text{Bitrate} = \frac{\text{Congestion Win}}{\text{RTT}}$

"Slow Start"

1. Começa com $\text{Congestion Win} = \text{MSS}$
2. Duplica a cada Ack recebido (RTT)
3. Quando um pacote é perdido:
 - ↳ $\text{threshold} = \frac{1}{2} \text{Congestion Win}$
 - ↳ $\text{Congestion Win} = \text{MSS}$
 - ↳ Retransmitir pacote
 - ↳ Slow Start até $\text{Congestion Win} = \text{threshold}$
4. Entrar na fase de prevenção de congestionamento

"Congestion Avoidance"

- Incrementa MSS a cada Ack
- Se perder pacote, Congestion Win passa a metade

