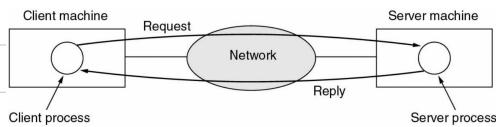


Redes de Computadores

Aquiteturas de Aplicações:

1. Cliente-Servidor:



Web

Servidor: computador sempre ligado com um endereço IP permanente e nome conhecido

Cliente: comunica com o servidor e não diretamente com outros clientes, podendo ser conectados间断性地 e

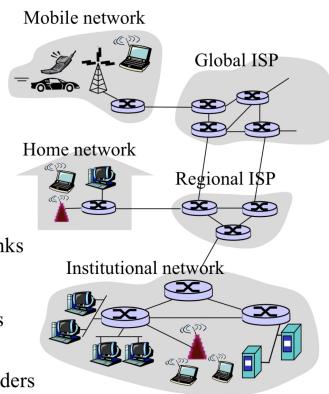
2. P2P: nenhum servidor sempre ligado e sistemas finais arbitrários comunicam diretamente - os pares são conectados间断性地 e podem mudar de endereço IP
Bit Torrent

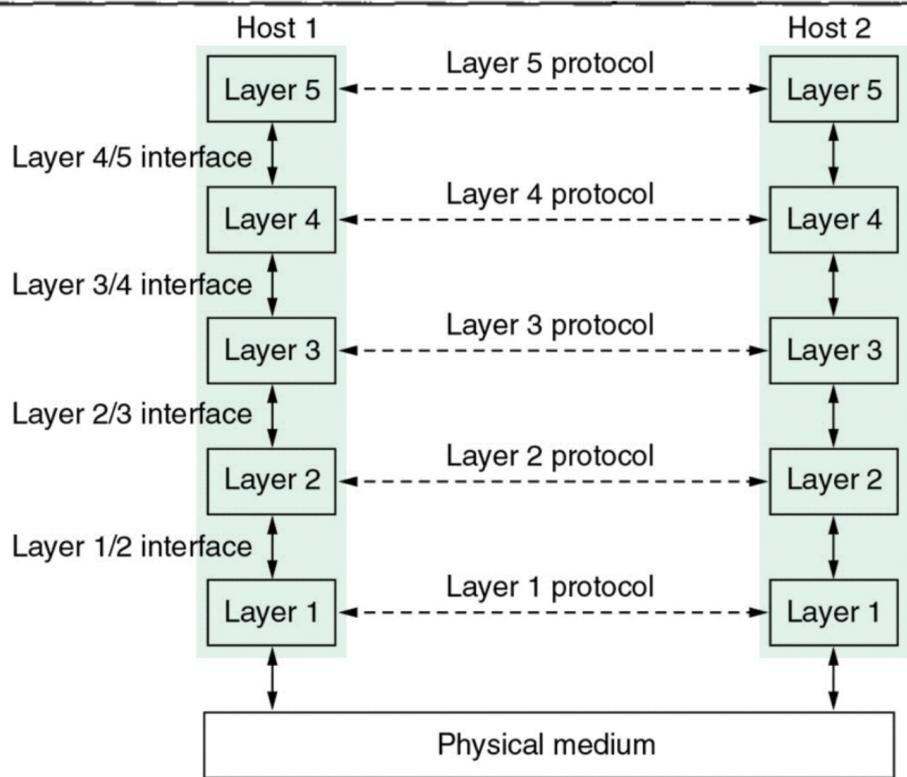
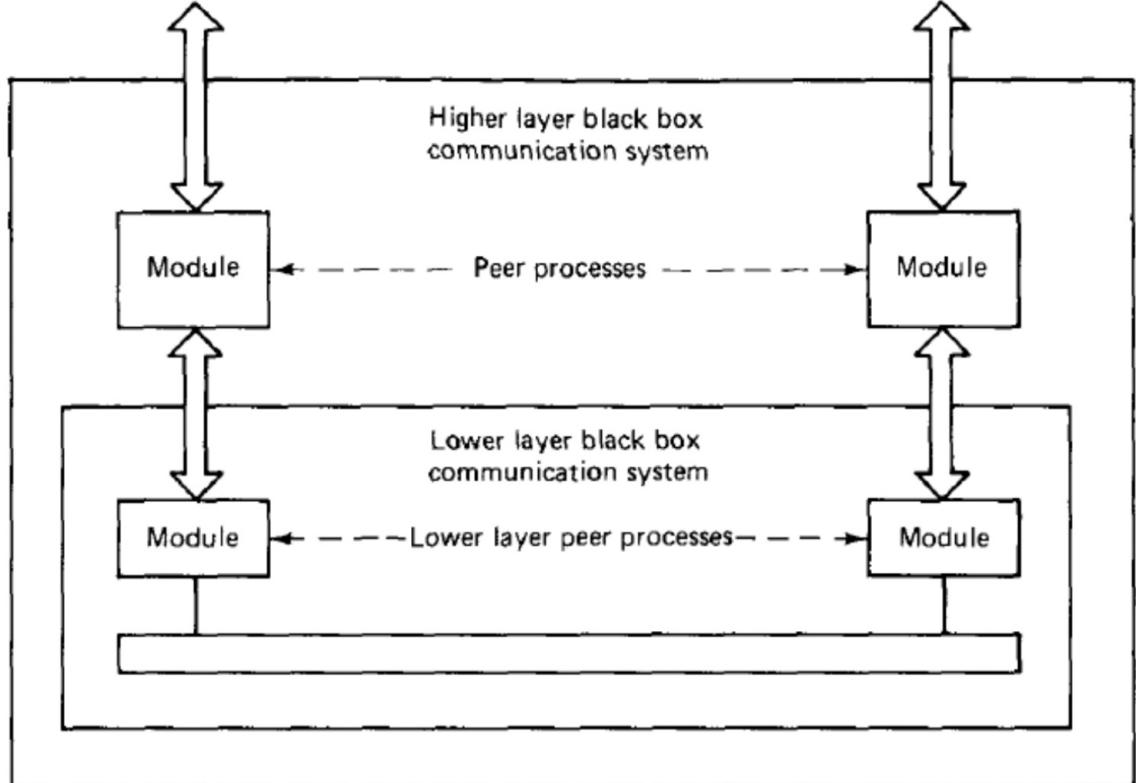
Classificação de Redes de Computadores: por escala (distância entre CPUs)

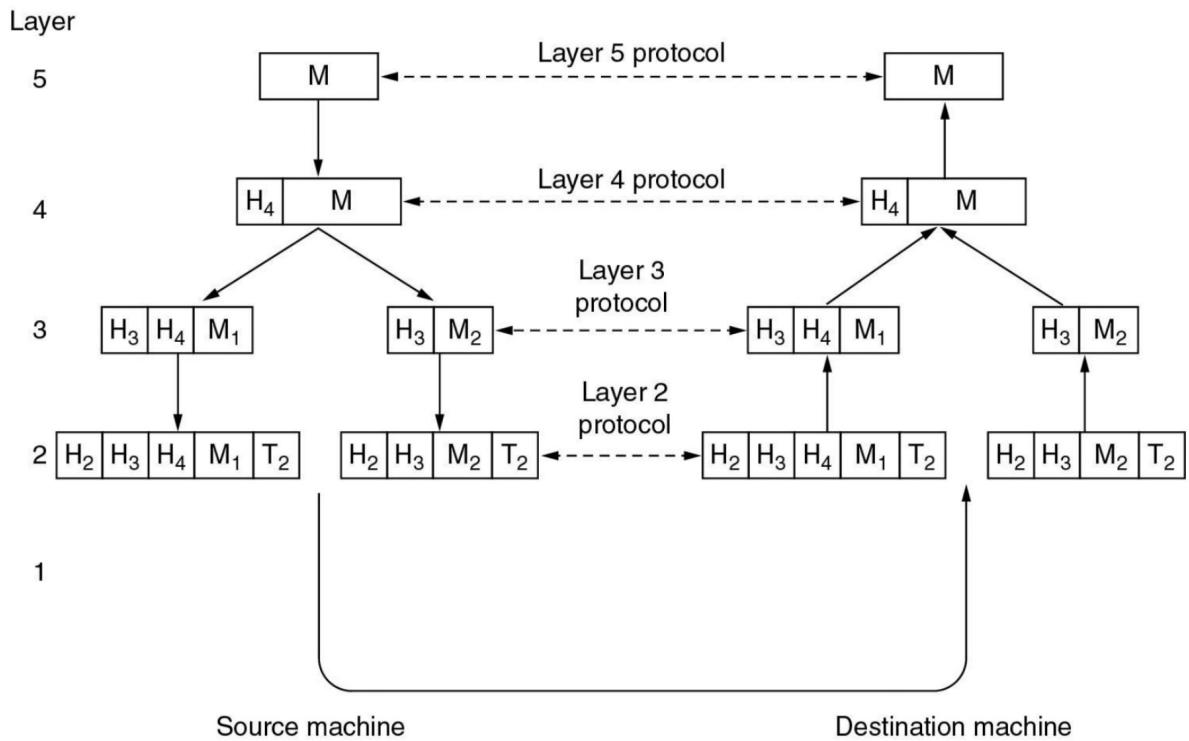
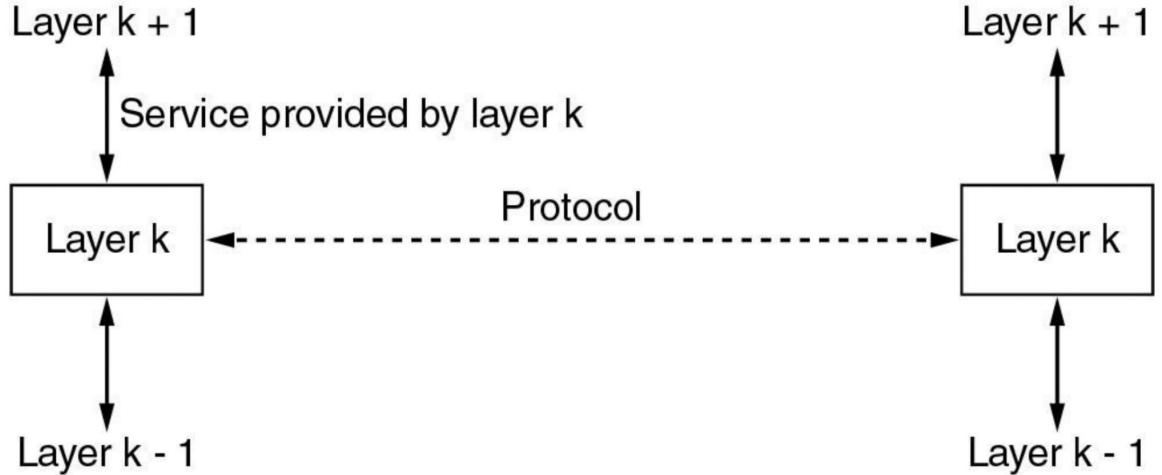
- 1. PAN: Personal ...
- 2. LAN: Local ...
- 3. MAN: Metropolitan ...
- 4. WAN: Wide ...
- 5. Internet

} ... Área Network

- Network edge
 - » Hosts
 - » Applications
- Access networks
 - » LANs, MANs
 - » Home, Institutional
 - » Mobile
 - » Wired and wireless links
- Network core
 - » Interconnected routers
 - » Network of networks
 - » Internet Service Providers







Ex: Internet

Camadas:

5. Aplicações: suporte para aplicações de rede
4. Transporte: transferência de dados processo-processo (end-to-end)
3. Rede: encaminhamento de pacotes de dados da origem para o destino
2. Ligação de Dados: transferência de dados entre elementos de rede vizinhos
1. Física: bits enviados "no fio"

Transferência de Dados através de uma Rede:

informação → sequência de bits

- Redes de Computadores transportam informação da origem para o destino
- O fluxo de informação/capacidade de uma ligação mede-se em bit/s

"Circuit Switching" EX: arquivo de comprimento $L = 640 \text{ kbit}$; $A \rightarrow B$;

capacidade $C = 64 \text{ kbit/s}$; $T_{\text{ext}} = 500 \text{ ms}$; $T_{\text{proj}} \sim 0$

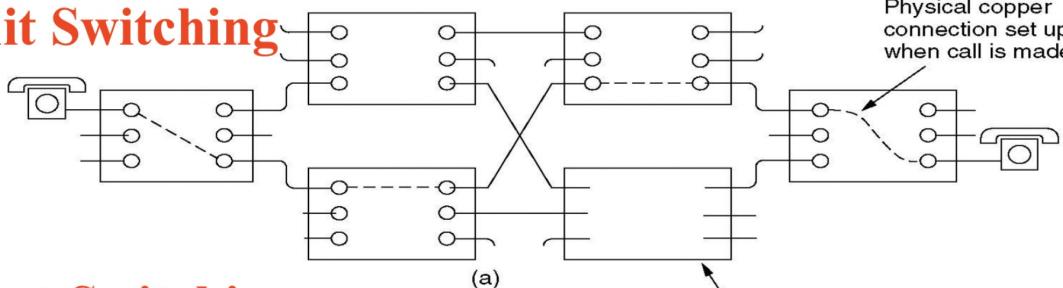
$$R: T_{\text{total}} = T_{\text{ext}} + T_{\text{proj}} + T_{\text{msg}} = 0,5 + 0 + \frac{L}{C} = 0,5 + 0 + 640/64 = 0,5 + 0 + 10 = 10,5 \text{ s}$$

"Packet Switching" EX: pacote de comprimento $L = 10 \text{ kbit}$; $A \rightarrow R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow B$

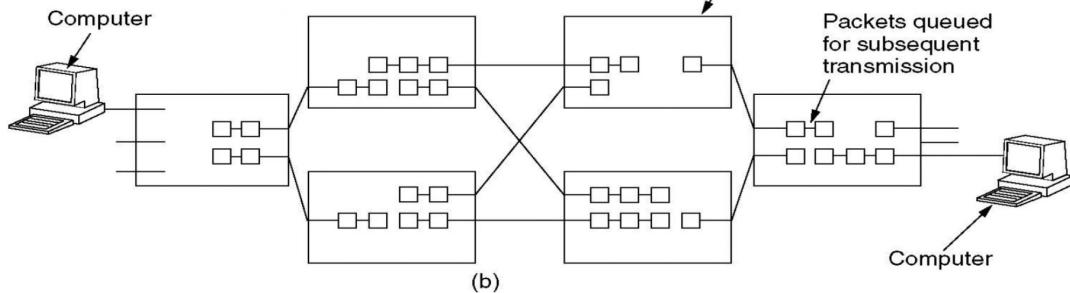
$T_{\text{proj}} \sim 0$; $A \rightarrow R_1 / R_2 \rightarrow B$: $C_1 = 100 \text{ Mbit/s}$
 $T_{\text{queue}} \sim 0$; $R_1 \rightarrow R_2$: $C_2 = 10 \text{ Mbit/s}$

$$R: T_{\text{total}} = T_{A \rightarrow R_1} + T_{R_1 \rightarrow R_2} + T_{R_2 \rightarrow B} = L/C_1 + L/C_2 + L/C_1 = 10 \left(\frac{1}{100 \times 10^3} + \frac{1}{10 \times 10^3} \right) = 1,2 \text{ ms}$$

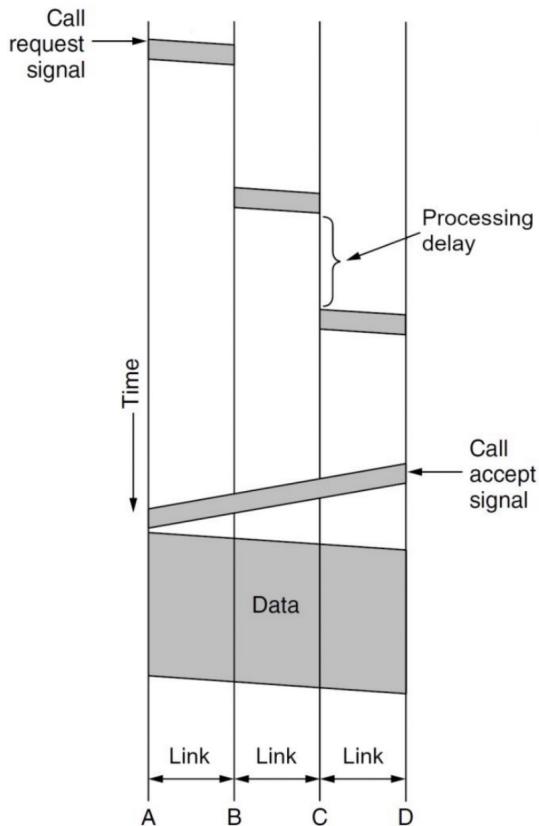
Circuit Switching



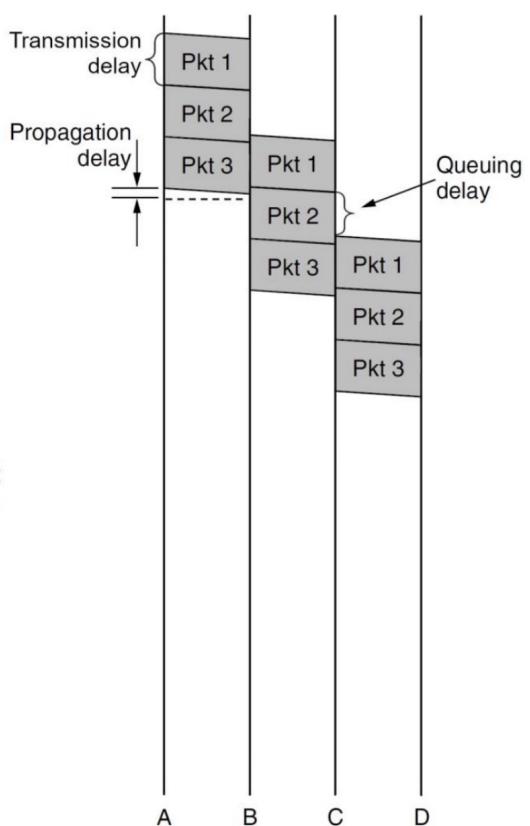
Packet Switching



Circuit Switching



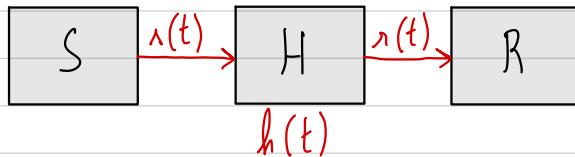
Packet Switching



Physical copper connection set up when call is made

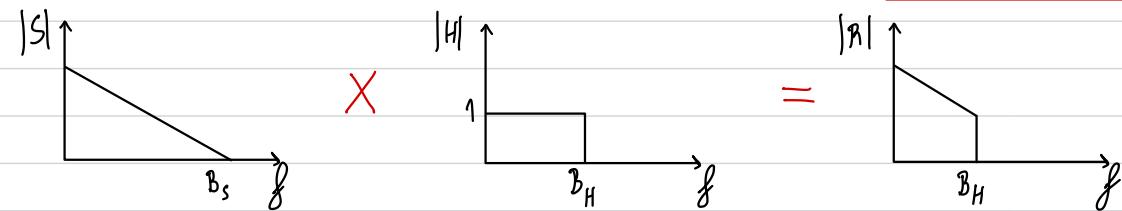
Camada Física: canais reais de comunicação usados pela rede

- interfaces necessárias para transmitir e receber dados digitais
- para as camadas mais altas, é um tubo virtual de bits não confiável



- O canal de transmissão modifica (com o ruído) o sinal de entrada
- $r(t)$ é a convolução de $s(t)$ e $h(t)$
- Usando transformadas de Fourier no domínio da frequência,

$$R(f) = S(f) \times H(f)$$



Número Harmônico: i/T [Hz]

- O receptor amostra $r(t)$ para decidir sobre os bits transmitidos
- Um sinal $r(t)$ com largura de banda B Hz pode ser reconstruído na íntegra se amostrado ao ritmo de $2B$ amostras/s \rightarrow amostrar a um ritmo maior não dá informações adicionais!
- Quanto maior for a largura de banda do canal de transmissão, "melhor" (mais fiável) é o sinal recebido, i. e., mais se aproxima do sinal transmitido (passam mais harmônicos — podem ser somadas mais funções seno)

$$C = 2B \log_2(M) \rightarrow 2B \text{ é o "band rate" - número de símbolos por segundo}$$

CAPACIDADE



B_H

\rightarrow

2B é o "band rate"

- número de símbolos por segundo

B_H

Transmissão B_H Banda-Base: o sinal tem frequência desde 0 até B_H (fís.)

B_H

Transmissão Ponto-Ponto: o sinal usa a banda de frequências à volta da frequência da operadora (Nem fisi.)

$f_1 f_2 f_3 f_4$

Código de Manchester: transmissão no meio de cada bit

Para descodificar os símbolos, os níveis precisam de transições suficientes. Caso contrário, seqüências longas de 0 ou 1 não confusas

Modelação $\left\{ \begin{array}{l} 1. \text{ Frequência} \\ 2. \text{ Amplitude: } s(t) = A_i \cos(2\pi f_c t) \\ 3. \text{ Fase: } s(t) = A \cos(\theta_i + 2\pi f_c t) \end{array} \right\}$ para gerar $s(t)$ através de $h(t)$

Amplitude e Fase: $s(t) = A_i \cos(\theta_i + 2\pi f_c t)$

bits/símbolo

Lei de Shannon: o ruído impõe um limite no número de níveis M

$$C_{\max} = B_c \log_2 \left(1 + \frac{P_r}{N_0 B_c} \right) = B_c \log_2 \left(1 + \frac{P_r}{N_0} \right) \text{ bits/s}$$

B_c : largura de banda do canal = ritmo de amostragem (Hz)

P_r : potência do sinal visto pelo receptor (W)

N_0 : ruído branco; potência do ruído por unidade de largura de banda (V/Hz)

$N_0 B_c$: potência do ruído na largura de banda B_c , como visto pelo receptor (W)

$$P_{dBW} = 10 \log_{10} P$$

$$P_{dBm} = 10 \log_{10} (P/1mW)$$

Transmissão direta {

- Cabo coaxial: largura de banda alta; attenuação baixa
- Painel enxergado
- Filma ótica: largura de banda muito alta; attenuação muito baixa

$$\cdot P_r = P_t \times \text{Ganho} \quad V$$

$$\cdot 10 \log_{10} (P_r) = 10 \log_{10} (P_t \times \text{Ganho}) = 10 \log_{10} (P_t) + 10 \log_{10} (\text{Ganho}) \quad dB$$

$$\cdot P_{r_{dBW}} = P_{t_{dBW}} + \text{Ganho}_{dB} \quad \Theta \quad \cdot P_{r_{dBm}} = P_{t_{dBm}} + \text{Ganho}_{dB}$$

$$\cdot \lambda = \nu T$$

$$\Theta$$

$$\cdot \lambda f = c$$

$$\cdot c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Péda no espaço direto

$$\boxed{P_t = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} = \frac{(4\pi f d)^2}{c^2}}$$

$$\lambda f = c$$

P_t : potência do sinal na antena transmissora

P_r : potência do sinal na antena receptora

λ : frequência da operadora

d : distância de propagação entre antenas

c : velocidade da luz

$$\cdot L_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right) = 20 \log \left(\frac{4\pi f d}{c} \right) = 20 \log(f) + 20 \log(d) - 147,56 \text{ dB}$$

Camada de Ligação de Dados

Objetivo: fornecer comunicação entre máquinas adjacentes

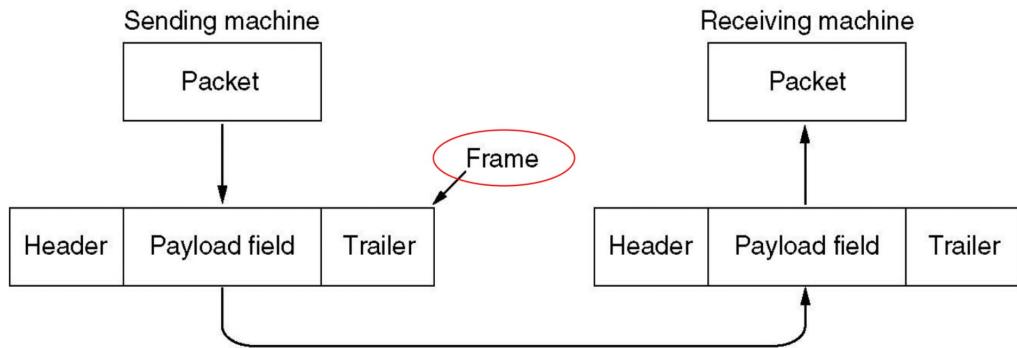
Funções Principais:

1. Eliminar/Revisar erros de transmissão
2. Regular fluxo de dados
3. Fornecer serviço à camada de rede

Serviços Fornecidos:

1. "Unacknowledged connectionless service"
2. "Acknowledged connectionless service"
3. "Acknowledged connection-oriented service"

Layer 3



Layer 2

Framing: Onde estão os dados? Onde é que o frame começa e acaba?

Como dividir um stream de bits em frames (conjuntos de bits)?

- 3 métodos
- | | | | | | | |
|--|-----|---|---|---|---|---|
| 1. Contagem de bytes/caracteres | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 2. Bytes de flag, com byte "stuffing" 5 | ESC | | | | | |
| 3. Flags de inicio e fim, com bit "stuffing" | F | H | P | F | T | F |
| | F | H | P | F | T | F |

Deteção de Erros

Ero Simple: erro aleatório e independente de um erro anterior
Eros em "Burst": erros não independentes que afetam bits vizinhos

comprimento definido pelo primeiro e último bits em erro

f - probabilidade de erro num bit
 n - comprimento do frame
FER - Frame Error Ratio

$$P[\text{frame não ter erros}] = (1-f)^n$$

ERROS
INDEPENDENTES

$$P[\text{frame ter erros}] = 1 - (1-f)^n$$

$$FER = 1 - (1 - BER)^n$$

$$P[i \text{ bits em erro}] = C_i^n f^i (1-f)^{n-i}$$

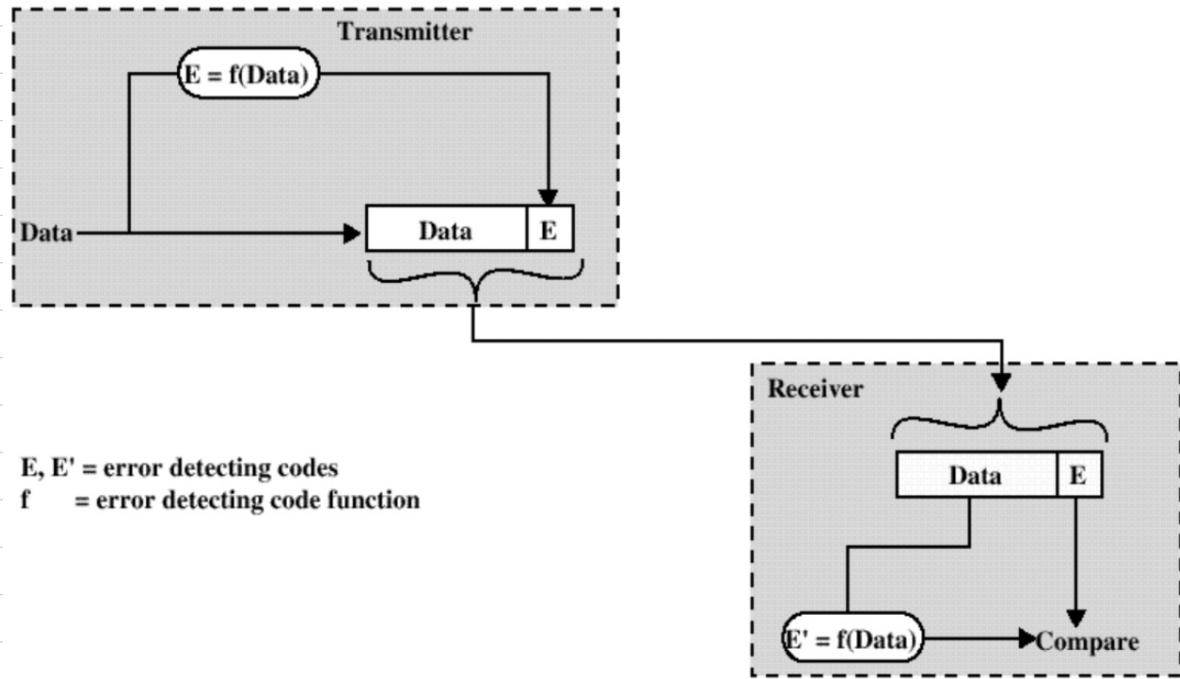
A eficácia de técnicas de deteção de erros é caracterizada por:

1. distância mínima de código (d): número mínimo de bits errados não detectados num bloco de N bits

2. capacidade de deteção de "bursts" (B): comprimento máximo do "burst" de erros detectado

Técnicas de Detecção de Erros: introduzindo redundância ($k \rightarrow k+r$)
 dados ↙ redundância ↘

- Se descobrir que um pacote contém erros, o receptor pode pedir ao transmissor para reenviar o pacote



$E, E' =$ error detecting codes
 $f =$ error detecting code function

1. Verificação de Paridade Simples: um bit de paridade adicionado a cada K bits de informação de acordo com:

- o número total de bits 1 é ímpar \rightarrow paridade ímpar $\rightarrow r=1$
- o número total de bits 1 é par \rightarrow paridade par $\rightarrow r=0$

Deteta: qualquer número ímpar de erros num bloco de $K+1$ bits
 Não Deteta: número par de erros num bloco de $K+1$ bits

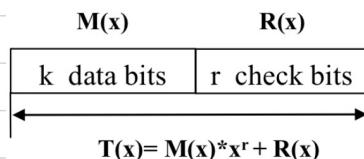
$$P(\text{não detetar}) = \sum_{i \text{ par}} C_i^n p^i (1-p)^{n-i}$$

2. Paridade Bi-Dimensional: os blocos não representados em linhas, com um bit de paridade por linha e um bit de paridade por coluna

Distância Mínima de Código: $d=4$ — quaisquer 4 erros numa configuração retangular tornam-na indeetectável

3. Verificações de Redundância Cíclica:

- bits representados como polinómios
- operações módulo 2 (XOR)



- $M(x)$: "conteúdo" (k bits)
- $R(x)$: redundância (r bits)
- $T(x)$: mensagem a transmitir

$$T(x) = M(x) \cdot x^r + R(x)$$

Como computar $R(x)$?

- Escolher um gerador $G(x)$ de comprimento $r+1$ e tipo $x^r + \dots + 1$
 $\hookrightarrow T(x) = M(x) \cdot x^r + R(x) = A \cdot G(x)$ — $T(x)$ é múltiplo de $G(x)$
 $M(x) \cdot x^r = A \cdot G(x) + R(x)$
- $R(x)$ é o resto de $M(x) \cdot x^r / G(x)$ ($\text{mod } 2$)

Como verificar $G(x)$?

- se o resto $R(x) = 0 \rightarrow$ nem erros
- se o resto $R(x) \neq 0 \rightarrow$ com erros

Como implementar? registos de shift com um XOR por cada termo não nulo, exceto aquele com o maior grau

- O que detecta?
- 1. todos os factores de 1, 2 ou 3 erros ($d > 3$)
 - 2. todos os "bursts" de r ou menos bits
 - 3. todos os erros com um número ímpar de bits invertidos

"Automatic Repeat reQuest (ARQ)"

Quando o receptor detecta erros num frame, como falar ao transmissor para retransmitir? Mecanismos ARQ pedem automaticamente!

1. "Stop and Wait": o transmissor transmite o frame I e espera por confirmação positiva ACK ou negativa NACK do receptor
transmite próximo

Solução com "timout": os frames e as respostas estão numeradas sequencialmente (módulo 2 - 0/1) e não é necessário NACK porque...
ACK(i) indica que o receptor está à espera do frame I(i)

R - rácio de transmissão de dados (bit/s)

$$T_f = \frac{L}{R} = T_t$$

$$T_{prop} = \frac{d}{V} = T$$

$$\alpha = \frac{T_{prop}}{T_f}$$

Eficiência: $S = \frac{T_f}{T_{prop} + T_f + T_{prop}} = \frac{1}{1+2\alpha}$

f_e - probabilidade de erro num frame

A - número de tentativas para transmitir um frame com sucesso

$$P[A=k] = f_e^{k-1} (1-f_e)$$

$$E[A] = \sum_{k=1}^{+\infty} k \times P[A=k] = \frac{1}{1-f_e}$$

$$\text{Eficiência: } S = \frac{T_f}{E[A] (T_f + 2T_{\text{prop}})} = \frac{1}{E[A] (1 + 2a)} = \frac{1 - fe}{1 + 2a}$$

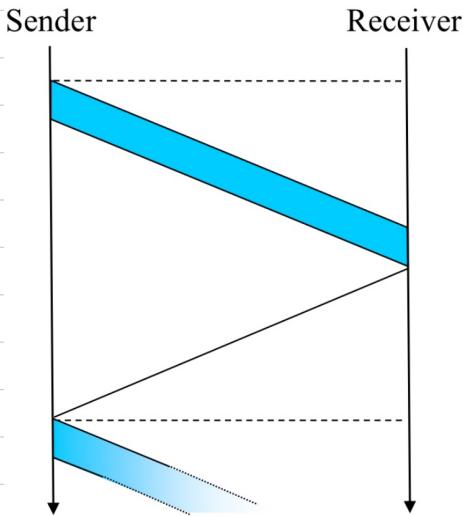
Problema: "Stop and Wait" é ineficiente quando $T_{\text{prop}} > T_f$ ($a > 1$) porque não envia um frame por $\text{RTT} = 2 \times T_{\text{prop}} + T_f$

Solução: "Sliding Window"

- Permite transmitir novos frames antes de os anteriores serem reconhecidos
- o transmissor pode enviar pacotes dentro de uma "janela" de frames
- a janela avança conforme ACKs para frames anteriores não recebidos

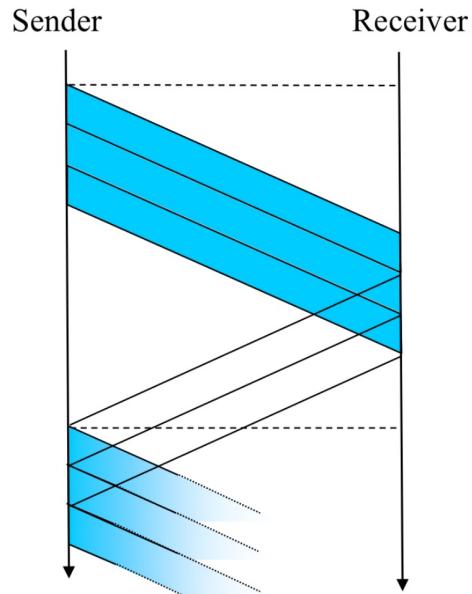
Stop and Wait

One frame per RTT



Sliding Window

One window per RTT (W=3 frames, in this example)



2. "Go Back N": o transmissor pode transmitir até W frames numerados sequencialmente $I(n)$ sem receber RR, mas não pode mandar $I(i+W)$ até receber confirmação de que $I(i)$ foi recebido, i.e., receber RR($i+1$)

RR(n): indica que todos os frames até $n-1$ foram recebidos em seqüência (ACK cumulativo) e que n é o número de seqüência do próximo frame esperado

- Os números de seqüência são representados módulo M , $i \in \{0, 1, \dots, M-1\}$
- O tamanho máximo da janela é $W_{MAX} = M - 1 = 2^K - 1$

\downarrow
número de bits para codificar o número de seqüência

- Os frames com erros não são descartados pelo receptor.
- O primeiro frame fora de seqüência recebido pelo receptor é respondido com REJ(NR) e os frames seguintes fora de ordem não são rejetados

\downarrow
número de seqüência do próximo frame esperado

Quando o transmissor recebe REJ(NR= i), volta atrás e reenvia tudo desde $I(i)$, continuando com o mecanismo "sliding window"

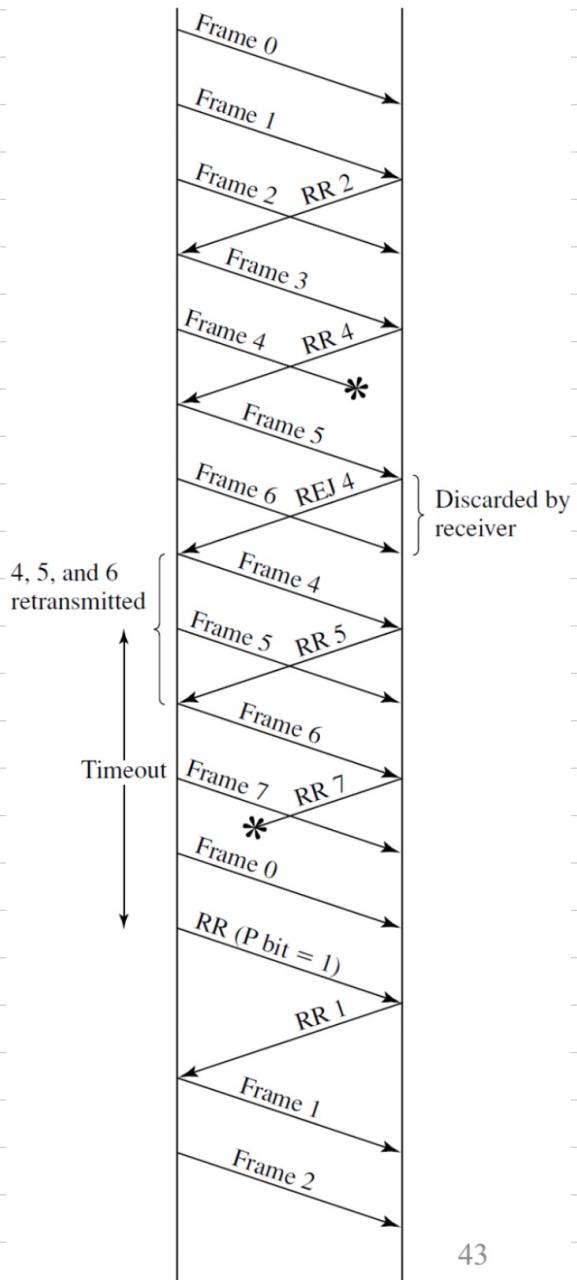
Se ocorrer um timeout, o transmissor pede ao receptor para enviar um RR através do envio de uma mensagem "especial"

$$W < 1 + 2a$$

$$S = W / (1 + 2a)$$

$$W \geq 1 + 2a$$

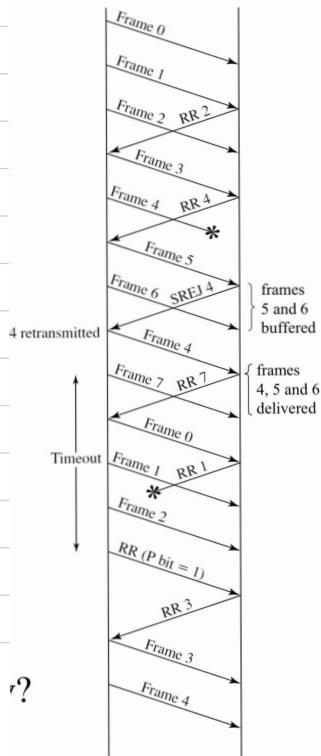
$$S = 1$$



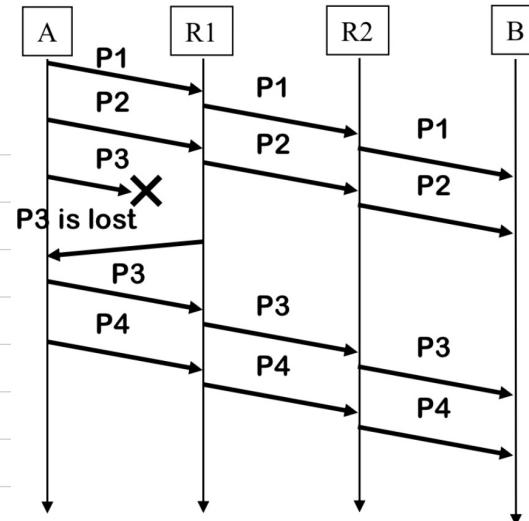
$$S = \begin{cases} \frac{1 - \gamma_e}{1 + 2\alpha\gamma_e}, & W \geq 1 + 2\alpha \\ \frac{W(1 - \gamma_e)}{(1 + 2\alpha)(1 - \gamma_e + W\gamma_e)}, & W < 1 + 2\alpha \end{cases}$$

3. "Selective Repeat": usando "Sliding Window", mas o receptor aceita e armazena frames fora de sequência, confirma negativamente com SREJ quando um frame não chegou e usa RR para confirmar blocos de frames que chegaram em sequência — o transmissor só reenvia os frames arrinalados por SREJ

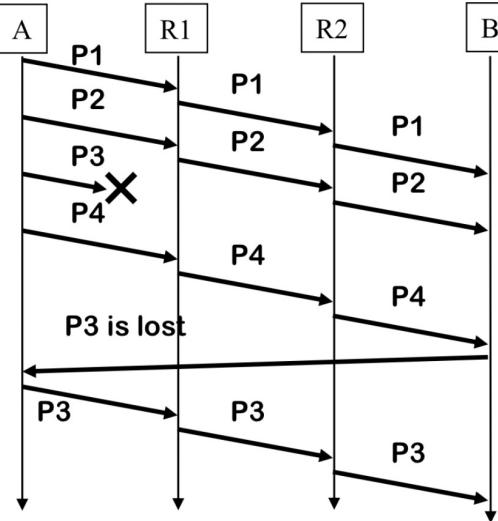
- Este método é adequado se W ou a janela forem muito grandes
- O tamanho máximo da janela é $W = M/2 = 2^{k-1}$ para evitar que a retransmissão de um frame anterior se confunda com um novo
- O receptor mantém uma noção da janela para armazenar frames fora de ordem
- O receptor avança a janela antes do transmissor (quando os RR são enviados e não quando são recebidos)



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



Link-by-Link ARQ
(Data Link layer)



End-to-End ARQ
(Transport or Application layers)

ARQ Link-by-Link: repara as perdas ligando por ligação, isto que
requer que os elementos da rede
 (1) se lembram da informação sobre o fluxo de pacotes
 ↳ monitoramento elevado por frame
 (2) guardem pacotes para o caso de terem de ser retransmitidos
 ↳ memória necessária

$$\text{Capacidade: } C_{LL} = C_1 = C \times (1 - PLR) \quad \xrightarrow{\text{racio de perda de pacotes}}$$

ARQ End-to-End:

- baixa complexidade nos elementos intermédios da rede
- os pacotes podem seguir caminhos diferentes entre extremos
- não é aceitável quando PLR é alto

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

Medium Access Control

Camada de Ligação de Dados {
1. LLC: Logical Link Control
2. MAC: Medium Access Control

LLC: interface para a camada de rede

MAC: controlo de acessos para o meio partilhado, transmissão/recepção de frames, endereçamento e deteção de erros

Ligações {
· Ponto-a-ponto
· "Broadcast": meio partilhado

Como coordenar as estações? Protocolo Ideal de Múltiplos Acessos

- uma estação quer transmitir → usa R bit/s
- M estações querem transmitir → cada uma usa, em média, R/M bit/s
- descentralização
- Sem coordenação
- Nem sincronização de relógios
- Simples

Classe de Protocols MAC {
1. Particionamento do Canal: Time/Frequency Division Multiplex Access
2. Acesso Aleatório: canal não particionado, colisões permitidas
3. "Turnos": estações com mais dados a enviar têm direito a turnos maiores

Um Protocolo MAC de Acesso Mista define:

1. quando enviar dados
2. como detectar colisões
3. como recuperar de colisões

Estação: transmite um frame de cada vez e a probabilidade de um frame ser gerado em S é $P_1(S) \approx 2S$ — chegada de Poisson

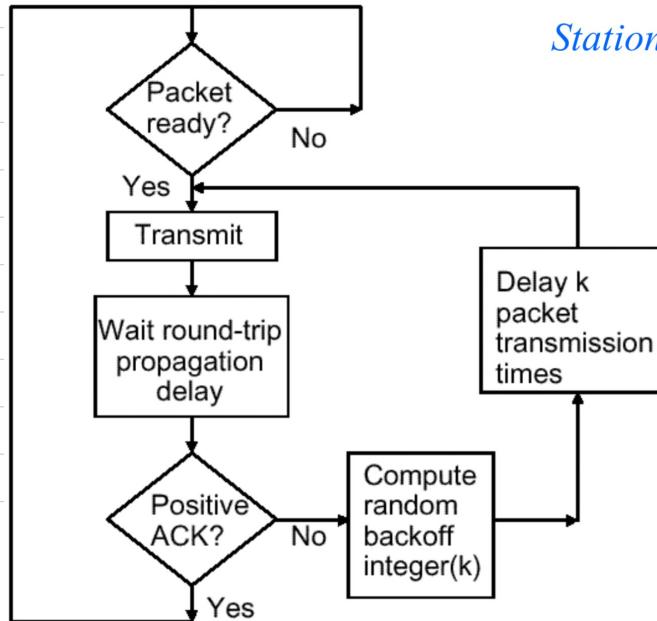
Colisão: se duas estações transmitem ao mesmo tempo

Tempo Contínuo: os frames podem ser transmitidos em qualquer altura

Tempo em Slots: os frames só podem ser transmitidos no início de cada slot temporal

"Carries Sense": as estações podem saber se o meio/canal está ocupado antes de o usar

"No Carrier Sense": as estações não podem sentir o canal antes de o usar



ALOHA

ALOHA Puro: não existe o conceito de "slot", cada estação transmite quando tem um frame a transmitir

ALOHA com Slots: o tempo divide-se em "slots" em que $T_{slot} = T_{frame}$ e (re)transmissões só no inicio de cada "slot"

Eficiência

O tráfego é modelado por uma chegada de Poisson, com um número grande de estações N e $T_{frame} = 1 = \lambda$

Tráfego Recibido: $S = \lambda_{rec} \times T_{frame} < 1$
rácio de frames recebidos

Tráfego Gerado: $G = \lambda \times T_{frame}$
rácio de pacotes gerados

$N \times \lambda = G$
probabilidade de uma estação gerar um pacote em T_{frame}

ALOHA Puro: $S = G f_0 (2T_{frame}) = G e^{-2G}$
 $S_{MAX} = 1/2e$

ALOHA com Slots: $S = G f_0 (T_{frame}) = G e^{-G}$
 $S_{MAX} = 1/e$

CSMA

Carrier Sense Multiple Access

→ Enviar antes de transmitir

- ↳ se o canal está livre → transmite
- ↳ se o canal está ocupado → atrasa

• Colisões podem ocorrer devido ao atraso da propagação, que leva a que as estações possam não ouvir outras transmissões

• Numa colisão, todo o pacote é perdido

• O tempo de vulnerabilidade é o tempo de propagação

$$\alpha = \frac{T_{\text{prop}}}{T_{\text{frame}}} \ll 1$$

• Em caso de colisão, a estação espera tempo aleatório e repete o algoritmo

Persistência: o que fazer se o meio está ocupado?

	MEIO LIVRE	MEIO OCUPADO
CSMA Persistente	estação transmite	estação espera até ao meio ficar livre
CSMA Não-Persistente	estação transmite	estação espera tempo aleatório
CSMA $\frac{1}{p}$ -Persistente Notas de $t = 2T_{\text{prop}}$	estação transmite com probabilidade $\frac{1}{p}$ (ou adia)	se transmissão adiada, trata como colisão não, estação espera até ao meio ficar livre

CSMA/CD

Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection

- Percussão do Canal: estação sente o meio antes de transmitir
- livre? → estação começa a transmissão
 - ocupado? → estação espera até estar livre (persistente)

Deteção de Colisões: estação sente o meio enquanto transmite

colisão? → transmissão abortada e retransmissão atrasada usando um algoritmo de Backoff Binário Exponencial (não há ACK)

o tempo é modelado em slots com $T_{slot} = 2T_{prop.\max}$ e depois da i -ésima colisão, a estação não tenta transmitir depois de esperar um número aleatório de slots uniformemente distribuído em $[0, 2^i - 1]$

Há um tamanho mínimo de frame necessário para detectar colisões!

Se o frame for menor, a colisão não é visível em todas as estações

Se o frame for maior, a colisão é visível em todas as estações

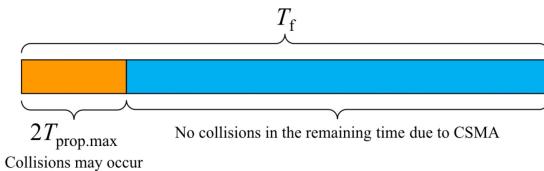
$a < 0,5$: $T_f > 2T_{prop.\max}$, $L > 2CT_{prop.\max}$

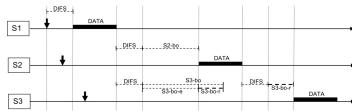
Eficiência

$$S = \frac{1}{1 + 2ea} \approx \frac{1}{1 + 5,44a}$$

$$a = \frac{T_{prop.\max}}{T_f}$$

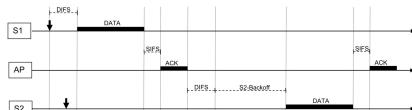
Quanto maior for o espaço livre de colisões, maior é a eficiência





CSMA/CA

Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance



- Uma estação com um frame para transmitir monitora a atividade do canal até observar um período de repouso igual a DIFS; se o meio estiver livre, transmite o frame

- Se o meio estiver ocupado, a estação seleciona um intervalo aleatório e decrementa esse tempo enquanto o canal estiver em repouso; se for detetada uma transmissão no canal, o temporizador para e só é reativado quando o canal estiver em repouso DIFS segundos - quando o temporizador chegar a zero, transmite

- Para evitar colisões no canal, a estação espera um intervalo aleatório entre duas transmissões consecutivas, mesmo se o meio estiver em repouso tempo DIFS

→ **Necessidade de ACK:** um ACK é transmitido tempo SIFS depois de receber um frame

- Se a estação transmissora não recebe o ACK em tempo útil ou detecta a transmissão de um frame diferente no canal, reprograma a transmissão do frame

→ **RTS-CTS:** o transmissor manda RTS (arco) para o ponto de acesso, que responde com CTS enviado por todas as estações e que garante que o próximo frame pode ser transmitido sem colisões, porque as outras estações vão adiar suas transmissões

Protocolos MAC "Por Turnos"

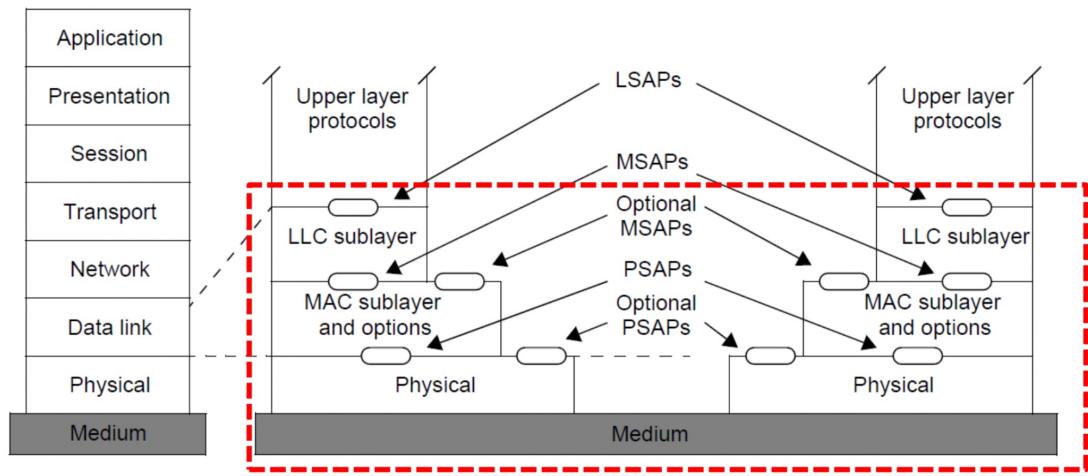
Vareamento: a estação "master" comanda as estações "slaves" a transmitir à vez

Passagem de Token: um token de controlo é passado sequencialmente de uma estação para a próxima

Endereço MAC: 48 bits únicos para cada adaptador numa LAN

MSAP MAC service access point
LSAP link service access point

PSAP PHY service access point



Bytes	8	6	6	2	0-1500	0-46	4
(a)	Preamble	Destination address	Source address	Type	Data -->	Pad	Check-sum

Bytes	8	6	6	2	0-1500	0-46	4	
(b)	Preamble	SOF	Destination address	Source address	Length -->	Data -->	Pad	Check-sum

Ethernet

802.3
CSMA/CD

1. Cabo Coaxial: "bus" permite múltiplos transmissores e receptores
2. Hub Ativo: cabos ponto a ponto com repetidores - repetem os bits recebidos num ponto para todos os outros pontos
3. árvore de Hubs: hubs ativos ligados numa tipologia em árvore
4. Bridge: reencaminha os frames MAC para os destinos com base nos endereços MAC - separa domínios de colisão
5. Bridges e Repetidores Combinados
6. Cabo Único Ponto-a-Ponto: UTP
7. Full Duplex: sem colisões, não é necessário CSMA/CD

Switch: dispositivo da camada de ligação de dados, semelhante a uma bridge, que reencaminha tramas Ethernet com recurso a uma tabela de reencaminhamento - transparente para os utilizadores, "plug-and-play" e "self-learning" → vê o endereço de origem das tramas e adiciona-o à tabela de reencaminhamento

LAN Virtual: um switch/bridge simula múltiplas LANs isoladas

Estratégias de Multiplexagem

Cabo de Comunicação: tubo de bits com uma dada capacidade C

razão com que os bits são transmitidos para a ligação

A estratégia de multiplexagem afeta o atraso do tráfego

1. Multiplexagem Estatística: os pacotes de todos os fluxos de tráfego não juntos, numa fila única e transmitidos de forma "first-come first-served"

$$T_{frame} = L/C$$

2. Multiplexagem por Divisão em Freqüências (FDM): a capacidade da ligação é subdividida em m freqüências e a largura de banda do canal é subdividida em m canais de W/m Hz, sendo a capacidade de cada canal C/m

$$T_{frame} = L_m/C$$

3. Multiplexagem por Divisão em Tempos (TDM): o eixo do tempo é dividido em m slots de comprimento fixo e a comunicação é feita através de m canais de capacidade C/m

$$T_{frame} = L_m/C$$

Modelos de Atas

Atas: caracterizado usando modelos de filas

Modelo de Fila: clientes chegam a tempos aleatórios para serem servidos
↓
pacotes
transmitidos

- O tempo de serviço é o tempo de transmissão de um pacote, $T = L/C$
- O atraso médio de um pacote é o tempo de espera e de serviço

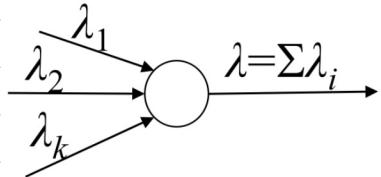
Processo de Poisson: modela a probabilidade de n eventos aleatórios e independentes de rácio médio λ ocorrerem num intervalo de tempo T

$$\cdot \lambda T = m \quad \cdot f_n(T) = \frac{(\lambda T)^n e^{-\lambda T}}{n!}$$

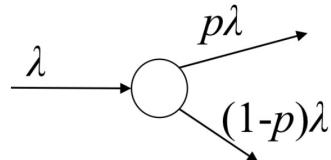
Distribuição de Poisson: $f_n = \frac{m^n e^{-m}}{n!}$

Distribuição Exponencial: $f_A(t) = \lambda e^{-\lambda t}$

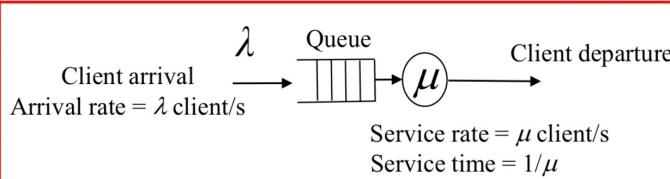
1. Propriedade da União:



2. Propriedade da Separação:



Modelo de Fila



N : número médio de clientes no sistema

T : tempo médio levado por um cliente

λ : razão de chegada de clientes (número médio de clientes por tempo)

μ : razão de serviço (número médio de clientes que se podem atender p.t.)

ρ : intensidade de tráfego / ocupação do servidor

$$\rho = \lambda / \mu$$

Notação de Kendall: $A/S/\Delta/k$

A : processo estatístico de chegada

S : processo estatístico de serviço

Δ : número de servidores

k : capacidade do sistema em buffers (∞ por omisão)

Lei de Little: $N = \lambda T$

$$\begin{aligned} \cdot & T = T_w + T_s \\ \cdot & N = N_w + N_s \end{aligned}$$

$$N_w = \lambda T_w \rightarrow T_w = N_w / \lambda$$

Fila M/M/1: chegada de Poisson e tempo de serviço exponencial

- O estado K indica K pacotes/clientes na fila
- $f(i, j)$ é a probabilidade de passar do estado i para o j
- $f(i, i+1) = \lambda \delta$ chegada
- $f(i, i-1) = \mu \delta$ serviço
- $f(i, i) = 1 - \lambda \delta - \mu \delta$
- $f(0, 0) = 1 - \lambda \delta$
- $f(i, j) = 0$

• $P(j)$ é a probabilidade de estar no estado j

$$P(j) \cdot \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{\infty} f(j, i) = \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{\infty} P(i) f(i, j)$$

$$P(n) = p^n (1-p)$$

$$N = \sum_{n=0}^{\infty} n P(n) = \sum_{n=0}^{\infty} n p^n (1-p) = \frac{p}{1-p} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

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

$$\text{TDM/FDM: } T = \frac{m}{\mu - \lambda}$$

$$T_w = T - T_d = \frac{1}{\mu - \lambda} - \frac{1}{\mu} = \frac{p}{\mu(1-p)}$$

$$N_w = T_w \lambda = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} - \frac{\lambda}{\mu} = N - p$$

$$\mu = \frac{C}{E[L]}$$

fila cheia ↗

Fila M/M/1/B: pacotes podem ser perdidos com probabilidade $P(B)$

$$\sum_{i=0}^B P(i) = 1$$

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

Fila M/G/1: o valor esperado do tempo de serviço X é $1/\mu$

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

$$\begin{aligned} N_w &= \lambda T_w \\ T &= T_w + E[X] = T_w + 1/\mu \end{aligned}$$

$$\rho = \lambda/\mu = \lambda E[X] \quad N = \lambda T = \lambda(T_w + 1/\mu) = N_w + \rho$$

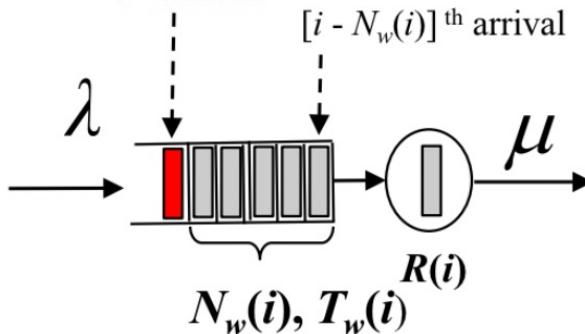
M/M/1:

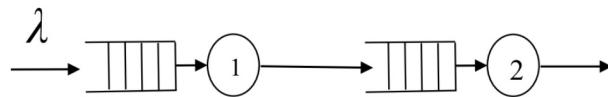
$$\begin{aligned} E[X] &= 1/\mu \\ E[X^2] &= 2/\mu^2 \end{aligned} \rightarrow T_w = \frac{\lambda}{\mu^2(1-\rho)} = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)}$$

M/D/1: determinística, tempo de serviço $1/\mu$

$$\begin{aligned} E[X] &= 1/\mu \\ E[X^2] &= 1/\mu^2 \end{aligned} \rightarrow T_w = \frac{\lambda}{2\mu^2(1-\rho)} = \frac{\rho}{2\mu(1-\rho)}$$

i^{th} arrival





Redes de Linhas de Transmissão:

- $\rho_1 = M/D/1 \rightarrow$ não se esfera que ρ_2 (comprimento fixo)
- $\rho_1 = M/M/1 \rightarrow \rho_2 \neq M/M/1$ (cortes apontam longos)

Aproximação de Independência de Kleinrock: juntar vários fluxos de pacotes numa linha de transmissão (rotunda) restara a independência entre os tempos de chegada e os comprimentos dos pacotes — $M/M/1$ pode ser usada para modelar cada ligação

r_j : rácio de chegada de pacotes no caminho j

λ_{ij} : rácio de chegada de pacotes à ligação (i, j)

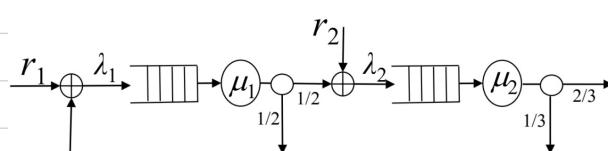
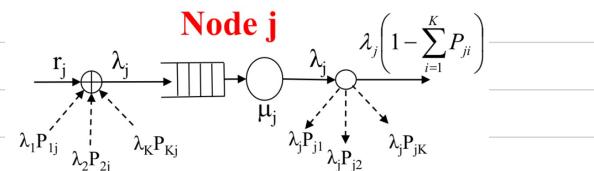
μ_{ij} : rácio de saída na ligação (i, j)

As filas de ligação não filas $M/M/1$ independentes

$$\lambda_{ij} = \sum r_j \quad \rho_{ij} = \frac{\lambda_{ij}}{\mu_{ij}} \quad N_{ij} = \frac{\rho_{ij}}{1 - \rho_{ij}} \quad N = \sum_{i,j} N_{ij}$$

Redes de Jackson: rotas independentes de pacotes com probabilidade P_{ij} de sair de i e chegar a j

$$\lambda_j = r_j + \sum_{i=1}^k \lambda_i P_{ij} \quad N_j = \frac{\rho_j}{1 - \rho_j} \quad N = \sum_{j=1}^k N_j \quad \lambda = \sum_{j=1}^k r_j$$



Camada de Rede

Camada de Rede: Transporta pacotes de dados do anfítrio emissor para o anfítrio receptor, com funções localizadas nos anfítrios e routers

Emissor: encapsula dados a transportar em pacotes e gera os pacotes

Receptor: recebe pacotes e entrega dados à camada de transporte

Router: recebe pacotes da linha de input, examina o cabeçalho da camada de rede e reencaminha-os através das ligações de output adequadas

Reencaminhamento: o router reencaminha pacote do porto de input para o porto de output

Rotação: determina a rota a seguir por pacotes desde a origem até ao destino

ENVIA → RECEBE

Datagrama: serviço sem conexão que não estabelece/constrói circuito — os pacotes são reencaminhados usando o endereço do anfítrio de destino e podem seguir caminhos diferentes para a mesma origem/destino

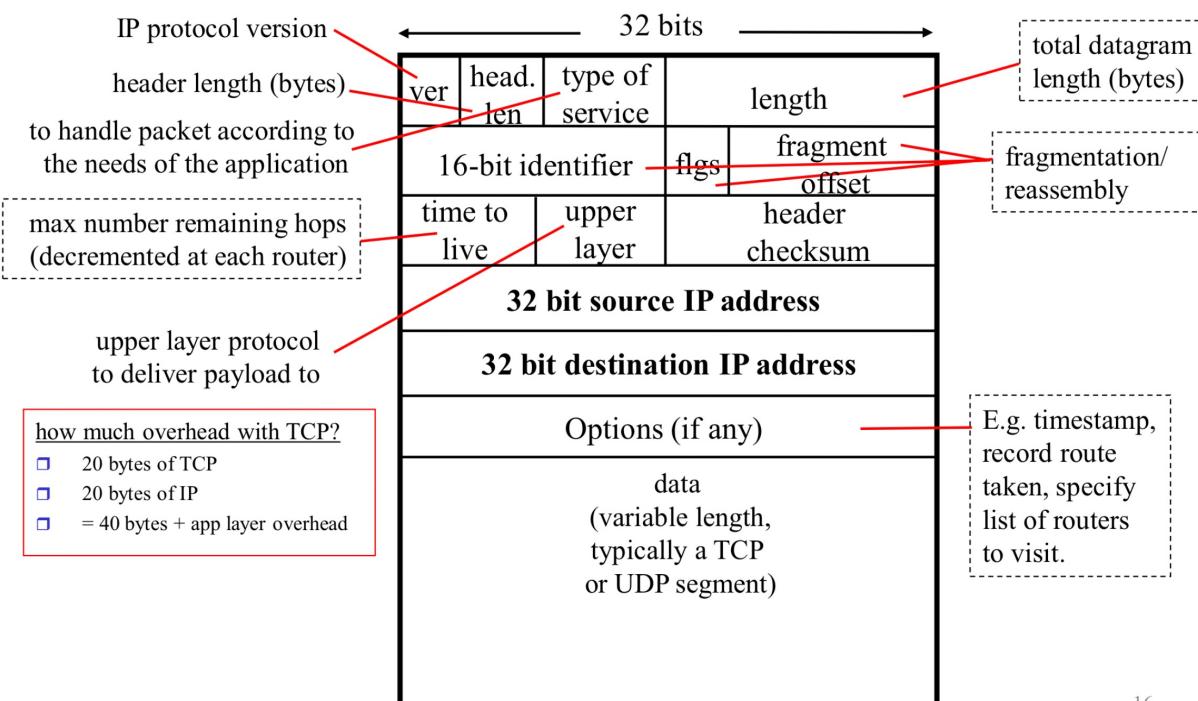
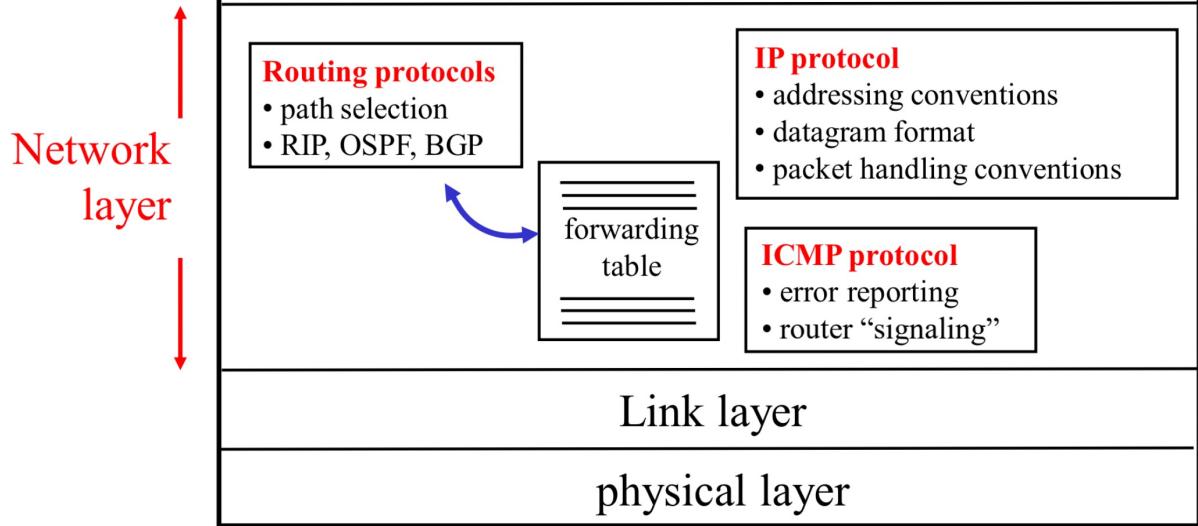
ESTABELECE → TRANSFERE → TERMINA

Círculo Virtual: serviço orientado à conexão — os pacotes levam um identificador do Círculo Virtual e o caminho é definido desde a origem para o destino por uma sequência de identificadores do Círculo Virtual, um por cada ligação do caminho

- O router mantém estado para cada circuito estabelecido e pode alocar recursos por Círculo Virtual (largura de banda, buffers)
- O número de entradas de uma tabela de encaminhamento pode ser reduzido através de intervalos ou "longest prefix matching"

Issue	Datagram subnet	Virtual-circuit subnet
Circuit setup	Not needed	Required
Addressing	Each packet contains the full source and destination address	Each packet contains a short VC number
State information	Routers do not hold state information about connections	Each VC requires router table space per connection
Routing	Each packet is routed independently; packets may arrive out of order	Route chosen when VC is set up; all packets follow it; no reordering
Effect of router failures	None, except for packets lost during the crash	All VCs that passed through the failed router are terminated
Quality of service	Difficult	Easy if enough resources can be allocated in advance for each VC
Congestion control	Difficult	Easy if enough resources can be allocated in advance for each VC

Transport layer: TCP, UDP



- A Internet usa uma checksum aplicada apenas ao cabeçalho - o complemento para 1 da soma com "carry-out" ("wrap-around") das palavras de 16 bits
- frame campo de dados com o maior frame fornecido ao nível da ligação
- As ligações de rede têm um tamanho máximo de transferência (MTU), pelo que um grande datagrama IP é fragmentado em datagramas menores (identificados pelos bits do cabeçalho), montados no destino final

Endereço IP: identificador de 32 bits para um anfítião/interface do router
 ↴ ASSOCIADOS

Interface: ligação entre anfítião/router e ligação física

• Os routers têm várias interfaces

Subrede: conjunto de interfaces que se podem alcançar diretamente, sem intervenção do router - bits mais significativos do endereço IP

• A porção da subrede de um endereço tem comprimento arbitrário

IP A.B.C.D/X: X é o número de bits da porção de subrede do endereço

0.0.0.0: este anfítião

0...DH: um anfítião nesta rede

255.255.255.255: broadcast na rede local

N1...1: broadcast noutra rede

127.*.*.*: loopback

- Uma subrede suporta $2^{32-X} - 2$ anfítiões (excluindo subrede e broadcast)
- Uma subrede com prefixo de comprimento N pode ser dividida em 2^{M-N} subredes de comprimento de prefixo M ($M > N$)

Máscara da Rede: representação alternativa do comprimento do prefixo — um prefixo de comprimento N corresponde a uma máscara com N bits a 1 à esquerda e $32-N$ bits a 0 à direita

• Um AND do endereço IP com a máscara retorna o prefixo (parte da rede)

Tabela de Encaminhamento: entradas <prefixo, máscara → gateway, interface>

Função de Encaminhamento: quando um datagrama chega com endereço de destino A, então, para cada entrada da tabela de encaminhamento, se $(A \& \text{ máscara}) = \text{prefixo}$, adiciona essa entrada ao conjunto de correspondências; escolher a correspondência com maior máscara (mais específica) e enviar o pacote para o gateway (se houver) ou destino (se não houver gateway)

• Para obter o endereço de broadcast de uma rede, faz-se o OR do complemento para 1 da máscara com o prefixo

• Uma interface de rede tem um endereço MAC e um ou mais endereços IP

Address Resolution Protocol (ARP): protocolo utilizado para obter o endereço MAC associado a um dado endereço IP

IP vizinho: tradução do endereço MAC armazenada no cache ARP

ARP Request: broadcasted — My IP is IP_A and my MAC is MAC_A . Who has IP_B ?

ARP Reply: unicasted — Hi, I have IP ... and my MAC is ...

• Os nós encapsulam pacotes em frames

Como é que uma rede obtém a parte da subrede do endereço IP?
Obtém a posição alocada do espaço de endereço do seu ISP ENDEREÇAMENTO HIERÁRQUICO

Como é que um ISP obtém um bloco de endereços? ICANN
ICANN aloca endereços, gera DNS, atribui nomes de domínios e resolve disputas

Como é que um anfitrião obtém um endereço IP? DHCP
Configurado manualmente pelo administrador do sistema ou obtido dinamicamente a partir de um servidor

Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP): permite que um anfitrião obtenha dinamicamente o seu endereço IP a partir de um servidor da rede - reutilização de endereços

- D. O anfitrião faz broadcast da mensagem "DHCP Discover"
- O. O servidor DHCP responde com a mensagem "DHCP Offer"
- R. O anfitrião pede o endereço IP com a mensagem "DHCP Request"
- A. O servidor DHCP envia a mensagem "DHCP Ack"

Network Address Translation (NAT):

Problema: escassez de endereços IP

Solução: configurar anfitriões com endereços IP privados (não rotáveis na Internet) e traduzir estes endereços para endereços IP públicos na gateway

Encaminhamento de Portas: configurar estaticamente NAT para encaminhar pedidos de conexões recebidas numa dada porta para o servidor

Internet Control Message Protocol (ICMP): usado pelo roteador ou anfíbio para enviar mensagens de controle ou erros da camada de rede para outros anfíbios ou roteadores em datagramas IP

Ex: PING

Traceroute: a origem envia uma série de segmentos UDP para o destino com time-to-live (TTL) sucessivamente incrementado e para quando o segmento UDP chegar ao anfíbio de destino

ICMP Redirect: quando o roteador R1 recebe um pacote de A com destino B e verifica que o próximo hop é R2 e que A tem ligação a R2, então R1 envia um ICMP Redirect para A a dizer que o próximo hop para o destino B é R2 - A armazena o novo hop na cache de rotas (e não na tabela de encaminhamento)

IPv6: endereços de 128 bits - melhor (segurança, rotas, auto-configuração e agregação de prefixos - representado em hexa-decimal em que Os consecutivos são abreviados por :: (não um por endereço))

Loopback: ::1/128

Endereços Link-Local: para comunicações entre anfíbios na mesma LAN, criados automaticamente a partir dos endereços MAC - roteadores não encaminham pacotes com endereços de destino deste tipo

Endereços Global Unicast: endereços rotáveis globalmente, gerados automaticamente a partir do prefixo e endereço MAC

Anycast: atingindo a vários dispositivos (um pacote é recebido por só um qualque deles), alocado a partir do espaço de endereço unicast

Multicast: endereço de grupo (um pacote é recebido por todos os membros do grupo) com um dado âmbito

• O cabeçalho IPv6 não tem checksum nem options



Extension Headers:

1. Hop-by-Hop: informações adicionais - insercionado em cada nó
2. Routing: opções que podem alterar a rota
3. Destino: informações para o nó de destino
4. Fragmentação: nó pela origem
5. Autenticação: verificação do cabeçalho do pacote
6. ESP: encriptação dos dados

Protocolo Neighbor Discovery (ND): para encontrar outros nós na mesma ligação / LAN, encontrar um endereço MAC a partir do seu endereço IPv6, encontrar roteadores na rede e manter informação sobre nós vizinhos

Neighbor Solicitation: enviado por um anfitrião para um endereço multicast para obter o endereço MAC de um vizinho e/ou verificar a sua presença

Neighbor Advertisement: resposta à solicitação

Router Solicitation: feito um Router Advertisement aos roteadores na ligação

Router Advertisement: usado pelos roteadores para enviar informação sobre o prefixo da rede, periodicamente ou a pedido para Link Local multicast

Redirect: usado por um roteador para informar um anfitrião sobre a melhor rota para um destino

Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC): configuração automática de endereços IPv6 baseada em Router Advertisements

Camada de Transporte

User Datagram Protocol (UDP): orientado aos datagramas, permite às aplicações uma interface direta com o IP com mínimo overhead adicional do protocolo - não fiável (Nº mecanismo de controlo de erros)

Transmission Control Protocol (TCP): orientado à conexão, full-duplex e fluxo de bytes - fiável (mecanismo ARQ), com controlo de fluxo e de congestão que evitam sobrecarregar o receptor e a rede, respetivamente

Emissor: os dados da aplicação são divididos em segmentos que, quando enviados, têm um temporizador associado para esperar por um ACK que, se não chegar a tempo, obriga a retransmissão do segmento respetivo

Receptor: os segmentos recebidos não montados em ordem, confirmados com ACK e descartados se duplicados, com erros detetados através da checksum

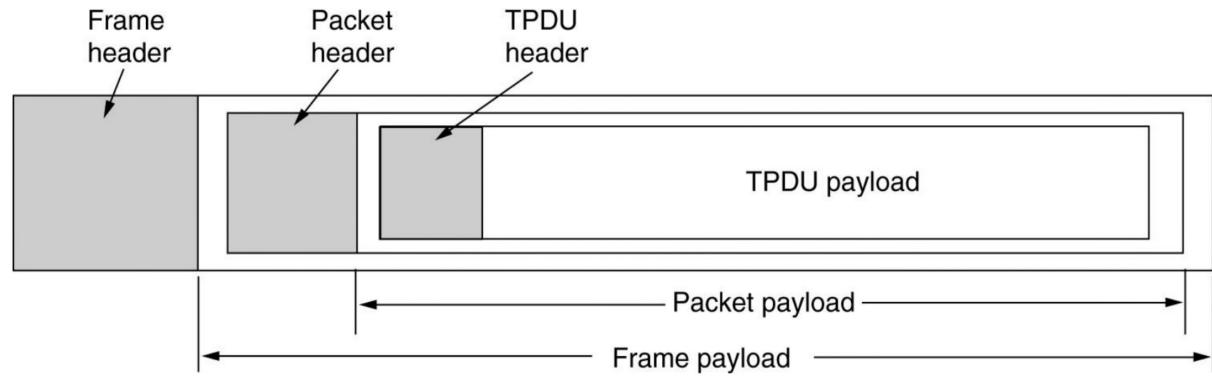
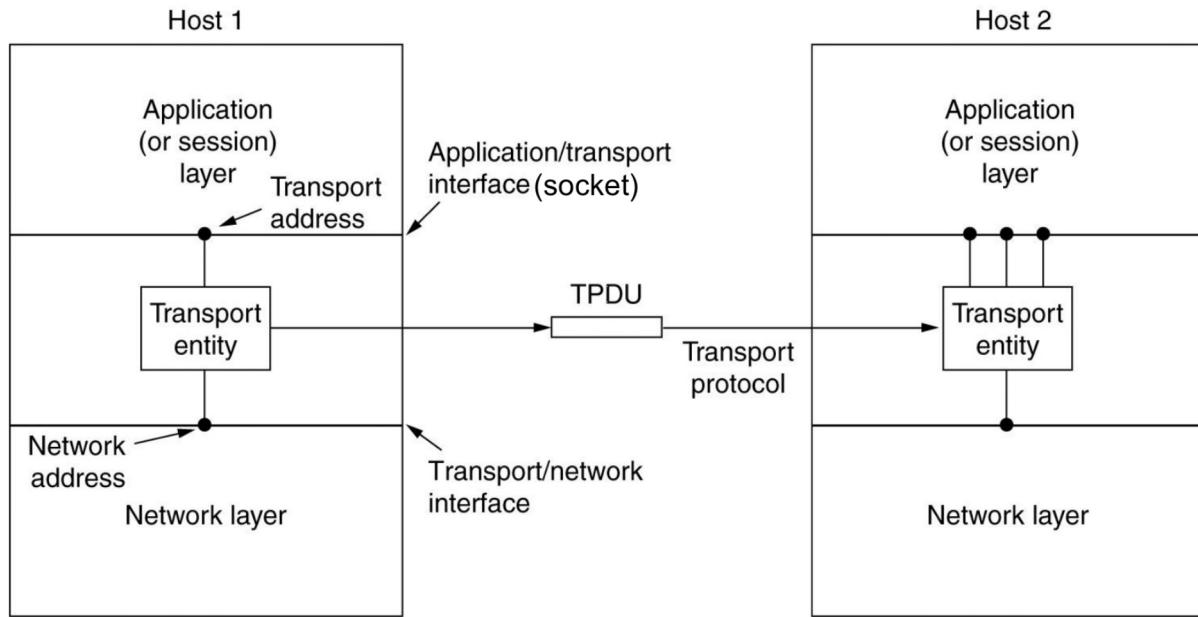
SeqNumber: identificador único dos dados da aplicação contidos no segmento TCP

AckNumber: indica o próximo byte de que o receptor está à espera

- O tamanho da janela (no cabeçalho) é usado para controlo de fluxo e de congestão
- A checksum cobre o cabeçalho e os dados

UDP: cada socket está associada a um endereço IP local e número do porto, recebe os pacotes a ela destinados e pode enviar para quaisquer (IP, P.)

TCP: cada socket está associada com ambos endpoints (local e remoto), recebe os pacotes numa conexão e só pode enviar para o outro endpoint

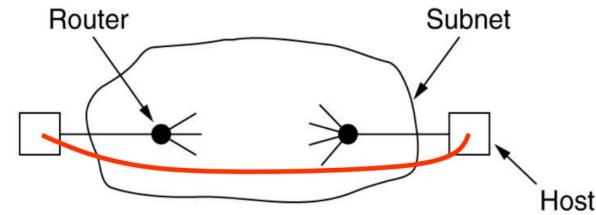


CAMADA DE
LIGAÇÃO DE DADOS

Router



CAMADA DE
TRANSPORTE



- O tamanho dos segmentos é limitado pelo Maximum Segment Size (MSS)
- O número de sequência é sequencial e do primeiro byte de dados

Duplic: os dados em cada discussão têm diferentes números de sequência

As retransmissões seguem uma variação de Go-Back-N - Sliding Window:
o controlo de erros é baseado em sequências de bytes, não pacotes, mas
o emissor retransmite um pacote de cada vez

- Um ACK contém um único número de sequência e implica o ACK de todos os bytes com menor número de sequência
- Um pacote fora de ordem leva a um ACK duplicado

BUFFER

Emissor: Last Byte Acked < Last Byte Sent < Last Byte Written

Receptor: Last Byte Read < Next Byte Expected < Last Byte Read + 1
BUFFER

$$\text{Advertised Window} = \text{Max Rec Buffer} - (\text{Last Byte Read} - \text{Last Byte Read}) \text{ ESPAÇO LIVRE}$$

$$\text{Effective Window} = \text{Advertised Window} - (\text{Last Byte Sent} - \text{Last Byte Acked})$$

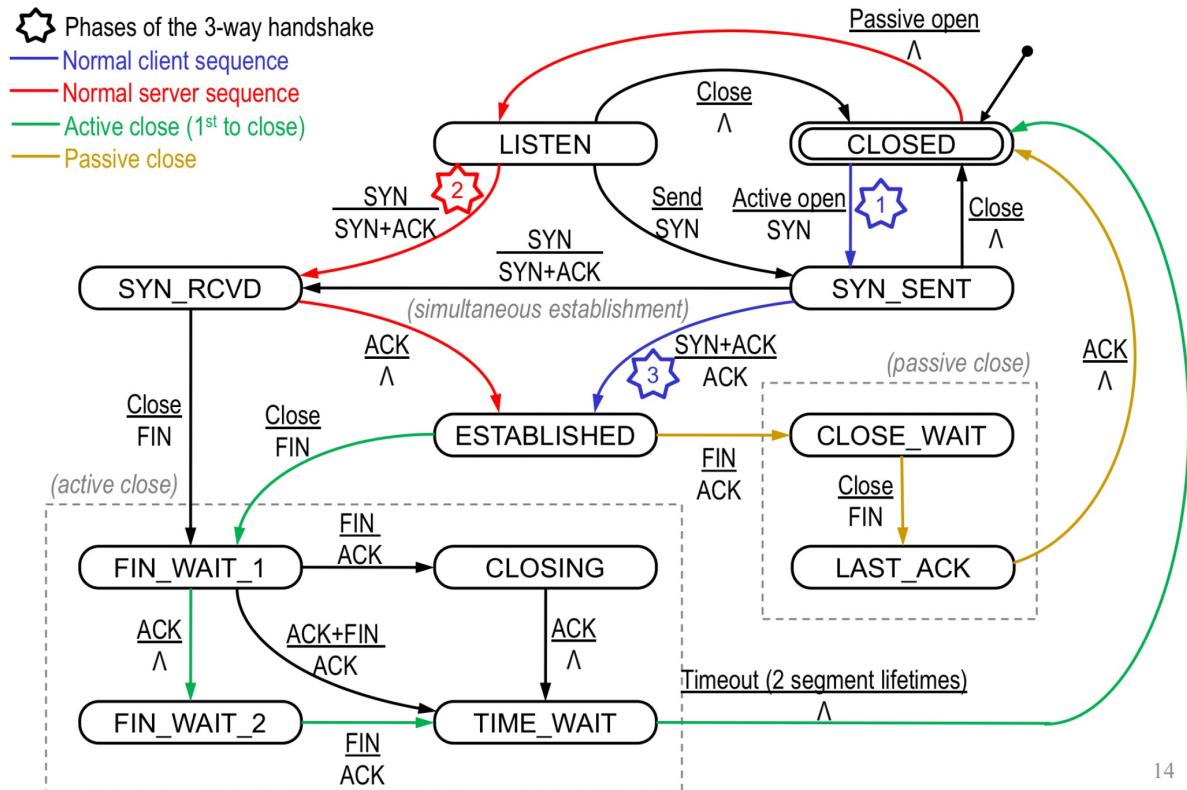
- O emissor bloqueia se tiver de escrever y bytes e $(\text{Last Byte Written} - \text{Last Byte Acked}) + y > \text{Max Send Buffer}$

Retransmissão Adaptativa: Timeout = Est RTT + 4 × Dev RTT

$$\text{Est RTT} = (1 - \alpha) \times \text{Est RTT} + \alpha \times \text{Sample RTT}, \quad \alpha = 0,125$$

$$\text{Dev RTT} = (1 - \beta) \times \text{Dev RTT} + \beta \times |\text{Sample RTT} - \text{Est RTT}|, \quad \beta = 0,25$$

Algoritmo de Karn / Partridge: o Sample RTT não deve ser medido em segmentos retransmitidos



ACK Selektivo (SACK): opção de enviar ACKs relativos quando os pacotes chegam fora de ordem e não buffered - retransmissão ao fim de 3 pacotes fora de ordem

PERDA DE PACOTE → BUFFER CHEIO → CONGESTÃO

Controle de congestionamento: cada origem determina a sua capacidade com base em critérios que permitem eficiência e equilíbrio / justiça de fluxo - os ACKs recebidos regulam a transmissão de pacotes

Crescimento Ativo / Decrescimento Multiplicativo: mudanças na capacidade do canal levam ao ajuste do rácio de transmissão

Congestion Window: limita a quantidade de tráfego em trânsito, sendo inversamente proporcional ao congestionamento da rede

- ↓
- $MaxWin = \text{MIN}(\text{Congestion Window}, \text{Advertised Window})$
 - $EffWin = MaxWin - (\text{Last Byte Sent} - \text{Last Byte Acked})$
 - $Rate = \text{Congestion Window} / RTT$

AI: $\text{Congestion Window} + 1$ por cada RTT

MD: $\text{Congestion Window}/2$ por cada perda de pacote

Na prática: Increment = $MSS * (\text{MSS} / \text{Congestion Window})$

Início Lento: para determinar rapidamente a capacidade disponível numa nova conexão ou quando a capacidade muda, inicializar $\text{Congestion Window} = MSS$ e duplicar Congestion Window em cada RTT ao adicionar MSS por ACK recebido - numa perda de segmento por timeout, $\text{threshold} = 1/2 \text{ ConWin}$, $\text{ConWin} = MSS$, retransmissão e início lento enquanto $\text{ConWin} < \text{threshold}$

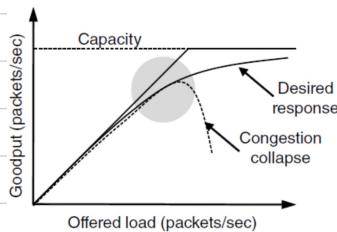
DEPOIS
CA

• Re-transmissão rápida depois de 3 ACKs repetidos

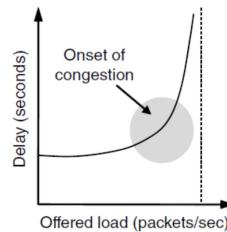
Quitar Congestão (CA): incrementar Congestion Window por MSS em cada RTT - detecção de um segmento perdido pela receção de 3 ACKs duplicados, assumir a perda, retransmiti-lo e atualizar Congestion Window / 2

TCP é justo? Sim, assumindo o mesmo RTT nas duas retrans TCP e um número fixo de retrans, só em evitar colisões (CA)

• Uso eficiente da largura de banda dá alto goodput, baixo delay

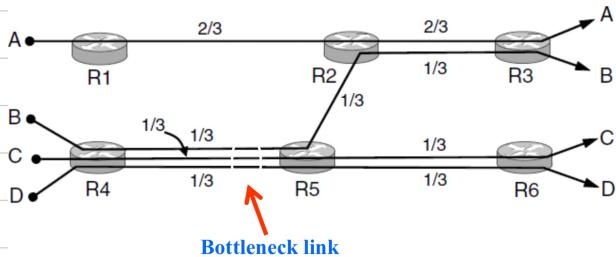


Goodput rises more slowly than load when congestion sets in



Delay begins to rise sharply when congestion sets in

• Uso justo dá largura de banda a todos os fluxos (não esforçamento)
- justiça marc-min dá partes iguais do bottleneck



• Os bitrates devem convergir rapidamente quando os pacotes de tráfego mudam

Caminhos Mais Curtos em Redes

Árvore $T = (G, E)$: grafo conexo acíclico, $|E| = |V| - 1$

Árvore do Caminho Mais Curto (SPT): árvore composta pela união dos caminhos mais curtos entre a raiz e cada um dos outros vértices do grafo

Encaminhamento: plano de dados — direciona um pacote da ligação de input para a ligação de output usando uma tabela de encaminhamento

Protocolo: plano de controlo — configuração das rotas que os pacotes vão seguir
! → desempenho fim-a-fim (caminho afeta a qualidade do serviço)
! → uso de recursos da rede (equilibrar tráfego e evitar congestionamento)
! → disruptões transitentes (limitar juntas e atrasos durante alterações)

Algoritmo de Dijkstra: algoritmo iterativo em que em cada iteração se acrescenta um nó ao conjunto de nós para os quais se conhece o caminho de menor custo

• Cada roteador corre o algoritmo de Dijkstra para computar os caminhos mais curtos e construir a tabela de encaminhamento, obtendo uma regra completa do grafo

• Mensagens "hello" periódicas enviadas em ambas as direções servem para detectar falhas na rede

Como inunden o estado das ligações? Cada nó envia informação do estado das ligações através das ligações adjacentes e os nós vizinhos reencaminham sucessivamente essa informação — hierarquicamente através de áreas vizinhas? Periodicamente ou após alterações de topologia

ESPERAR → RECOMPUTAR → NOTIFICAR

Algoritmo de Bellman-Ford: atualiza as distâncias com base nos vizinhos, $d_n(y) = \min \{ c(x, v) + d_v(y) \}$ sobre todos os vizinhos v

- Cada nó envia periodicamente o seu vetor de distâncias aos seus vizinhos, para eles atualizarem os seus próprios vetores de distâncias, não notificando os vizinhos quando necessário — iterativo; avançando i distribuído

Routing Information Protocol (RIP): os nós enviam os seus vetores de distância em cada 30 segundos ou quando uma atualização causa alterações no roteamento

The Exterior Gateway Routing Protocol (BGP): cada nó recebe dos seus vizinhos os caminhos que usam para chegar a outro nó

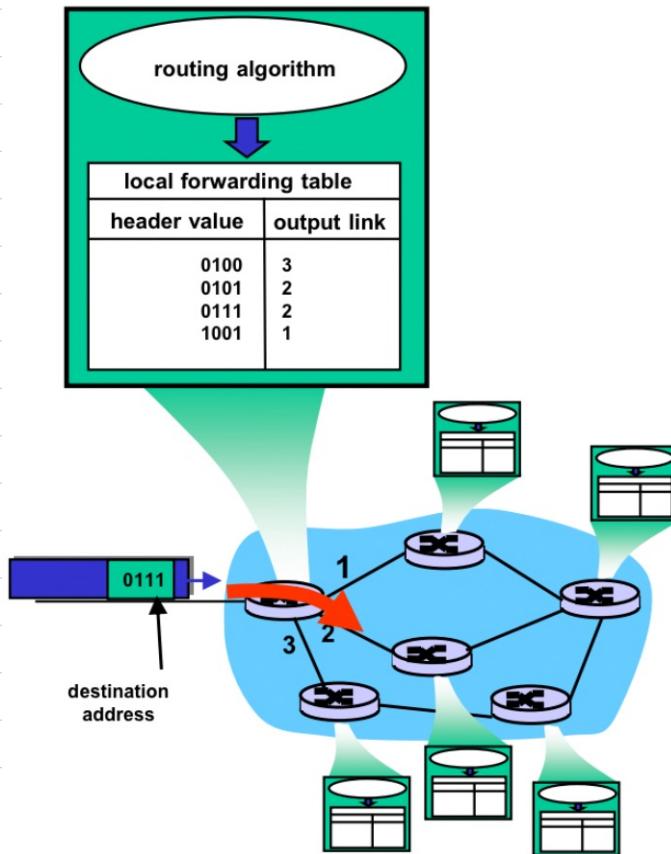
- Para evitar ciclos infinitos em pacotes NEM "hop-count", é necessário haver uma topologia de árvore — caminho único entre duas estações

Spanning Tree Protocol (STP): carece de redundâncias e ajuda a construir a árvore, bloqueando portos — algoritmo distribuído em que os nós tentam de eleger uma raiz (nó com menor ID) e identificam se a sua interface está no caminho mais curto desde a raiz através de mensagens do tipo $(\text{RAIZ}, \text{DIST}, \text{nó})$, em que cada nó consegue ser amado por a raiz e atualiza esse ponto de vista sucessivamente

- Os switches identificam as interfaces que não estão no caminho mais curto para a raiz e excluem-nas da árvore
- As redes de comunicação não são redes de fluxo, mas sim redes de filas
- permitem determinar valores limite de capacidade

Teorema Max-Flow Min-Cut: a quantidade máxima de fluxo transferível através de uma rede é igual ao valor mínimo de entre todos os cortes simples da rede

reforçando os nós em dois conjuntos disjuntos



Camada da Aplicação

Um protocolo da camada da aplicação define:

- tipos de mensagens
- sintaxe das mensagens
- semântica das mensagens
- regras

↓ TCP e UDP não oferecem segurança

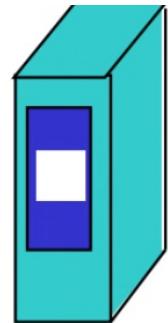
TLS é uma camada adicional que fornece encriptação (privacidade), integridade das mensagens e autenticação dos interlocutores

HTTP: o cliente inicia uma conexão TCP a um servidor (via um socket) no porto 80, o servidor aceita essa conexão do cliente e não troca mensagens entre browser/cliente e servidor até a conexão terminar

HTTP Não-Persistente: no máximo um objeto é enviado pela conexão ^{TCP}
• $T_{total} = 2RTT + T_{transmissão}$ (por objeto)
• Os servidores podem abrir conexões paralelas

HTTP Persistente: vários objetos podem ser enviados na conexão TCP
• O servidor deixa a conexão aberta depois de enviar a resposta para que mensagens subsequentes sejam enviadas através dela

HTTP Persistente com Pipelining: o cliente faz um novo pedido depois de receber a resposta anterior - um RTT por objeto referenciado



initiate TCP
connection

RTT

request
file

RTT

file
received

time to
transmit
file

time

time

HTTP Persistente com Pijelining: o cliente pede um novo objeto mas encontra a sua referência — um RTT por todos os objetos referenciados

Cache Web (Servidor Proxy): para satisfazer o pedido do cliente nem envolver o servidor de origem — o browser envia todos os pedidos HTTP para a cache, i. e., os acessos Web não via cache

• A cache atua como cliente e servidor

Protocolo SMTP: entre servidores de email para enviar emails PORTO 25

Cliente: servidor que envia

Servidor: servidor que recebe

3 fases { · Handshaking
· Transferência de Mensagens
· Fecho

Cabeçalho { · Para
· De
· Assunto

• SMTP usa conexões persistentes e regras as mensagens em ASCII 7 bits

HTTP: "pull" — cada objeto encapsulado na sua própria mensagem resposta

SMTP: "push" — múltiplos objetos enviados numa mensagem multi-part

Protocolos de Atendimento a Emails: obter a informação do servidor

Post Office Protocol (POP3): autenticação e download — fase de autenticação (comandos do cliente e respostas do servidor) e fase de transação (list, retr, dele, quit)

• Itinerários entre servidores

DOWNLOAD AND |
| DELETE
KEEP

Internet Mail Access Protocol (IMAP): manipulação das mensagens armazenadas nos serviços

- Mantém o estado entre sessões
- Guarda as mensagens num nó local: o servidor

HIERÁRQUICA

Domain Name System (DNS): base de dados distribuída implementada numa hierarquia de vários "name servers" — protocolo da camada de aplicação que comunica para resolver nomes (tradução endereço - nome)

Serviços: tradução de nomes para IPs; "aliasing" de anfitriões e serviços; distribuição de carga

Root Name Servers: contactados por "local name servers" que não conseguem resolver um nome, retornam referências para "top-level domain servers" (TLD - com, org, net, ...)

Authoritative DNS Servers: serviços DNS de organizações

Local Name Servers: um por cada ISP, não pertencem diretamente à hierarquia e não interrogados pelos anfitriões, atuando como proxy e interrogando a hierarquia, fazendo cache da resposta — interrogações não recursivas (iterativas)

• O anfitrião faz interrogações recursivas

Registo de Recurso (RR): (nome, valor, tipo = {A, NS, CNAME, MX}, TTL)

Protocolo DNS: mensagens de interrogação e resposta com o mesmo formato

• Para registar nomes, via registo no authoritative server

Problemas

1. Duas estações comunicam usando uma ligação de dados baseada num protocolo do tipo *Go-Back-N ARQ*. A capacidade do canal (em cada sentido) é de **2048 kbit/s**, a distância entre estações é **300 km**, o atraso de propagação no meio é **5 µs/km** e as tramas têm um tamanho típico de **256 octetos**. Admita que não ocorrem erros e que as tramas de dados são imediatamente confirmadas por meio de uma trama de supervisão (RR).
- a) Considere o caso particular em que $N=1$ (*Stop and Wait*). Calcule a eficiência máxima do protocolo e o débito máximo (bit/s) correspondente.
- b) Determine o tamanho mínimo da janela de transmissão que permitiria teoricamente uma utilização máxima do canal de **100%**; nestas condições, qual o número mínimo de bits necessários para numerar as tramas?
- c) Considere que as tramas são numeradas módulo **8**. Para a janela máxima possível neste caso, indique qual o número máximo de tramas de supervisão consecutivas que se poderiam perder e ainda assim se conseguir uma utilização máxima do canal de **100%**.
- d) Nas mesmas condições da alínea anterior, considere que uma trama de Informação é recebida com erro (e descartada) e que, posteriormente, é enviada uma trama **REJ**. Indique qual o número de tramas que seria necessário retransmitir, nessas condições. Poderá apresentar a solução recorrendo a um diagrama temporal, devidamente comentado.

1. Go - Back - N $C = 2048 \text{ Kbit/s}$ $d = 300 \text{ km}$
 nenhuma erro $\text{atraso} = 5 \mu\text{s}/\text{km}$ $L = 256 \text{ bytes}$

a) $S = \frac{T_f}{T_f + 2T_s} = \frac{1}{1+2a} \quad a = \frac{T_s}{T_f} \quad T_f = \frac{L}{R} \quad T_s = \frac{d}{v}$

$$T_f = \frac{L}{C} = \frac{256 \times 8}{2048 \times 10^3} = 10^{-3} \text{ s} = 1 \text{ ms}$$

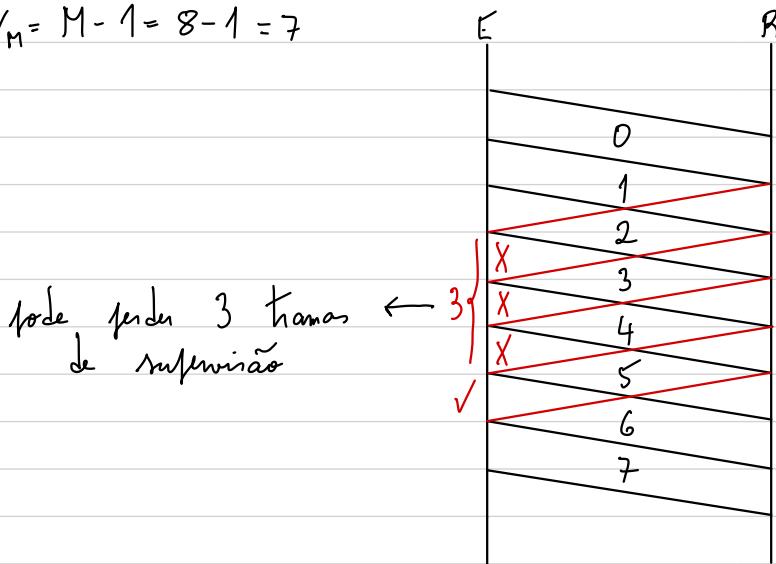
$$T_s = \text{atraso} \times d = 300 \times 5 = 1500 \mu\text{s} = 1,5 \text{ ms}$$

$$a = 1,5 \quad S = \frac{1}{1+2 \times 1,5} = \frac{1}{4} = 25\% //$$

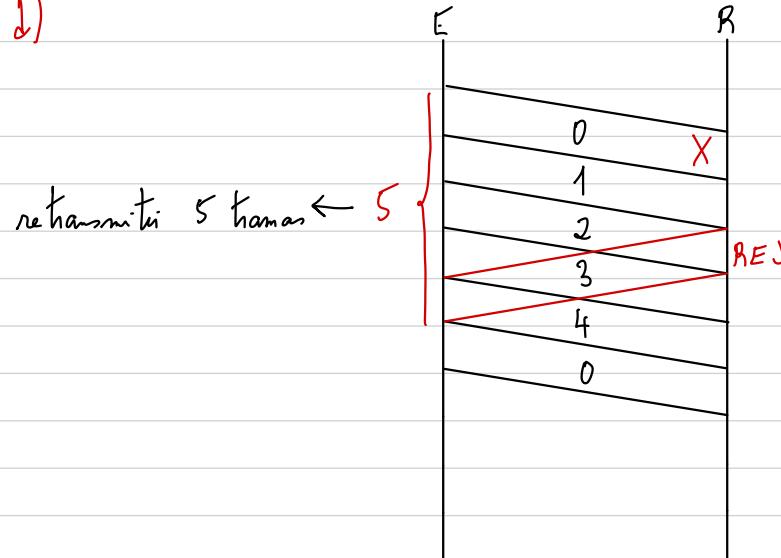
$$\text{Débito máx} = S \times C = 0,25 \times 2048 \times 10^3 = 512 \text{ Kbit/s} //$$

b) $S = 1 \rightarrow W \geq 1 + 2a$ $W \geq 1 + 2 \times 1,5 \Leftrightarrow W \geq 4$
 $W_M = M - 1 = 2^k - 1$ $4 = M - 1 \Leftrightarrow M = 5$ $M = 8 \rightarrow W_{\text{Max}} = 7$
 $7 = 2^k - 1 \Leftrightarrow k = 3 \text{ bits}$

c) $M = 8$ $W_M = M - 1 = 8 - 1 = 7$



d)



2. Duas estações comunicam usando uma ligação de dados baseada num protocolo do tipo Go-Back-N ARQ. Admita que são transmitidas tramas de Informação apenas num sentido (e tramas de Supervisão em sentido oposto). A capacidade do canal (em cada sentido) é **256 kbit/s**, o tempo de propagação entre as estações (num sentido) é **270 ms** (transmissão por satélite) e as tramas de Informação têm um tamanho típico de **2048 bits**. Nos cálculos despreze o tamanho das tramas de Supervisão.

- a) Calcule o máximo débito de informação (**bit/s**) possível na ligação, admitindo que são usados apenas **3 bits** para numerar as tramas de Informação. Calcule ainda o tamanho mínimo da janela de transmissão que permitiria a utilização plena do canal e indique quantos bits seriam necessários nesse caso para numerar as tramas.

$$Sol. R_{max} = 26,2 \text{ kbit/s}; W_{min} = 69, k=7 \text{ bits}$$

- b) Justifique que neste caso seria recomendado usar a variante *Selective Reject*. Neste caso e admitindo que eram usados **7 bits** para numerar as tramas de Informação, calcule o débito máximo possível na ligação, na ausência de erros.

$$Sol. R_{max} = 239 \text{ kbit/s}$$

2. Go - Back N $C = 256 \text{ kbit/s}$ $t_f = 270 \text{ ms}$
 $L = 2048 \text{ bits}$

a) $K = 3$ $W = 2^K - 1 = 2^3 - 1 = 8 - 1 = 7$ $M = 8$

$$T_f = \frac{L}{C} = \frac{2048}{256 \times 10^3} = 8 \text{ ms} \quad a = \frac{T_f}{T_f} = \frac{270}{8} = 33,75 \text{ ms}$$

$$1 + 2a = 1 + 2 \times 34 = 1 + 67,5 = 68,5 \quad 7 < 68,5 \rightarrow W < 1 + 2a \rightarrow S = \frac{W}{1 + 2a}$$

$$S = \frac{W}{1 + 2a} = \frac{7}{68,5} = 0,102 \quad R_M = S \times C = 0,102 \times 256 = 26,2 \text{ kbit/s}$$

$$S = 1 \rightarrow W > 1 + 2a \quad W \geq 1 + 2 \times 33,75 = 68,5 \rightarrow W = 69$$

$$69 = 2^K - 1 \Leftrightarrow 2^K = 70 \Leftrightarrow K = 6, \dots \rightarrow K = 7 \text{ bits}$$

b) Selective Repeat/Request é adequado se W for a form grandes

$$K = 7 \rightarrow W = 2^{7-1} = 2^6 = 64 < 68,5 \quad (1+2a)$$

$$\gamma_e = 0$$

$$S = \frac{W}{1+2a} = \frac{64}{68,5} = 0,934$$

$$R = S \times C = 0,934 \times 256 = 239 \text{ Kbit/s}$$

3. Pretende-se analisar as várias alternativas de um protocolo de ligação de dados (*Stop and Wait*, *Go-Back-N* e *Selective Reject*) nos seguintes casos:

- Caso A - capacidade do canal (em cada sentido): **128 kbit/s**; distância entre estações: **75 km**
- Caso B - capacidade do canal (em cada sentido): **640 kbit/s**; distância entre estações: **750 km**
- Caso C - capacidade do canal (em cada sentido): **1920 kbit/s**; distância entre estações: **2500 km**

O atraso de propagação no meio é **5 μs/km**. Considere que apenas são enviadas tramas de Informação (com tamanho **960 bits**) num sentido e tramas de Supervisão em sentido oposto e despreze o tamanho das tramas de Supervisão.

- a) Discuta, justificando, se algum dos casos seria aceitável a opção pelo *Stop and Wait*.

Sol. Apenas no caso A; S=91%

- b) Discuta nos casos B e C qual das alternativas *Go-Back-N* e *Selective Reject* seria aconselhável. Determine, em cada caso, o tamanho mínimo da janela recomendado e o número de bits necessários para numerar as tramas.

$$3. C_A = 128 \text{ kbit/s}$$

$$d = 75 \text{ km}$$

$$C_B = 640 \text{ kbit/s}$$

$$d = 750 \text{ km}$$

$$C_C = 1920 \text{ kbit/s}$$

$$d = 2500 \text{ km}$$

$$\frac{1}{v} = 5 \mu\text{s/km} \quad L = 960$$

$$a) S = \frac{1}{1+2a} \quad a = \frac{T_f}{T_f} \quad T_f = \frac{L}{C}$$

$$A: T_f = \frac{1}{v} \times d = 5 \times 75 = 0,375 \text{ ms} \quad T_f = \frac{960}{128 \times 10^3} = 7,5 \text{ ms}$$

$$a = \frac{0,375}{7,5} = 0,05 \quad S = \frac{1}{1+2 \times 0,05} = \frac{1}{1,1} = 91\% \quad \text{Bon}$$

$$B: T_f = 5 \times 750 = 3,75 \text{ ms} \quad T_f = \frac{960}{640 \times 10^3} = 1,5 \text{ ms} \quad a = \frac{3,75}{1,5} = 2,5$$

$$S = \frac{1}{1+2 \times 2,5} = \frac{1}{6} = 17\% \quad \text{MAU}$$

$$C: T_f = 5 \times 2500 = 12,5 \text{ ms} \quad T_f = \frac{960}{1920 \times 10^3} = 0,5 \text{ ms}$$

$$a = \frac{12,5}{0,5} = 25$$

$$S = \frac{1}{1+2 \times 25} = \frac{1}{51} = 2\% \quad \text{MAU}$$

b) Com erros, SR é mais eficiente ($\frac{S_{SR}}{S_{GBN}} = 1 + 2a/k$), mas GBN é mais simples

$$B: W_{\min} = 1 + 2a = 1 + 2 \times 2,5 = 6 //$$

$$GBN: M = W + 1 = 7 \rightarrow M = 8$$

$$SR: M = 2W = 12 \rightarrow M = 16$$

$$k = 3 \text{ bits}$$

$$k = 4 \text{ bits}$$

$$C: W_{\min} = 1 + 2a = 1 + 2 \times 25 = 51 //$$

$$GBN: M = W + 1 = 52 \rightarrow M = 64$$

$$SR: M = 2W = 102 \rightarrow M = 128$$

$$k = 6 \text{ bits}$$

$$k = 7 \text{ bits}$$

4. Duas estações comunicam usando um protocolo de ligação de dados do tipo ARQ. O tempo de propagação entre estações é 9 ms e a capacidade do canal é 10 Mbit/s (em cada sentido). Admita que as tramas de Informação usam 7 bits para numeração, têm um tamanho típico de 2000 bits e são imediatamente confirmadas por tramas de Supervisão em sentido oposto. Despreze o tamanho das tramas de Supervisão.

- a) Calcule a eficiência máxima do protocolo, considerando as variantes *Stop-and-Wait*, *Go-Back-N* e *Selective Reject* e calcule os débitos máximos (bit/s) correspondentes.

Sol. SW: $S_{max}=1,1\%$, $R_{max}=110 \text{ kbit/s}$; *GBN:* $S_{max}=100\%$, $R_{max}=10 \text{ Mbit/s}$; *SR:* $S_{max}=70,3\%$, $R_{max}=7,0 \text{ Mbit/s}$

- b) Calcule, para cada uma das variantes, o limite para que tenderia o débito máximo possível na ligação, considerando uma capacidade do canal arbitrariamente elevada. Interprete os resultados obtidos, tendo em atenção as diferenças observadas em relação aos valores anteriormente calculados.

Sol. SW: $R_{max}=110 \text{ kbit/s}$; *GBN:* $R_{max}=14,0 \text{ Mbit/s}$; *SR:* $R_{max}=7,0 \text{ Mbit/s}$

- c) Calcule a eficiência máxima das variantes *Go-Back-N* e *Selective Reject*, considerando que a probabilidade de uma trama ser recebida com erro é 1%. Repita os cálculos admitindo tramas com comprimento 3000 bits, passando a probabilidade de erro a ser 1.5%. Que conclusões pode tirar relativamente à influência do tamanho das tramas e da probabilidade de erro na eficiência destas duas variantes do protocolo?

Sol. $p_e=1\% - GBN: S_{max}=52,1\%$, $SR: S_{max}=69,6\%$
 $p_e=1,5\%, L=3000 \text{ bit} - GBN: S_{max}=51,8\%$, $SR: S_{max}=98,5\%$

4. $t_f = 9 \text{ ms}$ $C = 10 \text{ Mbit/s}$ $k = 7 \text{ bits}$ $L = 2000 \text{ bits}$

a)

$$T_f = \frac{L}{C} = \frac{2000}{10 \times 10^6} = \frac{2 \times 10^3}{10^7} = 2 \times 10^{-4} \text{ s} = 0,2 \text{ ms} \quad a = \frac{T_f}{t_f} = \frac{1}{0,2} = 45$$

SW: $S = \frac{1}{1+2a} = \frac{1}{1+2 \times 45} = \frac{1}{91} = 1,1\% //$ $R = C \times S = 10 \times 0,011 = 0,11 \text{ Mbit/s} = 110 \text{ kbit/s} //$

GBN: $W = 2^{k-1} = 2^7 - 1 = 127 > 91 \rightarrow S = 100\% // \quad R = C = 10 \text{ Mbit/s} //$

SR: $W = 2^{k-1} = 2^{7-1} = 2^6 = 64 < 91 \rightarrow S = \frac{W}{1+2a} = \frac{64}{91} = 70,3\% //$

$R = C \times S = 10 \times 0,703 = 7,03 \text{ Mbit/s} //$

$$b) C \rightarrow \infty \Rightarrow f_f \rightarrow 0 \Rightarrow a \rightarrow \infty \Rightarrow W_{GBN} = 127 < \infty$$

$$S_{GBN} = \frac{W}{1+2a} = \frac{127}{91} = 1,4 \quad \text{1000}$$

$$c) f_e = 1\%:$$

$$W_{GBN} = 127 > 91 = 1+2a \rightarrow S = \frac{1-f_e}{1+2a f_e} = \frac{1-0,01}{1+2 \times 45 \times 0,01} = 52,1\%$$

$$W_{SP} = 64 < 91 = 1+2a \rightarrow S = \frac{W(1-f_e)}{1+2a} = \frac{64 \times (1-0,01)}{91} = 69,6\%$$

$$f_e = 1,5\%: \quad \text{1000}$$

$$L = 3000 \text{ bit} \quad f_f = \frac{L}{C} =$$

5. Uma porta de saída de um *router* é servida por um canal com capacidade **256 kbit/s**, dimensionada prevendo-se uma intensidade de tráfego média de **75%**. Considere que o comportamento da porta pode ser modelizado por uma fila de espera M/M/1 e que os pacotes têm um tamanho médio de **4000 bits**.

- Calcule o tempo médio de atraso dos pacotes, para a intensidade de tráfego referida. Discuta a influência do tamanho dos pacotes no valor do atraso, admitindo que a intensidade de tráfego se mantinha - considere por exemplo que o tamanho médio dos pacotes era, respectivamente, o dobro e metade do indicado.
- Admita que a porta de saída é configurada com **24 buffers**. Calcule a probabilidade de perda de pacotes para o tráfego indicado e para um tráfego médio de **256 e 320 kbit/s**, respectivamente. Qual o impacto do tamanho dos pacotes nestas probabilidades e no dimensionamento dos *buffers*?

5. M/M/1

$$C = 256 \text{ kbit/s} \quad \rho = 0,75 \quad L = 4000 \text{ bits}$$

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

$$\mu = \frac{C}{L} = \frac{256 \times 10^3}{4000} = 64 \text{ pac/s} \leftarrow \text{partidas}$$

$$\lambda = \rho \mu = 0,75 \times 64 = 48 \text{ pac/s} \leftarrow \text{chegadas}$$

$$T = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{64 - 48} = \frac{1}{16} = 62,5 \text{ ms}$$

OU

$$N = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{0,75}{0,25} = 3 \quad T = \frac{N}{\lambda} = \frac{3}{48} = \frac{1}{16} = 62,5 \text{ ms}$$

$$T = \frac{N}{\lambda} = \frac{N}{\rho \mu} = \frac{NL}{\rho \mu L} = \frac{NL}{\rho C} = \frac{\frac{\rho}{(1-\rho)} L}{\rho C} = \frac{L}{(1-\rho)C} = \frac{(1)}{(1-\rho)C} \times L$$

$T = kL$, ou seja, o atraso é diretamente proporcional ao tamanho
 $L' = 2L \rightarrow T' = 2T = 125 \text{ ms}$

$$L' = \frac{L}{2} \rightarrow T' = \frac{T}{2} = 31,25 \text{ ms}$$

b) M/M/1/B $B = 24$ $P(B) = \frac{(1-\rho) \rho^B}{1 - \rho^{B+1}}$

$$P(24) = \frac{(1-0,75) \times 0,75^{24}}{1 - 0,75^{24+1}} = 2,5 \times 10^{-4} = 0,025\% //$$

$$\text{tráfego médio} = 256 \text{ Kbit/s} \quad \lambda = \frac{\text{t.m.}}{L} = \frac{256 \times 10^3}{4 \times 10^3} = 64 \text{ pacotes/s}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{64}{64} = 1 \rightarrow P(B) = \frac{1}{B+1} = \frac{1}{24+1} = \frac{1}{25} = 4\% //$$

$$\text{tráfego médio} = 320 \text{ Kbit/s} \quad \lambda = \frac{\text{t.m.}}{L} = \frac{320 \times 10^3}{4 \times 10^3} = 80 \text{ pac/s}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{80}{64} = 1,25 > 1 \rightarrow P(B) \approx \frac{\rho - 1}{\rho} = \frac{1,25 - 1}{1,25} = \frac{0,25}{1,25} = 20\% //$$

\rightarrow distinguir $\rho < 1$, $\rho = 1$ e $\rho > 1$

6. Duas LANs remotas comunicam através dumha ligação dedicada *full-duplex* estabelecida entre dois *routers*. A capacidade da ligação é **512 kbit/s** (em cada sentido). Pretende-se analisar o comportamento de um *router* para um tráfego médio de **384 kbit/s** submetido para transmissão na ligação, sendo o tamanho médio dos pacotes **256 octetos**. Considere que o comportamento do *router* pode ser modelizado por uma fila de espera M/M/1.

- a) Calcule a intensidade de tráfego na ligação (taxa de utilização), a ocupação média da fila de espera (em pacotes) e o tempo médio de atraso dos pacotes (indicando as componentes de espera e de serviço).

$$Sol. \rho = 0,75; N_w = 2,25; T = 16ms$$

- b) Admita que o *router* é configurado com **32 buffers** de transmissão. Calcule a probabilidade de perda de pacotes para o tráfego médio indicado (**384 kbit/s**) e para um tráfego médio de **512 kbit/s**.

$$Sol. 384 \text{ kbit/s: } P_B = 25 * 10^{-6}; 512 \text{ kbit/s: } P_B = 0,03$$

$$6. C = 512 \text{ kbit/s} \quad R = 384 \text{ kbit/s} \quad L = 256 \text{ bytes} \quad M/M/1$$

$$a) \rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{R/L}{C/L} = \frac{R}{C} = \frac{384}{512} = 0,75 //$$

$$N = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,75}{0,25} = 3 \quad N_w = N - \rho = 3 - 0,75 = 2,25 //$$

$$T = \frac{N}{\lambda} = \frac{3}{384/(256 \times 8)} = 16 \text{ ms} // \quad T_w = \frac{N_w}{\lambda} = \frac{2,25}{384/(256 \times 8)} = 12 \text{ ms}$$

$$T_A = T - T_w = 16 - 12 = 4 \text{ ms}$$

$$b) B = 32 \quad P(B) = \frac{(1-\rho) \rho^B}{1 - \rho^{B+1}} \quad P(32) = \frac{0,25 \times 0,75^{32}}{1 - 0,75^{33}} = 25 \times 10^{-6} //$$

$$R = 512 \text{ kbit/s} \quad \rho = \frac{R}{C} = \frac{512}{512} = 1 \quad P(B) = \frac{1}{B+1}$$

$$P(32) = \frac{1}{32+1} = \frac{1}{33} = 0,03 //$$

7. Uma porta de saída de um comutador de pacotes é servida por uma ligação com capacidade **512 kbit/s**. Admita que em média são transferidos para essa porta **50 pacotes/s**, sendo o tamanho médio dos pacotes **1024 octetos**. Considere que o comportamento da porta pode ser modelizado por uma fila de espera M/M/1.

- a) Verifique, calculando a intensidade de tráfego na ligação, que a fila de espera tem um comportamento estável. Calcule ainda a ocupação média da fila de espera e os tempos médios de atraso e de espera dos pacotes.

$$Sol. \rho=0,8 (\rho < 1); N_w=3,2; T=80 \text{ ms}, T_w=64 \text{ ms}$$

- b) Admita que a porta de saída é configurada com **24 buffers**. Calcule a probabilidade de perda de pacotes para o tráfego indicado (**50 pacotes/s**) e para um tráfego médio de **75 pacotes/s**. Calcule ainda o número máximo de pacotes que seria possível transmitir num *burst* submetido com débito constante e igual a **75 pacotes/s**, sem que ocorressem perdas (assuma que o *buffer* está vazio no início do *burst*)?

$$Sol. 50 \text{ pac/s: } P_B=0,095\%; 75 \text{ pac/s: } P_B=16,7\% ; \\ burst=144 \text{ pacotes}$$

- c) Admita que se pretende redimensionar o sistema para um tráfego médio duplo do indicado (**100 pacotes/s**), mantendo-se a mesma taxa nominal de utilização. Considere duas alternativas:

- estabelecer uma única ligação com capacidade dupla da inicial (**1024 kbit/s**);
- estabelecer uma segunda ligação com capacidade idêntica à inicial (**512 kbit/s**), distribuindo o tráfego pelos dois canais com idêntica probabilidade.

Qual das duas soluções seria preferível do ponto de vista do tempo médio de atraso dos pacotes? Justifique qualitativa e quantitativamente. Qual seria o impacto no tempo médio de atraso dos pacotes se o volume de tráfego (em bit/s) se mantivesse, mas o tamanho médio dos pacotes fosse metade do indicado (**512 octetos**)?

Sol. 1º caso: T= 40 ms; 2º caso: T= 80 ms; primeira solução é preferível

L=512 octetos → atraso médio passa a ser metade do inicial

$$7. C = 512 \text{ kbit/s} \quad \lambda = 50 \text{ pac/s} \quad L = 1024 \text{ bytes}$$

$$a) \mu = \frac{C}{L} = \frac{512 \times 10^3}{1024 \times 8} = 62,5 \text{ pac/s}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{50}{62,5} = 0,8 \quad N = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,8}{0,2} = 4$$

$$T = \frac{N}{\lambda} = \frac{4}{50} = 80 \text{ ms} \quad N_w = N - \rho = 4 - 0,8 = 3,2$$

$$T_w = \frac{N_w}{\lambda} = \frac{3,2}{50} = 64 \text{ ms}$$

b) $B = 24$ $P(B) = \frac{(1-p)p^B}{1-p^{B+1}}$ $P(24) = \frac{0,2 \times 0,8^{24}}{1-0,8^{25}} = 0,095\%$

$$\lambda = 75 \text{ pac/s} : \quad p = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{75}{62,5} = 1,2 >> 1 \quad P(B) = \frac{p-1}{p}$$

$$P(24) = \frac{1,2 - 1}{1,2} = 16,7\% //$$

BURST: $\lambda - \mu = 75 - 62,5 = 12,5$ pacotes nos buffers no segundo
 $\frac{24}{12,5} = 1,92$ segundos para encher os buffers
 $1,92 \times 75 = 144$ pacotes //

c) TODO

8. Através de uma porta de saída de um comutador de pacotes é encaminhado tráfego recebido em **15 portas** de entrada, prevendo-se que cada fluxo de entrada contribua com um débito médio de **96 kbit/s**. Pretende-se nestas condições dimensionar a capacidade do canal que serve a porta de saída para uma utilização média (intensidade de tráfego) de **75%**. Admita que os pacotes têm um tamanho médio de **960 bits** e que pode modelizar o acesso ao canal por uma fila de espera M/M/1.

- a) Calcule, nas condições indicadas, a capacidade do canal referido (**kbit/s**), o tempo médio de atraso dos pacotes e a ocupação média da fila de espera.

$$Sol. C=1920 \text{ kbit/s}; T=2 \text{ ms}; N_w=2,25$$

- b) Discuta como variaria o tempo médio de atraso dos pacotes nos dois casos seguintes:

- Duplicação do tráfego nas portas de entrada (**192 kbit/s**) e duplicação da capacidade do canal.
- Mesmo tráfego nas portas de entrada (**96 kbit/s**) e pacotes com metade do comprimento (**480 bits**).

Em face dos resultados, quais as conclusões que pode extraír e que caracterizam a partilha de recursos em comunicação de pacotes?

$$Sol. 1^{\circ} \text{ caso: } T=1 \text{ ms}; 2^{\circ} \text{ caso: } T=1 \text{ ms}$$

- c) Dimensione o número de *buffers* associados à porta de saída, para uma probabilidade de perda de pacotes inferior a **0.1%**, nas condições de tráfego indicadas. Qual a probabilidade de perda de pacotes se o tráfego médio em cada porta de entrada aumentasse para **128 kbit/s**? E qual o número de *buffers* necessário para garantir a probabilidade de perda de pacotes anteriormente especificada? Seria aceitável esta solução? Porquê?

$$Sol. M=20; P_B=5\% ; M=999 \rightarrow \text{não aceitável, fila cheia, atraso grande}$$

8. 15 portas $R^1 = 96 \text{ kbit/s}$ $\rho = 0,75$ $L = 960 \text{ bits}$
 $M/M/1$

a) $R = 15 \times R^1 = 15 \times 96 = 1440 \text{ kbit/s}$

$$\lambda = \frac{R}{L} = \frac{1440 \times 10^3}{960} = 1500 \text{ pac/s} \quad \rho = \frac{\lambda}{\mu} \Leftarrow \mu = \frac{\lambda}{\rho}$$

$$\mu = \frac{1500}{0,75} = 2000 \text{ pac/s} \quad \mu = \frac{C}{L} \Leftarrow C = \mu L$$

$$C = 2000 \times 960 = 1920 \text{ kbit/s} //$$

$$T = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{2000 - 1500} = \frac{1}{500} = 2 \text{ ms} //$$

$$N = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,75}{0,25} = 3 \quad N_w = N - \rho = 3 - 0,75 = 2,25 //$$

b) A: $R^1 = 2R, C^1 = 2C$ TODO
 $\hookrightarrow \lambda^1 = 2\lambda, \mu^1 = 2\mu \rightarrow \rho^1 = \rho, N^1 = N \rightarrow T^1 = \frac{N^1}{\lambda^1} = \frac{N}{2\lambda} = \frac{1}{2} = 1 \text{ ms}$

$$B: L^1 = \frac{L}{2} \rightarrow \lambda^1 = 2\lambda, \mu^1 = 2\mu \rightarrow \rho^1 = \rho, N^1 = N \rightarrow T^1 = \frac{N^1}{\lambda^1} = \frac{N}{2\lambda} = \frac{T}{2} = 1 \text{ ms}$$

c) $P(B) = 0,001 \Leftrightarrow \frac{(1-\rho)^B}{1-\rho^{B+1}} = 0,001 \Leftrightarrow \frac{0,25 \times 0,75^B}{1-0,75^{B+1}} = 0,001$

$$\Leftrightarrow \frac{0,75^B}{1-0,75^{B+1}} = 0,004 \Leftrightarrow 0,75^B = 0,004 - 0,004 \times 0,75^{B+1}$$

$$\Leftrightarrow 0,75^B = 0,004 - 0,003 \times 0,75^B \Leftrightarrow 0,75^B \times 1,003 = 0,004$$

$$\Leftrightarrow 0,75^B = \frac{0,004}{1,003} \Leftrightarrow B = \log_{0,75} \left(\frac{0,004}{1,003} \right) = 19,2 \rightarrow B = 20 //$$

$$R^1 = 128 \text{ kbit/s} \rightarrow R = 15 \times R^1 = 15 \times 128 = 1920 \text{ kbit/s}$$

$$\lambda = \frac{R}{L} = \frac{1920}{960} \times 10^3 = 2000 \text{ fac/s} \quad \mu = 2000 \text{ fac/s}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = 1 \quad B = 20 \quad P(B) = \frac{1}{B+1} = \frac{1}{21} = 5% //$$

1000

9. Uma empresa tem uma rede IP com endereço 200.1.1.0 (classe C) e pretende formar subredes para quatro departamentos (A, B, C e D) com a seguinte distribuição de computadores: **72, 35, 20 e 18**, respectivamente.

- Indique uma combinação possível de endereços e máscaras de subrede que permita resolver esta situação.
- Indique uma solução que poderia ser adoptada pela empresa no caso de o departamento D crescer para **34** computadores.

9. 200.1.1.0

a) A = 72 → 7 bits → /25

B = 35 → 6 bits → /26

C = 20 → 5 bits → /27

D = 18 → 5 bits → /27

A: 0 0000000 /25 → 200.1.1.0/25

B: 1 0 000000 /26 → 200.1.1.128/26

C: 1 1 0 00000 /27 → 200.1.1.192/27

D: 1 1 1 00000 /27 → 200.1.1.224/27 //

b) D' = 34 → 6 bits /26

Como A tem endereços não máscor, pode ser dividida em duas sub-redes A₁ e A₂ de 60 e 12 computadores, respectivamente

↓ ↓
6 bits 4 bits
/26 /28

A₁: 0 0 000000 /26

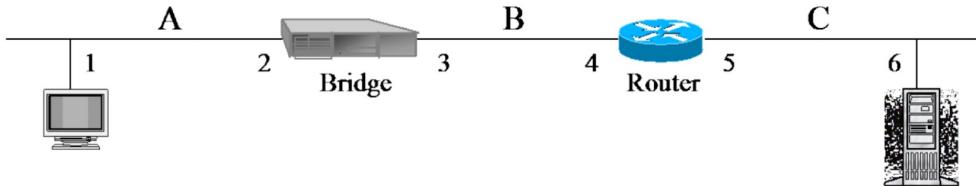
B: 0 1 000000 /26

D: 1 0 000000 /26

C: 1 1 0 00000 /27

A₂: 1 1 1 0 0000 /28 //

10. Considere três segmentos (A, B e C) de uma LAN IEEE 802.3, ligados por uma *bridge* e um *router*, conforme representado. São assinaladas seis interfaces, correspondendo um endereço MAC e um endereço IP a cada uma.



Considere um pacote IP enviado do computador no segmento A para o servidor no segmento C. O pacote é encapsulado em tramas MAC para transmissão em cada um dos segmentos. Identifique, através do número da interface respectiva, os endereços de origem e destino presentes na trama e no pacote, em cada segmento (admita que a resolução de endereços tinha sido previamente realizada). No caso de ser necessária resolução de endereços, para efectuar a transmissão da trama MAC em cada um dos segmentos, indique qual a estação que a invoca e qual o endereço IP fornecido para o efeito (de forma a obter o endereço MAC correspondente).

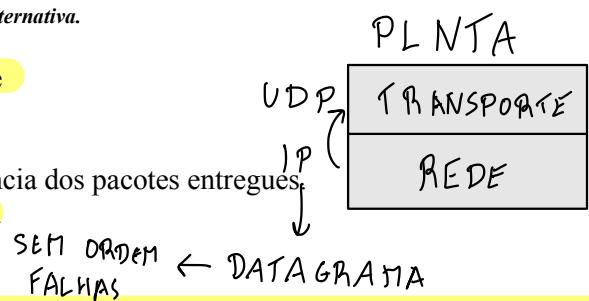
10. A: $IP_o = 1 \quad IP_D = 6 \quad MAC_o = 1 \quad MAC_D = 2$
B: $IP_o = 1 \quad IP_D = 6 \quad MAC_o = 3 \quad MAC_D = 4$
C: $IP_o = 1 \quad IP_D = 6 \quad MAC_o = 5 \quad MAC_D = 6$

Exame – Parte 1 (sem consulta, 10 valores, 35 minutos)**Nome:***Cotação:*

- Resposta correcta: 1 valor
- Resposta errada: -0,15 valores
- Pontuação mínima possível na Parte 1: 0 valores

*Apenas uma alternativa é verdadeira.**A resposta a uma pergunta será considerada errada se for selecionada mais do que uma alternativa.*

1. A camada de rede IP fornece ao protocolo UDP um serviço que
 - a) Garante a entrega de todos os pacotes pela sequência correta.
 - b) Garante a entrega de todos os pacotes mas não a sua sequência.
 - c) Não garante a entrega de todos os pacotes mas garante a sequência dos pacotes entregues.
 - d) Não garante a entrega de todos os pacotes nem a sua sequência.



2. Um canal de comunicações do tipo passa-baixo tem uma largura de banda de 2 kHz. Se o débito transmitido nesse canal for de 12 kbit/s estão a ser usados impulsos de

- a) 6 níveis.
- b) 8 níveis.
- c) 12 níveis.
- d) 64 níveis.

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

$$12 = 2 \times 2 \log_2(n) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \log_2 M = 3 \Leftrightarrow M = 2^3 = 8$$

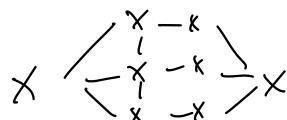
3. Através de um canal de comunicações caracterizado por um Bit Error Ratio (BER) conhecido são transmitidas tramas de dados. Admitamos 2 cenários: Cenário 1 - transmissão de tramas de comprimento L1 bits; Cenário 2 - transmissão de tramas de comprimento L2 = 10 * L1 bits. Nesta situação, poderemos afirmar que o Frame Error Ratio do Cenário 1 (FER1) e o Frame Error Ratio do Cenário 2 (FER2) estão relacionados da seguinte forma:

- a) FER1 < FER2.
- b) FER1 > FER2.
- c) FER1 = FER2.
- d) A informação fornecida não é suficiente para se retirar uma conclusão.

$$FER_2 > FER_1$$

4. Os mecanismos ARQ podem ser usados ligação-a-ligação (ARQ-LL) ou extremo-a-extremo (ARQ-EE). Assuma que entre o emissor e o receptor existem N ligações e que as ligações têm um FER elevado. Se quisermos que a rede seja simultaneamente fiável e eficiente deveremos usar

- a) ARQ-LL.
- b) ARQ-EE.
- c) É irrelevante.
- d) Não deveremos usar nenhum ARQ.



5. Considere um mecanismo ARQ Go-Back-N que usa 2 bits para numerar as tramas. Considere também a notação para representação do funcionamento do Emissor em que ?RR(1).!I(1).SW representa a receção (?) da mensagem RR(1) seguida (.) da emissão (!) da mensagem I(1) seguida (.) de uma paragem e espera de confirmação (SW – Stop and Wait). Assumindo que o emissor tem sempre tramas para enviar, o funcionamento do Emissor caracterizado pela sequência de eventos !I(0).?RR(1) poderá ser seguido por

- a) !I(1).!I(2).SW
- b) !I(1).!I(2).!I(3).SW
- c) !I(1).!I(2).!I(3).!I(0).SW
- d) !I(1).!I(2).!I(3).!I(4).SW

$$k=2 \quad W = 2^k - 1 = 2^2 - 1 = 4 - 1 = 3$$

(ver verso)

$$\{0, \underbrace{1, 2, 3}\}$$

6. Considere duas filas de espera, uma M/M/1 e outra D/D/1, ambas caracterizadas por uma intensidade de tráfego $\rho=0,8$. Nesta situação

- a fila M/M/1 tem um número médio de pacotes N inferior ao da fila D/D/1.
- a fila M/M/1 tem um número médio de pacotes N igual ao da fila D/D/1.
- a fila M/M/1 tem um número médio de pacotes N superior ao da fila D/D/1.
- É impossível responder porque não são conhecidas as taxas de chegada nem de serviço das filas.

$$N_{D/D/1} = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$$

7. Considere a tecnologia de acesso ao meio Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA), o tempo de transmissão de uma trama Tframe e o tempo de propagação de uma trama no meio partilhado Tprop. O CSMA/CA usa-se em situações em que é difícil detectar colisões, então evitam-se T frame fechados
- Tframe >> Tprop.
 - Tframe é aproximadamente igual a Tprop.
 - Tframe << Tprop.
 - A sua utilização é independente da relação entre Tframe e Tprop.

8. A tabela NAT de um router tem a seguinte entrada $<(140.76.29.6, 80), (172.16.1.4, 8080)>$. A rede privada tem o endereço 172.16.0.0/16 e existe um servidor HTTP na porta 8080 da máquina com o endereço 172.16.1.4. A interface do router na rede pública tem o endereço MAC AA::AA. A interface do servidor HTTP tem o endereço MAC BB::BB. Nesta situação, os endereços IP e MAC de origem de uma trama observada na rede pública proveniente deste servidor são os seguintes
- IPorig=140.76.29.6, MACorig= AA::AA.
 - IPorig=140.76.29.6, MACorig= BB::BB.
 - IPorig=172.16.1.4, MACorig= AA::AA.
 - IPorig=172.16.1.4, MACorig= BB:BB.

$$\begin{aligned} IP_o &= 140.76.29.6 \\ MAC_o &= AA::AA \end{aligned}$$

PUB
PRIV (HTTP)
MAC
*

9. O valor da janela de congestionamento de uma ligação TCP

- é calculado pelo emissor e mantém-se constante durante uma ligação TCP.
- é calculado pelo emissor e pode variar durante uma ligação TCP.
- é calculado pelo receptor, enviado por este ao emissor no campo Window Size da mensagem de ACK e mantém-se constante durante uma ligação TCP.
- é calculado pelo receptor, enviado por este ao emissor no campo Window Size da mensagem de ACK e pode variar durante uma ligação TCP.

10. No protocolo FTP, em resposta ao pedido de transferência de dados em modo passivo, o servidor envia ao cliente

- O endereço da porta do cliente para a ligação de controlo.
- O endereço da porta do cliente para a ligação de dados.
- O endereço da porta do servidor para a ligação de controlo.
- O endereço da porta do servidor para a ligação de dados.

Exame – Parte 2 (com consulta, 10 valores, 90 minutos)**Nome:**

1. Duas estações comunicam usando uma ligação de dados baseada em mecanismos ARQ. A capacidade do canal é de 800 kbit/s, o atraso de propagação (num sentido) é de 20 ms e as tramas de Informação têm um tamanho fixo de 1000 octetos. Considere que são usados 2 bits para numerar as tramas de Informação e que as tramas de controlo têm um tamanho desprezável.
- a) (1,5 valor) Calcule a eficiência máxima do protocolo para as variantes Stop and Wait, Go Back N e Selective Repeat. Calcule também os débitos máximos correspondentes.

$$C = 800 \text{ kbit/s}$$

$$t_f = 20 \text{ ms}$$

	Stop and Wait	Go Back N	Selective Repeat
Eficiência máxima (%)	20	60	40
Débito máximo (kbit/s)	160	480	320

$$L = 1000 \text{ bytes}$$

$$k = 2 \text{ bits}$$

$$t_{\text{frame}} = \frac{L}{C} = \frac{1000 \times 8}{800 \times 10^3} = \frac{10^3}{10^5} = 10 \text{ ms} \quad a = \frac{t_f}{t_{\text{frame}}} = 2 \quad 1+2a = 5 \quad S = \frac{W}{1+2a} \quad R = SC$$

$$\text{SW: } S = \frac{1}{5} = 20\% \quad R = 0,2 \times 800 = 160 \text{ kbit/s}$$

$$\text{GBN: } W = 2^k - 1 = 2^2 - 1 = 4 - 1 = 3 \quad S = \frac{3}{5} = 60\% \quad R = 0,6 \times 800 = 480 \text{ kbit/s}$$

$$\text{SR: } W = 2^{k-1} = 2^{2-1} = 2^1 = 2 \quad S = \frac{2}{5} = 40\% \quad R = 0,4 \times 800 = 320 \text{ kbit/s}$$

- b) (1,5 valor) Pretende-se analisar o efeito dos erros de transmissão e do tamanho das tramas de Informação. Considere tramas com tamanhos 1000 e 2000 octetos e uma situação de ruído caracterizada por Bit Error Ratio **BER=10⁻⁴**. Calcule a eficiência máxima dos três mecanismos para estes casos e discuta o comportamento destes mecanismos face ao aumento do tamanho das tramas

S _{max} (%)	Stop and Wait	Go Back N	Selective Repeat
L = 1000 octetos	9,0	12,8	18,0
L = 2000 octetos	6,7	7,8	13,5

$$\boxed{\begin{aligned} FER &= \\ &1 - (1 - BER)^n \end{aligned}}$$

$$FER = 1 - (1 - 10^{-4})^{1000 \times 8} = 1 - 0,449 = 0,551$$

$$t_{\text{frame}}' = \frac{L'}{C} = \frac{2000 \times 8}{800 \times 10^3} = 20 \text{ ms}$$

$$a' = \frac{t_f}{t_{\text{frame}}'} = \frac{20}{20} - 1$$

Nota de resolução:

- Comprimentos L diferentes originam FER's diferentes, T_{frame}' s diferentes e a's diferentes

$$\text{SW: } S = \frac{1 - FER}{1 + 2a} = \frac{0,449}{5} = 9,0\% \quad S' = \frac{0,202}{3} = 6,7\%$$

$$\text{GBN: } W = 3 < 5 = 1 + 2a \rightarrow S = \frac{W(1 - FER)}{(1 + 2a)(1 - FER + WFER)} = \frac{3 \times 0,449}{5 \times (0,449 - 3 \times 0,551)} = 12,8\%$$

$$W = 3 > 3 = 1 + 2a' \rightarrow S = \frac{1 - FER'}{1 + 2a' FER'} = \frac{0,202}{1 + 2 \times 1 \times 0,798} = 7,8\%$$

$$\text{SR: } W = 2 < 5 = 1 + 2a \rightarrow S = \frac{W(1 - FER)}{1 + 2a} = \frac{2 \times 0,449}{5} = 18\%$$

$$W = 2 > 3 = 1 + 2a' \rightarrow S = \frac{W(1 - FER)}{1 + 2a'} = \frac{2 \times 0,202}{3} = 13,5\%$$

Nome:

- c) (1 valor) Suponha que se pretendia fazer uma ligação para um satélite localizado a 30 000 km de altitude com um débito de 100 kbit/s. Para a eficiência máxima, tramas de 1000 octetos e transmissão feita num canal de 20kHz, qual seria número mínimo de bits necessários para numerar as tramas e qual seria a relação sinal-ruído (SNR – Signal to Noise Ratio) necessária no receptor, em dB. A velocidade da luz é de 3×10^8 m/s.

Número de bits, k	3
SNR (dB)	15

Notas de resolução:

- Se SNR for elevado, BER~0 e FER~0
- GBN e SR podem atingir eficiências $S=I$ se $W >= I+2a$
- Sendo Débito = $S * \text{Capacidade}$, se $S=I$ então Capacidade = Débito
- A lei de Shannon dá-nos a capacidade máxima de um canal sem erros, atingível pelas tecnologias mais recentes: $C = B_c \log_2 (1+SNR)$; neste caso $B_c = 20$ kHz
- $SNR_{dB} = 10 \log_{10}(SNR)$

$$T_f = \frac{d}{v} = \frac{30 \times 10^6}{3 \times 10^8} = 0,1 \text{ s} = 100 \text{ ms} \quad T_f = \frac{L}{R} = \frac{1000 \times 8}{100 \times 10^3} = 0,08 \text{ s} = 80 \text{ ms}$$

$$a = \frac{T_f}{T_f} = \frac{100}{80} = 1,25 \quad 1+2a = 1+2,5 = 3,5 \quad W > 1+2a \Leftrightarrow W > 3,5 \Leftrightarrow W = 4$$

$$\begin{aligned} GBN: \quad W &= 2^k - 1 & 4 = 2^k - 1 \in 2^k - 5 \rightarrow k = 3 \\ SR: \quad W &= 2^{k-1} & 4 = 2^{k-1} \in k = 3 \end{aligned}$$

$$C = B_c \log_2 (1+SNR) \quad 100 \times 10^3 = 20 \times 10^3 \times \log_2 (1+SNR) \Leftrightarrow 2^5 = 1+SNR \Leftrightarrow SNR = 31$$

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} (31) = 15 \text{ dB}$$

2. Através de uma porta de saída de um comutador de tramas é encaminhado tráfego recebido em 8 portas de entrada. Admita que a porta de saída tem uma capacidade de 100 Mbit/s e que todas as portas de entrada contribuem com fluxos de tráfego iguais.

- a) (1 valor) Admitindo que poderemos usar uma fila M/M/1 para modelizar a porta de saída e que as tramas têm um comprimento médio de 500 Bytes, calcule o débito máximo de cada fluxo de entrada para que a porta de saída tenha uma utilização inferior a 90%. Calcule também o tempo médio de espera dos pacotes (T_w) e a ocupação média da fila de espera (N_w).

$$C = 100 \text{ Mbit/s}$$

8 portas

Débito de fluxo na porta de entrada, (Mbit/s)	11,25
Tempo médio de atraso dos pacotes, T_w , (μs)	360
Ocupação média da fila de espera, N_w	8,1

$$L = 500 \text{ bytes}$$

$$P < 0,9$$

$$\lambda = \frac{R}{L} \quad \mu = \frac{C}{L} \quad P = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{R}{C} \quad 0,9 = \frac{R}{100} \Leftrightarrow R = 90 \text{ Mbit/s} \quad \frac{R}{8} = 11,25 \text{ Mbit/s}$$

$$N = \frac{P}{1-P} = \frac{0,9}{0,1} = 9 \quad T_w = \frac{N}{\lambda} = \frac{N}{R/L} = \frac{9}{90/(500 \times 8)} = 400 \text{ μs}$$

$$N_w = N - P = 9 - 0,9 = 8,1 \quad T_w = \frac{N_w}{\lambda} = \frac{8,1}{90/(500 \times 8)} = 360 \text{ μs}$$

Nome:

- b) (1 valor) Admita agora que a fila de espera é finita. Calcule o número mínimo de buffers B associados à fila de espera para que a probabilidade de perda de pacotes seja inferior a 1% nas duas situações seguintes:

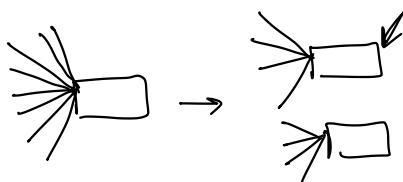
- (i) o tráfego de entrada total é igual a 90% da capacidade da porta de saída;
- (ii) o tráfego de entrada total é igual à capacidade da porta de saída.

---	Situação (i)	Situação (ii)
Nº buffers B	23	99

$$\rho = 0,9 : \quad P(B) = \frac{0,1 \times 0,9^B}{1 - 0,9^{B+1}} = 0,01 \Leftrightarrow \frac{0,9^B}{1 - 0,9^{B+1}} = 0,1 \Leftrightarrow 0,9^B = 0,1 - 0,1 \times 0,9 \times 0,9^B$$

$$\Leftrightarrow 1,09 \times 0,9^B = 0,1 \Leftrightarrow 0,9^B = \left(\frac{0,1}{1,09}\right) \Leftrightarrow B = 22,7 \rightarrow B = 23$$

$$\rho = 1 : \quad P(B) = \frac{1}{B+1} = 0,01 \Leftrightarrow B = 99$$



- c) (1 valor) Admita que o tráfego de entrada da alínea a) duplicava e que as tramas passavam e ter **comprimento constante**. Para suportar este tráfego pretende-se estudar duas situações alternativas:

- (i) duplicar a capacidade da porta de saída;
- (ii) constituir duas VLANs de 4 portas de entradas cada, associando a cada VLAN uma porta de saída de capacidade de 100 Mbit/s.

Para estas duas situações, calcule o tempo médio de atraso dos pacotes (T) e a ocupação média da fila (N). Indique, justificando, qual das duas soluções lhe parece ser a melhor.

	Situação (i)	Situação (ii)
Tempo médio de atraso dos pacotes, T, (μs)	110	220
Ocupação média da fila de espera, N	5	5

$$\lambda^1 = 2\lambda \rightarrow \lambda^1 = 22 = 2 \times \frac{90}{500 \times 8} = 45 \times 10^3 \text{ pac/s} \quad L = 500 \text{ bytes} \rightarrow M/D/I$$

Notas de resolução:

- Comprimento constante dos pacotes → fila M/D/I** $\rightarrow T_w = \frac{\rho}{2\mu(1-\rho)}$
- $T_w = \rho / [2\mu(1-\rho)]$
- Situação (i): $\mu_{(i)} = 2\mu$; $\lambda_{(i)} = 2\lambda$; $\rho_i = \rho$
- Situação (ii): $\mu_{(ii)} = \mu$; $\lambda_{(ii)} = \lambda$; $\rho_{(ii)} = \rho$

$$\mu_1 = 2 \times \mu = 2 \times \frac{100}{500 \times 8} = 50 \times 10^3 \text{ pac/s} \quad \rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{45}{50} = 0,9 \quad T_w = \frac{0,9}{2 \times 50 \times 10^3 \times 0,1} = 0,09 \text{ ms} = 90 \mu\text{s}$$

$$T_w = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{50 \times 10^3} = 0,02 \text{ ms} = 20 \mu\text{s} \quad T = T_w + T_d = 70 + 20 = 110 \mu\text{s} \quad N = T \lambda = 0,11 \times 45 = 5$$

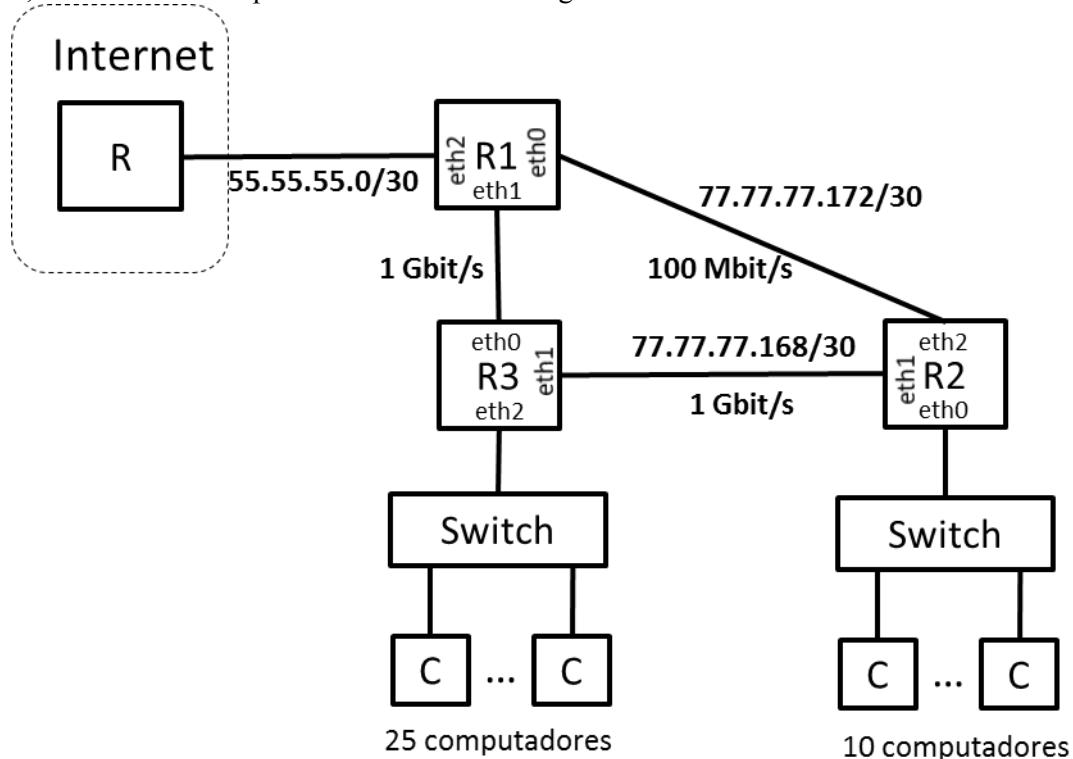
$$\lambda_2 = \frac{\lambda^1}{2} = \lambda = 22,5 \times 10^3 \text{ pac/s} \quad \mu_2 = \frac{100}{500 \times 8} = 25 \times 10^3 \text{ pac/s} \quad \rho = \frac{22,5}{25} = 0,9$$

$$T_w = \frac{0,9}{2 \times 25 \times 10^3 \times 0,1} = 180 \mu\text{s} \quad T_d = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{25 \times 10^3} = 40 \mu\text{s} \quad T = T_w + T_d = 220 \mu\text{s}$$

$$N = T \lambda = 0,22 \times 22,5 = 5$$

Nome:

3. Considere que uma empresa foi atribuído o bloco de endereços IP **77.77.77.128/26**. A empresa tem uma rede de comunicações com a arquitetura descrita na figura, composta por 3 routers (R1, R2, R3) e 2 switches Ethernet. Um dos switches serve 25 computadores e outro serve 10 computadores. Os routers estão interligados por ligações ponto-a-ponto e a algumas destas ligações estão já atribuídos os endereços indicados na figura. As ligações entre os routers R1, R2 e R3 têm as capacidades indicadas nas figuras.



- a) (1 valor) Calcule os endereços associados às redes indicadas. A endereço da rede da ligação R1-R3 deverá ser o mais baixo possível.

	Endereço da subrede (endereço/máscara)	Endereço de broadcast da subrede	Nº de endereços de interfaces
Rede dos 25 computadores	77.77.77.128/27	77.77.77.159	30
Rede dos 10 computadores	77.77.77.176/28	77.77.77.191	14
Rede da ligação R1-R3	77.77.77.160/30	77.77.77.163	2

$$25 \rightarrow k=5 \rightarrow /27$$

$$10 \rightarrow k=4 \rightarrow /28$$

$$77.77.77.128/27$$

$$\underbrace{1}_{1} \underbrace{0}_{0} \underbrace{0}_{0} \underbrace{0}_{0} \underbrace{0}_{0}$$

$$2^n - 2$$

$$R1-R3: 2 \text{ interfaces} \rightarrow k=2 \rightarrow /30$$

$$25: 10\underline{0}00000 \rightarrow 128$$

$$77.77.77.128/27$$

$$10: 10\underline{1}10000 \rightarrow 176$$

$$77.77.77.176/28$$

$$2: 10\underline{1}0\underline{0}00 \rightarrow 160$$

$$77.77.77.160/30$$

$$B_{25}: 10011111 \rightarrow 159$$

$$77.77.77.159$$

$$B_{10}: 10111111 \rightarrow 191$$

$$77.77.77.191$$

$$B_2: 10100011 \rightarrow 163$$

$$77.77.77.163$$

Nome:

- b) (*1 valor*) Atribua endereços IP às interfaces de rede indicadas na tabela. Use os endereços mais baixos de cada sub-rede. Numa sub-rede atribua os endereço mais baixo ao routers de índice Ri mais baixo. Por exemplo, o endereço de R1.eth0 deverá ser inferior ao endereço R2.eth2.

	Interface Router	Endereço IP	
122	R1.eth0	77.77.77.173	77.77.77.173
172	R2.eth2	77.77.77.174	77.77.77.174
176	R2.eth0	77.77.77.177	77.77.77.177
168	R2.eth1	77.77.77.169	77.77.77.169
168	R3.eth1	77.77.77.170	77.77.77.170

- c) (*1 valor*). Escreva a tabela de encaminhamento do **router R2**. Este router deverá ser capaz enviar pacotes para todos os endereços IP unicast e os pacotes deverão ser encaminhados pelos caminhos de custo mais baixo. Assuma que o custo de uma ligação é o inverso ($1/x$) da sua capacidade; por exemplo, a ligação com capacidade de 1 Gbit/s tem um custo de 10^{-9} . Use o **menor número possível de entradas** na tabela.

Destino (endereço/máscara)	Gateway	Interface
77.77.77.176/28	-	eth0
77.77.77.172/30	-	eth2
77.77.77.168/30	-	eth1
0/0	77.77.77.170	eth1
77.77.77.172/30	—	eth2
77.77.77.168/30	—	eth1
77.77.77.176/28	—	eth0
0/0	77.77.77.170	eth1

Exame – Parte 1 (sem consulta, 10 valores, 35 minutos)**Nome:***Cotação:*

- Resposta correta: 1 valor
- Resposta errada: -0,15 valores
- Pontuação mínima possível na Parte 1: 0 valores

*Apenas uma alternativa é verdadeira.**A resposta a uma pergunta será considerada errada se for selecionada mais do que uma alternativa.*

1. Uma rede composta por um conjunto de routers IP interligados entre si constitui

- Uma rede de circuitos virtuais e oferece um serviço orientado às ligações.
- Uma rede de circuitos virtuais e oferece um serviço não orientado às ligações.
- Uma rede de comutação de pacotes e oferece um serviço orientado às ligações.
- Uma rede de comutação de pacotes e oferece um serviço não orientado às ligações.

2. A eficiência de um canal rádio (bit/s/Hz), caracterizável pela lei de Shannon $\log_2(1+\text{SNR})$,

- Aumenta quando a distância entre o emissor e o receptor (d) diminui e é independente da largura de banda do canal (B).
- Aumenta quando d diminui e B diminui.
- É independente de d.
- Nenhuma das anteriores é verdadeira.

$$C = B \log_2 (1 + \text{SNR}) \quad \Leftrightarrow \quad S = \frac{C}{B}$$

3. Se a probabilidade de uma trama ser recebida com erros for F e se esta mesma trama for transmitida L vezes, então a probabilidade da trama ser recebida corretamente é

- ~~F~~ → todas erradas
- $1-F^L$
- $1-(1-F)^L$ ✓
- $1-(1-L)^F$?

 $k=2$

4. Considere o mecanismo ARQ Selective-Repeat estudado nas aulas e usando 2 bits de numeração. Considere também que o funcionamento do Emissor é descrito numa notação em que !I(0).?RR(1) representa a emissão (!) da mensagem I(0) seguida (?) da receção (?) da mensagem RR(1). Após a ocorrência dos eventos !I(0).!I(1), o emissor

- Envia de imediato a mensagem I(0).
- Envia de imediato a mensagem I(2).
- Envia de imediato a mensagem RR.
- Para e espera por receção de uma mensagem de confirmação.

$$W = 2^{k-1} = 2^{2-1} = 2$$

5. Considere uma interface de comunicações de rede modelizável por uma fila de espera M/M/1 caracterizada por uma taxa de chegada de λ pacote/s uma capacidade de C bit/s, que origina um número médio de pacotes na fila N e um atraso médio de T. Se esta fila passar a ser caracterizada por $\lambda' = 10\lambda$ e $C' = 10C$, então, para o mesmo comprimento médio dos pacotes,

- $N=N$ e $T=T$
- $N=N/10$ e $T=T/10$
- $N=N$ e $T=T/10$
- $N=N/10$ e $T=T$

$$\mu = \frac{C}{L} \quad \mu' = 10\mu \quad \lambda' = 10\lambda \quad C' = 10C$$

$$N = N' \quad \checkmark \quad T = \frac{N}{\lambda} \quad T' = \frac{N'}{\lambda'} = \frac{T}{10}$$

$$= \frac{C}{1-\rho}$$

(ver verso)

6. Assuma um cenário composto por 2 computadores A e B implementando o protocolo de acesso ao meio CSMA/CD (Collision Detection), e interligados entre si através de um comutador Ethernet. As portas de rede dos computadores e do comutador funcionam em modo full-duplex. Se o computador A estiver a transmitir uma trama e o computador B também tiver uma trama para transmitir, o computador B

- Escuta até ao fim da transmissão de A e só depois transmite a sua trama.
- Transmite de imediato a sua trama causando uma colisão.
- Transmite de imediato a trama mas só haverá colisão se a trama enviada por A tiver como destino B.
- Transmite de imediato e não haverá colisão.

full-duplex → NÃO HÁ COLISÕES

7. Assuma o seguinte cenário de ligações [A]—0[SW]1—0[RT]1—[B]. Neste cenário, o computador A está ligado à porta 0 do comutador Ethernet SW, a porta 1 do comutador SW está ligada à porta 0 do router RT, e o computador B está ligado diretamente à porta 1 do router RT. Nesta situação, quando o computador B envia um pacote IP para o computador A, os endereços IP e MAC de origem constantes da trama recebida pelo computador A são os seguintes:

- Endereço IP de B, endereço MAC de SW.porta0
- Endereço IP de B, endereço MAC de RT.porta0
- Endereço IP de B, endereço MAC de B.
- Endereço IP de RT.porta0, endereço MAC de SW.porta0.

IP de B
MAC de Port.0

8. Assuma dois computadores ligados à Internet e uma ligação TCP estabelecida entre eles. A distância que separa os computadores é de D, a capacidade mínima da várias ligações atravessadas pelos pacotes é C, o valor médio da janela de congestionamento da ligação TCP é W e o Round Trip Time é R. Nesta situação, o débito médio esperado para esta ligação TCP é de:

- C.
- W/R.
- CR/W.
- WD.

bit/s

9. Que protocolo de transporte (UDP ou TCP) usaria para as seguintes aplicações: A1) obtenção de informação do servidor de nomes DNS; A2) envio de um email; A3) transferência de voz em pacotes.

- A1=UDP; A2=TCP; A3=TCP.
- A1=UDP; A2=TCP; A3=UDP.
- A1=TCP; A2=TCP; A3=UDP.
- Outra combinação.

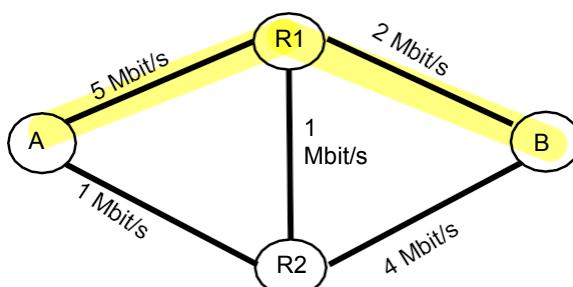
DNS → UDP

SMTP → TCP

VoIP → UDP

10. Admita que 2 nós A e B se encontram interligados através da rede composta pelos comutadores R1 e R2 e pelas ligações bidirecionais com as capacidades indicadas na figura. Assumindo que o custo das ligações é inversamente proporcional ao valor da sua capacidade e que todos os pacotes enviados de A para B seguem o caminho de custo mínimo, o débito máximo possível entre A e B é de

- 1 Mbit/s
- 2 Mbit/s
- 4 Mbit/s
- 5 Mbit/s



$$A. SR \quad C = 2 \text{ Mbit/s} \quad T_{\text{prop}} = 250 \text{ ms} \quad L = 250 \text{ bytes}$$

$$M = 64 \quad BER = 10^{-4}$$

$$FER = 1 - (1 - BER)^n = 1 - (1 - 10^{-4})^{250 \times 8} = 0,1813$$

$$11. T_f = \frac{L}{C} = \frac{250 \times 8}{2 \times 10^6} = 1 \text{ ms} \quad a = \frac{T_f}{T_f} = 250 \quad 1+2a = 501$$

$$M = \{0, \dots, 63\} \rightarrow k = 6 \text{ bits} \quad W = 2^{k-1} = 2^{6-1} = 2^5 = 32$$

$$W = 32 < 501 = 1+2a \rightarrow S = \frac{W(1-FER)}{1+2a} = \frac{32 \times (1 - 0,1813)}{501} = 5,23\%$$

$$R = SC = 0,0523 \times 2 = 105 \text{ kbit/s}$$

$$12. S = 100\% \rightarrow W \geq 1+2a = 501 \rightarrow W = 512,$$

$$13. L = 1,3 \times L = 325 \text{ bytes} \quad FER = 0,05$$

$$T_f = 1,3 \text{ ms} \quad a = \frac{T_f}{T_f} = \frac{250}{1,3} = 192,3 \quad 1+2a = 385,6$$

$$W = 32 < 385,6 = 1+2a \rightarrow S = \frac{W(1-FER)}{1+2a} = \frac{32 \times 0,95}{385,6} = 7,88\%$$

$$R = SC = 0,0788 \times 2 = 157,6 \text{ kbit/s}$$

$$R_{\text{util}} = \frac{R}{1,3} = \frac{157,6}{1,3} = 121 \text{ kbit/s}$$

$$B. M/M/1 \quad \lambda = 600 \text{ pac/s} \quad L = 1500 \text{ bytes} \quad \rho = 0,60$$

$$14. N = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,6}{0,4} = 1,5 \quad T = \frac{N}{\lambda} = \frac{1,5}{600} = 2,5 \text{ ms}$$

$$15. B=1 \quad P(B) = \frac{(1-\rho)^B}{1-\rho^{B+1}} - \frac{0,40 \times 0,60}{1-0,6^2} = 0,375 \approx 0,38$$

$$16. M/D/1 \quad L = 1500 \text{ bytes} \quad \lambda = 600 \text{ pac/s} \quad \rho = \frac{\lambda}{\mu} @ \mu = \frac{\lambda}{\rho}$$

$$\mu = \frac{600}{0,6} = 1000 \text{ pac/s} \quad T_w = \frac{\rho}{2\mu(1-\rho)}$$

$$T_w = \frac{0,6}{2 \times 1000 \times 0,4} = 0,75 \text{ ms} \quad N_w = T_w \lambda = \frac{0,75 \times 600}{1000} = 0,45$$

$$C. 77.77.77.64/26 \quad .64 = 0100\ 0000$$

$$\begin{array}{l} \text{VLAN 1: } 4 \rightarrow 3 \text{ bits} \rightarrow /29 \rightarrow .01|001|000/29 \rightarrow .72 \\ \text{VLAN 2: } 10 \rightarrow 4 \text{ bits} \rightarrow /28 \rightarrow .01|01|000/28 \rightarrow .80 \\ \text{VLAN 3: } 28 \rightarrow 5 \text{ bits} \rightarrow /27 \rightarrow .01|10000/27 \rightarrow .96 \end{array}$$

$$17. 77.77.77.96/27$$

$$18. 0101,1111 = .95 \rightarrow 77.77.77.95$$

$$19. 01001110 = .78 \rightarrow 77.77.77.78$$

$$20. R1. eth1 \rightarrow .65 \rightarrow 77.77.77.65$$

PLNTA

5	A
4	T
3	N
2	L
1	P

Pergunta 1

Por responder Pontuação 1,00

A TCP/IP communications stack uses multiple addresses. The following addresses are valid for Layer 2 (L2), Layer 3 (L3) and Layer 4 (L4)

- a. These addresses are not valid.
- b. L2 = 2001:81a0 :: e0f3:d47f:6a3f:a191 L3 = fa:16:3e:e0:ec:a3 L4 = 80
- c. L2 = 2001:81a0 :: e0f3:d47f:6a3f:a191 L3 = 80 L4 = fa:16:3e:e0:ec:a3
- d. L2 = fa:16:3e:e0:ec:a3 L3 = 2001:81a0 :: e0f3:d47f:6a3f:a191 L4 = 80

LIGAÇÃO	REDE	TRANSPORTE
MAC	IPv6	PORTO

Pergunta 2

Por responder Pontuação 1,00

The capacity of a radio channel is given by $C = A \cdot \log_2(1 + P_r/N)$, where A is a constant, P_r is the power received, and N is the noise power. Let's assume that the power transmitted $P_t = 1000 \cdot P_r$. If $N = 1 \text{ mW}$ and a capacity $C = 2 \cdot A \text{ bit/s}$ is required, then the transmitted power should be

- a. $P_t = 1 \text{ mW}$.
- b. $P_t = 1 \text{ W}$.
- c. $P_t = 3 \text{ W}$.
- d. $P_t = 3 \text{ mW}$.

$$2A = A \log_2(1 + P_r/N)$$

$$\Leftrightarrow 4 = 1 + P_r \Leftrightarrow P_r = 3 \text{ mW} \rightarrow P_t = 3 \text{ W}$$

Pergunta 3

Por responder Pontuação 1,00

Consider the ARQ Go-Back-N mechanism using $W = 7$. The receiver behaviour is described using the notation $?I(0).!RR(1)$ representing the reception (?) of message $I(0)$ followed (.) by the transmission (!) of message $RR(1)$. A receiver characterized by $?I(0).!RR(1).?I(1).?I(2).?I(4)$ could continue operating as follows

- a. $?REJ(3).?I(5).?I(3).!RR(4)$
- b. $?REJ(3).?I(5).?I(3).!RR(6)$
- c. $?REJ(3).?I(5).!REJ(3).?I(3).!RR(6)$
- d. $?REJ(3).?I(5).!REJ(3).?I(3).!RR(4)$

$?REJ(3).?I(5).?I(3).!RR(4)$

Pergunta 4

Por responder Pontuação 1,00

Consider a $M/D/1$ waiting queue characterized by an arrival rate of $\lambda \text{ pac/s}$, a service rate of $\mu \text{ pac/s}$ and an average waiting time T_w (no service time included). The average number N of packets in the queue (waiting plus in service) is

- a. None of the answers is correct.
- b. $\lambda \cdot T_w$.
- c. $\lambda \cdot T_w + \lambda/\mu$.
- d. $\lambda \cdot T_w + 1/\mu$.

$$N = \lambda T_w + \lambda/\mu = N_w + N_s$$

Pergunta 5

Por responder Pontuação 1,00

A CSMA/CD network has a maximum propagation delay $T_p = 10 \mu s$. If a frame has a transmission time $T_f = 100 \mu s$ then the frame will be vulnerable (possibility of a collision occurrence) from the point of view of the sender during

- a. $20 \mu s$.
- b. $100 \mu s$.
- c. $10 \mu s$.
- d. $200 \mu s$.

$$T_{slot} = 2 T_{prop}$$

Pergunta 6

Por responder Pontuação 1,00

The transport layer protocols use several control mechanisms, including Flow Control. The TCP's flow control main goal is to

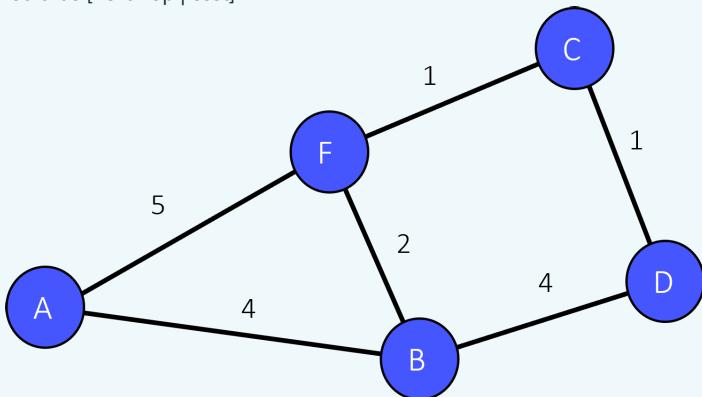
- a. decrease the impact on congestion from the receiver.
- b. tune the receiver's reception to the sender's output debit.
- c. decrease the impact on congestion from the sender.
- d. tune the sender's output debit to the receiver's reception.

COMANDO DE FLUXO
↓
ajuste sobre carga do receptor

Pergunta 7

Por responder Pontuação 1,00

Assume the image below, where nodes are routers and the links that interconnect them have the costs labelled. In this network the routers use a distance vector protocol to find the best routes. For router A the entry on the forwarding table for reaching router D, would be [next hop | cost]



$A \rightarrow F \rightarrow C \rightarrow D$

$[F, ?]$

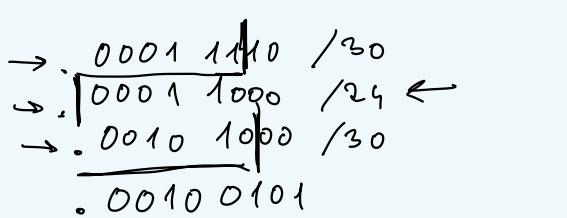
- a. $[F | 7]$.
- b. $[B | \infty]$.
- c. $[B | 8]$.
- d. $[F-C-D | 7]$.

Pergunta 8

Por responder Pontuação 1,00

A router has the following forwarding table. To what interface would it forward a packet with destination **193.35.246.37**

Destination	Mask	Interface
193.35.246.30	/30	eth0
193.35.246.0	/24	eth1
193.35.246.40	/30	eth2



- a. eth2.
- b. eth0.
- c. none as there is no route that matches.
- d. eth1.

Pergunta 9

Por responder Pontuação 1,00

PRI **PVB**

Assume that the NAT table of a router has the following entry < (10.0.1.4, 8080), (140.76.29.6, 80) >. The private network has the address 10.0.0.0/16 and there is an HTTP server running on host 10.0.1.4 on port 8080. In this situation, if the server sends a reply to a request from the public network, it will have the following source IP address and port number, on the public network

- a. IP=10.0.1.4, Port= 8080.
- b. the IP address and TCP port of the host in the public network contacting the server.
- c. IP=140.76.29.6, Port= 8080.
- d. IP=140.76.29.6, Port= 80.

$$IP_0 = 140.76.29.6$$

$$PORT_0 = 80$$

Pergunta 10

Por responder Pontuação 1,00

The Domain Naming Service (DNS) is a facility that enables the translation of

- a. a MAC address to an IP address.
- b. an IPv6 address to an IPv4 address.
- c. a hostname to an IP address.
- d. an IP address to a MAC address.

Pergunta 11

Por responder Pontuação 1,00

Two computers communicate using a Selective Repeat ARQ mechanism. The channel capacity in each direction is 300 kbit/s , the propagation delay (in one direction) is 12 ms and Information frames have a fixed size of 150 Bytes . In these conditions the smallest number of bits required for coding sequence numbers so to obtain the maximum efficiency is $K = 4$.

Pergunta 12

Por responder Pontuação 1,00

$$FER = 1 - (1 - BER)^m = 1 - (1 - 10^{-3})^{150 \times 8} = 1 - 0,3 = 0,7$$

In the same conditions of the previous question ($ARQ SR$, $C = 300 \text{ kbit/s}$, $T_p = 12 \text{ ms}$ and $L = 150 \text{ Bytes}$), let's now assume that the channel has a Bit Error Ratio $BER = 10^{-3}$ and $K = 2$. In these conditions, the maximum protocol efficiency is

$$S = 8,6\% \quad W = 2^{K-1} = 2^{2-1} = 2 \quad \gamma = 1+2a \rightarrow S = \frac{W(1-FER)}{1+2a} = \frac{2 \times 0,3}{2} = 0,6 = 8,6\%$$

$$SR \quad C = 300 \text{ kbit/s} \quad T_f = 12 \text{ ms} \quad L = 150 \text{ bytes} \quad T_f = \frac{L}{C} = \frac{150 \times 8}{300} = 4 \text{ ms}$$

$$a = \frac{T_f}{T_p} = 3 \quad 2a + 1 = 7 \quad W \geq 1+2a = 7 \rightarrow W = 8 = 2^{K-1} \rightarrow K = 4$$

Pergunta 13

Por responder Pontuação 1,00

In the same conditions of the previous questions ($C = 300 \text{ kbit/s}$, $T_p = 12 \text{ ms}$, $L = 150 \text{ Bytes}$ and $BER = 10^{-3}$), let's now assume that we use the Stop and Wait ARQ mechanism configured with a single retransmission. In this situation, the probability of an Information frame be successfully received (considering transmission and retransmission) is $\text{FEP} = 0,7$

$$P[\text{Success}] = 51 \% \quad P = 1 - 0,7^2 = 1 - 0,49 = 0,51$$

Pergunta 14

Por responder Pontuação 1,00

$$\lambda = 900 \text{ pac/s} \quad L = 10^3 \text{ bytes} \quad p = 0,9$$

A transmission link is modelled by a $M/M/1$ queue. The queue mean arrival rate is 900 packet/s and the mean packet length is 10^3 Bytes . The link is idle (not transmitting packets) 10 % of the time. According to this model, the link has a capacity of

$$C = 8 \text{ Mbit/s.} \quad \rho = \frac{\lambda}{\mu} \rightarrow \mu = \frac{900}{0,9} = 1000 \text{ pac/s} \quad C = \mu L = 1000 \times 10^3 \times 8 = 8 \text{ Mbit/s}$$

Pergunta 15

Por responder Pontuação 1,00

The probability of this queue having two or more packets is $P(n) = \rho^n (1-\rho)$

$$P[2 \text{ or more packets}] = 81 \%$$

$$1 - P(0) - P(1) = 1 - 0,1 - 0,9 \times 0,1 = 81 \%$$

Pergunta 16

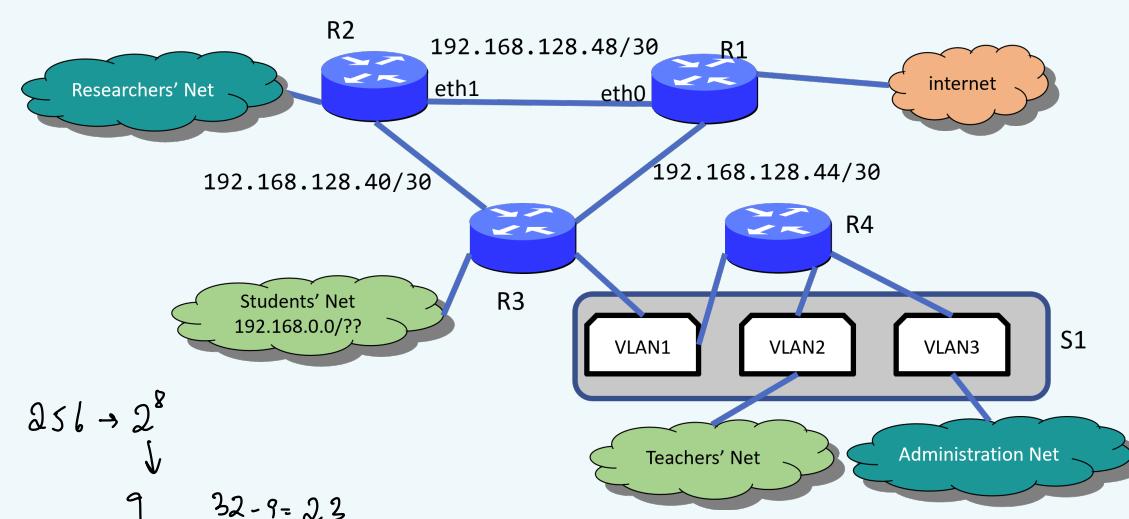
Por responder Pontuação 1,00

If this queue has a capacity of 3 buffers and packets have a constant length of 10^3 Bytes ($M/D/1/3$ queue), the maximum packet waiting time is

$$T_{wMax} = 2 \text{ ms.} \quad B=3 \quad L = 10^3 \text{ bytes} \quad \uparrow \text{max} \rightarrow T_w = 2 \quad T_d = 2 \times \frac{1}{\mu} = 2 \times \frac{1}{1000} = 2 \text{ ms}$$

Pergunta 17

Por responder Pontuação 1,00



A research school has the communication network illustrated in the figure. It uses private IP addresses for its internal network, as it has several machines and cannot afford public IP addresses for all of them. It is composed by 4 routers (R1, R2, R3, R4), interconnected through point-to-point links as shown. It has a switch S1 with 3 VLANs configured (VLAN1, VLAN2, VLAN3). Knowing that the students' network will have no more than 256 hosts, what is the size of the mask to use? (use the format /30)

Resposta: The network needs less than or equal to 256. A /24 network has 254 valid IP addresses, thus we need an extra bit for the 256. The network mask should be /23.

Pergunta 18

Por responder Pontuação 1,00

$192.168.0.0/23 \rightarrow 00000001.11111111$

The broadcast address of the student's network is (use the format 199.199.199.199) $192.168.1.255$

Resposta: As we chose a /23 network, we have 9 bits for the machines' IP addresses. Thus the broadcast address is all 1 on thesees nine bits=> **192.168.1.255**

Pergunta 19

Por responder Pontuação 1,00

$R1.\text{eth}0 \rightarrow .128.48/30 \rightarrow .0011\ 0010$

$.0011\ 0010|10 \rightarrow .50$

The highest IP address of network interface eth0 of R1 is (do not indicate the mask)

Resposta: The network between R1 and R2 uses a /30 mask. It thus allows 2 IP addresses for machines, one broadcast and the network itself. Thus, we have .49 and .50. This highest is **192.168.128.50**

$192.168.128.50$

Pergunta 20

Por responder Pontuação 1,00

The default gateway of a computer in the Teacher's network is (use just the letter number, example S1)

$R4$

Resposta: The teacher's network has to have a default router on its IP network. Only router R4 is on the network. It itself will connect to other routers (namely R3), but for the teacher's network the default gateway is **R4**.

Pergunta 1

Incorreta Pontuou 0,10 de 1,00 Destacar pergunta

The transport layer receives a service from the IP network layer that

- a. guarantees delivery of all packets but not their correct sequence.
- b. guarantees delivery of all packets in the correct sequence.
- c. does not guarantee delivery of all packets but guarantees the sequence of packets delivered.
- d. does not guarantee the delivery of all packets nor their sequence.



datagrama

não garante nada



A resposta correta é: does not guarantee the delivery of all packets nor their sequence.

Pergunta 2

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

If a 16QAM modulation (16-point constellation) is used for data transmission and a rate of 10 ksymbol/s (10 kbaud) is delivered, the bitrate obtained is

- a. 30 kbit/s.
- b. 20 kbit/s.
- c. 10 kbit/s.
- d. 40 kbit/s.

$$16\text{QAM} \rightarrow 2^4 \rightarrow 4 \text{ bits} \quad 4 \times 10 = 40 \text{ kbit/s}$$



A resposta correta é: 40 kbit/s.

Pergunta 3

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

If a data frame has a length of L bits and the probability that a bit is received in error is B, the probability that the frame is received in error is

- a. $1 - (1 - B)^L$
- b. B^L
- c. $1 - (1 - L)^B$
- d. L^B

$$FER = 1 - (1 - BER)^L$$



A resposta correta é: $1 - (1 - B)^L$

Pergunta 4

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

Consider the ARQ Go-Back-N mechanism using a window W=3. The receiver's behaviour is described in a notation in which ?I(0).!RR(1) represents the reception (?) of the I(0) message followed (.) by the transmission (!) of the RR(1) message. After the occurrence of the events ?I(0).!RR(1).?I(1).!RR(2).?I(3), the receiver

- a. Discards the received I(3) message and transmits RR(2).
- b. Discards the received I(3) message and transmits REJ(2).
- c. Stores the received I(3) message and sends REJ(2) to the sender.
- d. Stores the received I(3) message but does not transmit REJ nor RR.



A resposta correta é: Discards the received I(3) message and transmits REJ(2).

Pergunta 5

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

In the MAC protocol CSMA/CD (carrier sensing, collision detection), when a transmitting station detects a collision, this station

- a. Aborts the frame transmission and retransmits the frame after waiting a random number of timeslots.
- b. Continues to transmit the frame until the end and retransmits the frame in the next timeslot.
- c. Aborts the frame transmission and retransmits the frame in the next timeslot.
- d. Continues to transmit the frame until the end and retransmits the frame after waiting a random number of timeslots.



A resposta correta é: Aborts the frame transmission and retransmits the frame after waiting a random number of timeslots.

Pergunta 6

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

The Identification (ID) field of the IP header is used to

- a. specify the virtual circuit (VC) that the IP packet belongs to.
- b. select the appropriate entry in the NAT table.
- c. perform fragmentation and reassembly of IP datagrams.
- d. select the socket at the receiver where data in the packet should be delivered.



A resposta correta é: perform fragmentation and reassembly of IP datagrams.

Pergunta 7

Incorrecta Pontuou -0,10 de 1,00 Retirar destaque

At a given instant, when the congestion window of a TCP connection is 1000 segments, a timeout occurs, indicating the loss of a packet. The sender reacts by

- a. setting the congestion window to 500 segments and the slow start threshold to 750 segments.
- b. setting the congestion window to 1 segment and the slow start threshold to 500 segments.
- c. setting the congestion window to 500 segments and the slow start threshold to 1000 segments.
- d. setting both the congestion window and the slow start threshold to 500 segments.

$$th = \frac{1000}{2} = 500$$



$$Cw = 1$$

A resposta correta é: setting the congestion window to 1 segment and the slow start threshold to 500 segments.

Pergunta 8

Incorrecta Pontuou -0,10 de 1,00 Destacar pergunta

The flow control function of TCP is based on

- a. the sender inferring that the receiver is overwhelmed when no ACKs are received.
- b. the receiver informing the sender of how much free space for new data it has in the receiving buffer.
- c. the receiver informing the sender of the maximum bit rate at which it may send data.
- d. the use of a flag in the TCP header for the receiver to tell the sender to temporarily stop sending data.



A resposta correta é: the receiver informing the sender of how much free space for new data it has in the receiving buffer.

Pergunta 9

Incorrecta Pontuou -0,10 de 1,00 Destacar pergunta

A router receives a packet with destination IP address 23.45.67.89. Its routing table consists of the following entries $\{<23.45.67.18/25, 0.0.0.0>, <23.45.64.0/24, 23.45.67.129>, <0.0.0.0/0, 23.45.67.130>\}$, where each entry is in the format < networkAddress/prefixLength, gateway >.

The router delivers the packet

23.45.67.130

- a. directly to the destination terminal (23.45.67.89).
- b. to its neighbor router with IP 23.45.67.130.
- c. to its neighbor router with IP 0.0.0.0.
- d. to its neighbor router with IP 23.45.67.129.

✗

A resposta correta é: to its neighbor router with IP 23.45.67.130.

Pergunta 10

Incorrecta Pontuou -0,10 de 1,00 Retirar destaque

A browser uses HTTP 1.1 with persistent connections and pipelining to obtain, from a web server, an HTML page with 5 images. The time it takes to download this page is the total transmission time of the HTML file and the 5 images plus

- a. 3 round-trip times.
- b. 7 round-trip times.
- c. 6 round-trip times.
- d. 12 round-trip times.

$\frac{t}{HTTP}$
INFO

✗

A resposta correta é: 3 round-trip times.

Pergunta 11

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

$$C = 1 \text{ Mbit/s} \quad T_f = 18 \text{ ms} \quad L = 750 \text{ bytes} \quad k = 3$$

SR

Two stations communicate using a Selective Repeat ARQ mechanism. The channel capacity in each direction is 1 Mbit/s, the propagation delay in each direction is 18 ms and the information frames have a fixed size of 750 Bytes. Assume that 3 bits are used to number the Information frames and that the control frames have a negligible size. Let us also assume BER=0. In this scenario the maximum throughput (débito) is

$$T_{max} = 571,4 \text{ ms} \quad W = 2^{k-1} = 2^2 = 4 \quad T_f = \frac{L}{C} = \frac{750 \times 8}{1} = 6 \text{ ms} \quad R = \frac{4}{7} \times 1 = \\ \text{Resposta correta: } 570 \quad a = \frac{T_f}{T_f} = \frac{18}{6} = 3 \quad 2a+1 = 7 \quad W(1+2a) \rightarrow S = \frac{W}{1+2a} = \frac{4}{3} = 571 \text{ kbit/s}$$

Pergunta 12

Incorrecta Pontuou 0,00 de 1,00 Destacar pergunta

For the above situation, consider the sender has a block of 75 kBytes of data to transmit. The time required to send this data block, until the last acknowledgment is received by the sender, is

$$T_{send} = 618 \text{ ms} \quad t = \frac{75 \times 10^3 \times 8}{571,4} = 1050 \text{ ms}$$

Resposta correta: 1050

Pergunta 13

Incorrecta Pontuou 0,00 de 1,00 Destacar pergunta

$$L = 100 \text{ bytes}$$

Assuming a frame size of 100 Bytes, a Bit Error Ratio $BER = 10^{-4}$ and any number of bits for numbering the Information frames, the maximum efficiency possible for this situation is

$$S = 67 \text{ %}$$

$$FER = 1 - (1 - BER)^n = 1 - (1 - 10^{-4})^{100 \times 8} = 1 - 0,92 = 0,08$$

$$T_f = 18 \text{ ms} \quad T_f = \frac{L}{C} = \frac{100 \times 8}{1} = 0,8 \text{ ms}$$

Resposta correta: 92

$$a = \frac{18}{0,8} = 22,5 \quad 1 + 2a = 1 + 45 = 46$$

$$W(1+2a) = 46 \rightarrow S = 1 - FER = 92 \%$$



Pergunta 14

Incorreta Pontuou 0,00 de 1,00 Destacar pergunta

$$M/M/1 \quad \lambda = 120 \text{ pac/s}$$

An output port of a router is modeled by a M/M/1 queue. In average, 120 pac/s are transmitted through this port. The packets have an average length of 1500 Bytes. The link associated with the port has an utilization of 80 %. In these conditions, the average packet delay is

$$T = 41,7 \text{ } 32 \times \text{ ms.}$$

$$\mu = \frac{120}{0,8} = 150 \quad N = \frac{0,8}{0,2} = 4 \quad \text{L-1500 bytes} \quad \rho = 0,8 \quad \rho = \frac{2}{\mu}$$

Resposta correta: 33

$$\lambda = \frac{N}{T} \Leftrightarrow T = \frac{4}{120} = 33 \text{ ms}$$

Pergunta 15

Incorreta Pontuou 0,00 de 1,00 Destacar pergunta

For the same output port capacity and the same transmission rate of 120 pac/s, if the average packet length becomes 500 Bytes, the time required to transmit a packet (not including the waiting time in the queue) becomes

$$T_s = 8,3 \text{ } 2 \times \text{ ms.}$$

$$\mu = \frac{C}{T_s} \Leftrightarrow C = 150 \times 1500 = 225 \text{ Kbytes/s}$$

Resposta correta: 2

$$\mu' = \frac{225 \times 10^3}{500} = 450 \text{ pac/s} \quad T_s = \frac{1}{\mu'} = \frac{1}{450} = 2,2$$

Pergunta 16

Incorreta Pontuou 0,00 de 1,00 Destacar pergunta

For the situation of Question 14, if all the packets have the same constant length of 1500 Bytes, the average waiting time of a packet in the queue is

$$T_w = 33,3 \text{ } 13 \times \text{ ms.}$$

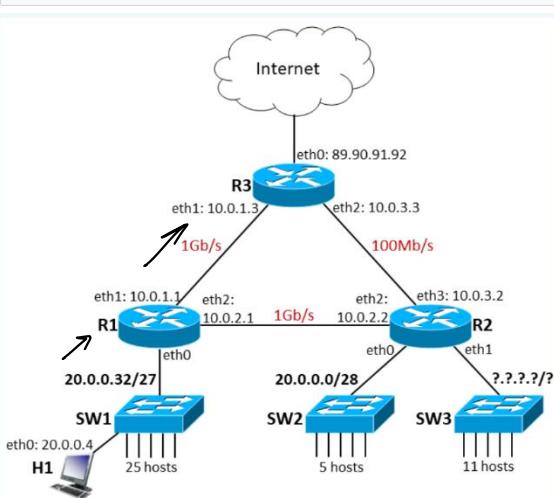
$$M/D/1 \quad L-1500$$

$$T_w = \frac{0,8}{2 \times 150 \times 0,2} = 13 \text{ ms}$$

Resposta correta: 13

Pergunta 17

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta



$$11 \rightarrow 13 \text{ bits } \lceil 16 - 2^4 \rightarrow 4 \text{ bits } \rightarrow /28$$

$$\begin{array}{r} \text{SW1: } /27 \rightarrow .32 = \underline{0} \quad \underline{0} \quad \underline{1} \quad \underline{0} \quad \underline{0} \quad \underline{0} \quad \underline{0} \\ \text{SW2: } /28 \rightarrow .0 = \underline{0} \quad \underline{0} \quad \underline{0} \quad \underline{1} \quad \underline{0} \quad \underline{0} \quad \underline{0} \\ \text{SW3: } /28 \rightarrow .? = \underline{0} \quad \underline{0} \quad \underline{1} \quad \underline{0} \quad \underline{0} \quad \underline{0} \quad \underline{0} \end{array}$$

. 0010 0000

. 0000 0010

The figure shows a diagram of the network of a company, containing three routers (R1, R2, R3) and three ethernet switches (SW1, SW2, SW3). The company bought the public IP address block 20.0.0.0/25 for assigning addresses to the LANs corresponding to each switch, which is a work in progress. What network address and prefix length must be assigned to the LAN of switch SW3? Use the format a.b.c.d/n, or "impossible" if no feasible assignment can support the 11 hosts.

Resposta: 20.0.0.16/28

20.0.0.16 /28



Resposta correta: 20.0.0.16/28

Pergunta 18

Correta

Pontuou 1,00 de 1,00

Destacar pergunta

R2. eth0 = 20.0.0.0000 | 1110 /28

The highest possible address that can be assigned to interface eth0 of R2 is (use format a.b.c.d)

Resposta: 20.0.0.14

20.0.0.14



94

Resposta correta: 20.0.0.14

Pergunta 19

Correta

Pontuou 1,00 de 1,00

Destacar pergunta

Considering that shortest path routing is used and the cost of a link is inversely proportional to its capacity, the default gateway of router R2 should be (use format a.b.c.d)

Resposta: 10.0.2.1

10.0.2.1

R1 → 10.0.2.1.



Resposta correta: 10.0.2.1

Pergunta 20

Correta

Pontuou 1,00 de 1,00

Destacar pergunta

When host H1 sends a packet to a server on the Internet and R1 forwards that packet to R3, the source IP and MAC addresses of the forwarded packet are, respectively,

- a. 20.0.0.4 and the MAC address of H1's eth0
- b. 20.0.0.4 and the MAC address of R1's eth1
- c. 10.0.1.1 and the MAC address of H1's eth0
- d. 10.0.1.1 and the MAC address of R1's eth1

IP = 20.0.0.4

MAC = R1. eth1



A resposta correta é: 20.0.0.4 and the MAC address of R1's eth1

Pergunta 1

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

The transport protocol TCP (Transmission Control Protocol) receives from the IPv6 network layer

- a. A connectionless unreliable service.
- b. A connection-oriented reliable service.
- c. A connectionless reliable service.
- d. A connection-oriented unreliable service.

A resposta correta é: A connectionless unreliable service.

Pergunta 2

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

Assume a data transmission of 8 ksymbol/s. If we aim to transmit 32 kbit/s using a phase modulation, we must use a number of phases equal to

- a. 32000.
- b. 16.
- c. 4.
- d. 8000.

$$8 \times 32 = 2^4 \times 2^4 = 16$$

A resposta correta é: 16.

Pergunta 3

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

Assume a transmission system using **bit stuffing**. The FLAG is 0x7E (represented in binary by 01111110 or 01^60). ESC is the escape character. During the transmission of the frame information field, the following substitution is made:

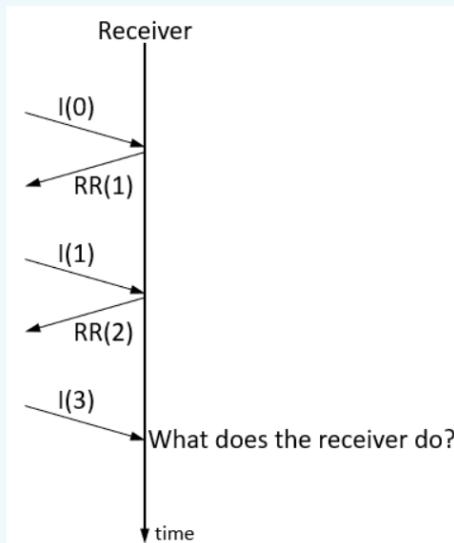
- a. $FLAG \rightarrow ESC\ ESC$
- b. $1^6 \rightarrow 1^60$
- c. $1^5 \rightarrow 1^50$
- d. $FLAG \rightarrow ESC\ FLAG$

$$1^5 \rightarrow 1^50$$

A resposta correta é: $1^5 \rightarrow 1^50$

Pergunta 4

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta



Consider the ARQ Go-Back-N mechanism using a window W=3. The receiver's behaviour is described in a notation in which $?I(0).!RR(1)$ represents the reception (?) of the $I(0)$ message followed (.) by the transmission (!) of the $RR(1)$ message. After the occurrence of the events $?I(0).!RR(1).?I(1).!RR(2).?I(3)$, the receiver

- a. Discards the received I(3) message and transmits REJ(2).
- b. Discards the received I(3) message and transmits REJ(2). ✓
- c. Stores the received I(3) message and sends REJ(2) to the sender.
- d. Stores the received I(3) message but does not transmit REJ nor RR.

A resposta correta é: Discards the received I(3) message and transmits REJ(2).

Pergunta 5

Correta

Pontuou 1,00 de 1,00

Destacar pergunta

When a frame is received by an Ethernet Switch and the forwarding table **does not contain** an entry for this frame, the Switch

- a. Forwards the frame based on its source MAC address.
- b. Forwards the frame to all ports except the incoming port. ✓
- c. Invokes an Address Resolution Protocol (ARP) procedure.
- d. Forwards the frame based on its destination IP address.

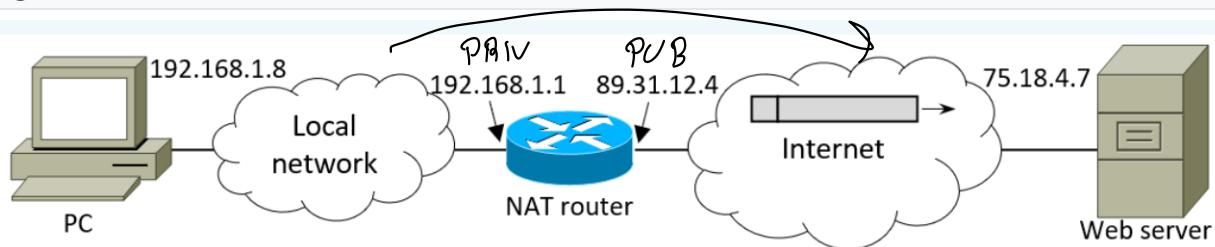
A resposta correta é: Forwards the frame to all ports except the incoming port.

Pergunta 6

Incorreta

Pontuou -0,10 de 1,00

Destacar pergunta



As illustrated in the figure, a PC on a local network behind a NAT router sent a packet to a web server on the Internet. The addresses in the IP header of the packet after it crossed the NAT router are

- a. 192.168.1.8 (source) and 75.18.4.7 (destination).
- b. 89.31.12.4 (source) and 75.18.4.7 (destination). ✓
- c. 192.168.1.8 (source) and 89.31.12.4 (destination).
- d. 192.168.1.1 (source) and 75.18.4.7 (destination).

$$S = 89.31.12.4$$

$$D = 75.18.4.7$$

✗

A resposta correta é: 89.31.12.4 (source) and 75.18.4.7 (destination).

Pergunta 7

Correta

Pontuou 1,00 de 1,00

Destacar pergunta

At a certain instant, the sender of a TCP connection which had a congestion window of 8000 and a slow start threshold of 20000 and changed both values to 4000. This happened because

- a. a timeout occurred.
- b. the application wrote 4000 bytes to send.
- c. it received a third duplicate ACK for the same sequence number. ✓
- d. the receiving application read 4000 bytes.

$$Cw: 8000 \xrightarrow{?} 4000$$

$$Tht: 20000 \rightarrow 4000$$

A resposta correta é: it received a third duplicate ACK for the same sequence number.

Pergunta 8

Incorrecta Pontou 0,10 de 1,00 Destacar pergunta

The sequence number sent in the header of a TCP segment with data is

- a. the total number of segments received at the moment that segment is sent.
- b. the number of the first byte of data in that segment.
- c. the total number of segments sent up to (and including) that one.
- d. the number of the last byte of data in that segment.

✗

A resposta correta é: the number of the first byte of data in that segment.

Pergunta 9

Incorrecta Pontou 0,10 de 1,00 Retirar destaque

Among the following, only one **does not** apply to Link State routing protocols. Which one?

- a. Hello messages are periodically sent in each link, which can be used to detect link failures.
- b. Each router uses Dijkstra's algorithm to compute the shortest paths to other routers.
- c. Each router periodically sends to its neighbors the estimated cost to reach all known destinations.
- d. Each router floods the network with information on its links to other routers.

✗

A resposta correta é: Each router periodically sends to its neighbors the estimated cost to reach all known destinations.

Pergunta 10

Correta Pontou 1,00 de 1,00 Retirar destaque

When a terminal needs to find the IP address of a web server, it starts the process by sending

- a. a non-recursive query to the Top-Level Domain (TLD) DNS server.
- b. a recursive query to a root DNS server.
- c. a non-recursive query to a root DNS server.
- d. a recursive query to the local DNS server.

✓

A resposta correta é: a recursive query to the local DNS server.

Pergunta 11

Correta Pontou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

Two stations communicate using a **Go-Back-N** ARQ mechanism. The time required to transmit a frame is 8 ms, the propagation delay between stations (one direction) is 160 ms and the frames have a length of 600 Bytes. Assume BER=0 and consider that the frames are numbered modulo 16.

The maximum throughput (débito) is

$$T_{max} = 219,51 \text{ kbit/s}$$

$$T_f = 8 \text{ ms} \quad T_p = 160 \text{ ms} \quad L = 600 \text{ bytes} \quad M = 16 - 2 \downarrow \\ k = 4$$

Resposta correta: 220

$$\alpha = \frac{T_p}{T_f} = 20 \quad 1 + 2\alpha = 41$$

$$W = 2^k - 1 = 2^4 - 1 = 15$$

$$S = \frac{W}{1 + 2\alpha} = \frac{15}{41}$$

$$C = \frac{L}{T_f}$$

$$R_h = SC = \frac{15}{41} \times \frac{600 \times 8}{8} = 220 \text{ kbytes/s}$$

$$\begin{aligned} W = 1 + 2^a &= 41 \\ W = 2^k - 1 \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} k = 6 \\ \text{ber} \end{array} \right.$$

Pergunta 12

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

For the above situation, the minimum number of numbering bits that would allow the maximum efficiency, is

$$K \geq 6 \quad \checkmark \cdot 6$$

Resposta correta: 6

Pergunta 13

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

$$FEP_h = 1 - (1 - 10^{-4})^{600 \times 8} = 1 - 0,62 = 0,38$$

For the same scenario, consider now that **Selective Repeat** ARQ is used, frames are numbered modulo 128 and $BER = 10^{-4}$. The maximum efficiency for this case is $S = 61,9 \quad 62 \checkmark \%$.

$$W = 2^{k-1} = 2^6 = 64 \quad k = 7 \quad 1 + 2^a = 61$$

Resposta correta: 62

$$W = 64 > 41 = 1 + 2^a \rightarrow S = 1 - 0,38 = 62 \%$$

Pergunta 14

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

$$\Rightarrow \square - \quad 2 \rightarrow \mu \quad M/M/1$$

In an Ethernet switch, the traffic received in 5 input ports is forwarded to 1 output port. The output port has a capacity of 100 Mbit/s and the 5 input ports forward the same average bitrate. Assuming that the output port is modeled by a $M/M/1$ queue and the frames have an average length of 1000 Bytes, calculate the average bitrate each input port forwards so that the output port has an utilization of 80 %.

Average **bitrate** forwarded by each input port = 16 \checkmark Mbit/s.

$$\mu = \frac{C}{L} = \frac{100 \times 10^6}{1000 \times 8} = \frac{10^4}{10^3} \times \frac{1}{8} = 12,5 \times 10^3 \text{ bps} \quad \rho = 0,8 = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\lambda = 0,8 \times 12,5 \times 10^3 = 10^4 \text{ bps} \quad \Rightarrow 2 \times 10^3 \text{ bps} \times \frac{1000 \times 8}{10^6} = 16 \text{ Mbit/s}$$

Pergunta 15

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

The average waiting delay of a frame in the queue, not considering the transmission time, is $T_w = 320 \checkmark \mu s$.

$$N = \frac{P}{1-P} = \frac{0,8}{0,2} = 4 \quad N_w = N - P = 3,2 \quad T_w = \frac{N_w}{\lambda} = \frac{3,2}{10^4} = 3,2 \times 10^{-4} s = 0,32 ms = 320 \mu s$$

Resposta correta: 320

Pergunta 16

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

$$B = 2$$

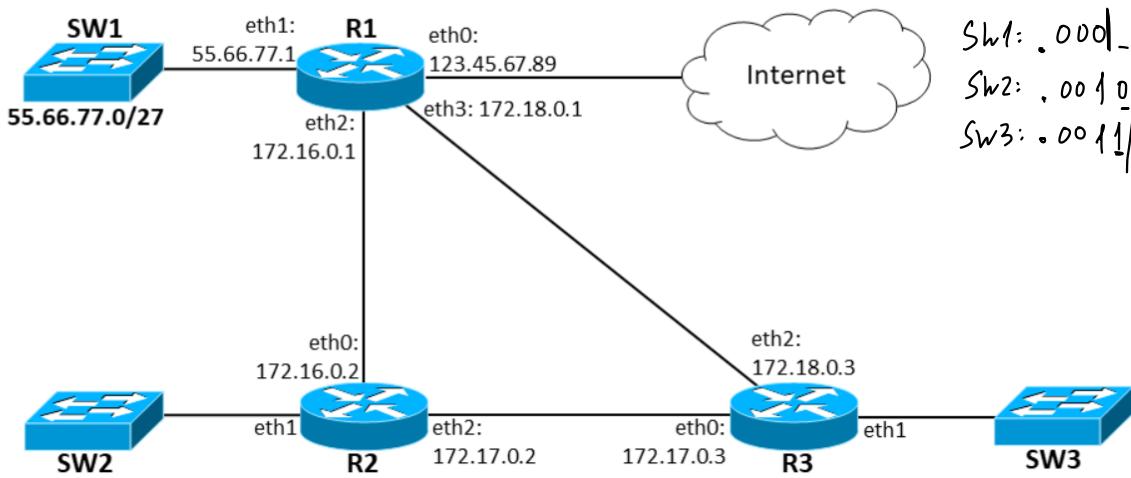
If the queue has only 2 buffers, the probability of a frame being lost is $P = 26,2 \checkmark \%$.

Resposta correta: 26

$$P(B) = \frac{(1-P)^B}{1-P^{B+1}} = \frac{0,2 \times 0,8^2}{1-0,8^3} = \frac{0,128}{0,488} = 26 \%$$

Pergunta 17

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta



The figure shows a diagram of the network of a company, containing three routers (R1, R2, R3) and three Ethernet switches (SW1, SW2, SW3). The company bought the public IP address block 55.66.77.0/26 for assigning addresses to the LANs corresponding to each switch, which is a work in progress. If you want to assign equal sized address blocks to the LANs of SW2 and SW3 allowing for the largest possible number of hosts, what network address and prefix length would you assign to SW2? Use the format a.b.c.d/n.

Resposta: 55.66.77.32/28

55.66.77.32/28

Resposta correta: 55.66.77.32/28

Pergunta 18

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

What is the (directed) broadcast address of the LAN of SW1?

000 11111 = 31

Resposta: 55.66.77.31

55.66.77.31

Resposta correta: 55.66.77.31

Pergunta 19

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

Knowing that R1 has an interface in subnet 55.66.77.0/27 (SW1), what is the maximum number of terminals we can connect to the LAN of SW1?

Resposta: 29

29

*5 bits → 2^5=32 endereços
↓
32-2-1=29*

Resposta correta: 29

Pergunta 20

Correta Pontuou 1,00 de 1,00 Destacar pergunta

Considering that shortest path routing is used and that all the links between routers have the same cost, the default gateway of router R2 should be (use format a.b.c.d)

Resposta: 172.16.0.1

172.16.0.1

Resposta correta: 172.16.0.1