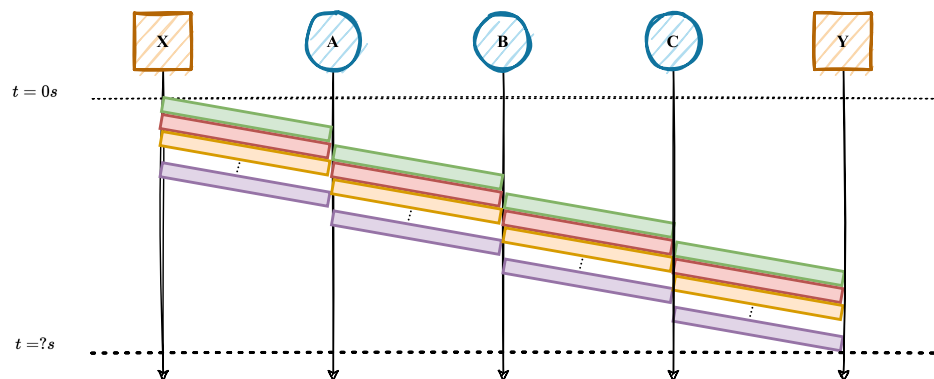


1. Considere um sistema terminal X que pretende enviar um ficheiro com $100\text{ K}_i\text{B}$ a um sistema terminal Y através de um caminho com quatro ligações como ilustrado nas figuras abaixo. É usada uma tecnologia de comutação de pacotes, contendo cada pacote $5\text{ K}_i\text{B}$. Os atrasos de propagação nas ligações, bem como os atrasos de processamento nos nós, são desprezáveis.



(a) Na topologia da Figura a), cada uma das quatro ligações é cablada com ritmo de transmissão 10 Mbps . Desenhe um diagrama espaço-tempo ilustrando a transferência do ficheiro e calcule o atraso na entrega do mesmo, desde a transmissão do primeiro bit por X até à receção do último bit por Y .

Em primeiro lugar, é relevante realçar que estas transmissões utilizam o mecanismo de *Store-and-forward*: cada pacote só pode avançar quando todo o seu conteúdo chega ao *hop* atual. Assim sendo, considerando três *hops* intermédios entre os sistemas terminais, teremos o seguinte:



Descobrir a quantidade de tempo que demora a transferir todo o ficheiro entre sistemas terminais é relativamente simples. É particularmente relevante considerar que apenas se sentem atrasos "no que ao primeiro pacote diz respeito": é o único com espera "inútil", onde o canal à frente está livre mas é obrigado a esperar. O atraso corresponde precisamente ao produto entre o número de *hops* e o tempo de transmissão de um pacote, sendo que este é calculado através da expressão L/R , onde L é a quantidade de bits a transmitir e R é o ritmo de transmissão. Considerando que temos $5\text{ K}_i\text{B} = 5 \cdot 2^{10} \cdot 2^3$ bits a transmitir, temos:

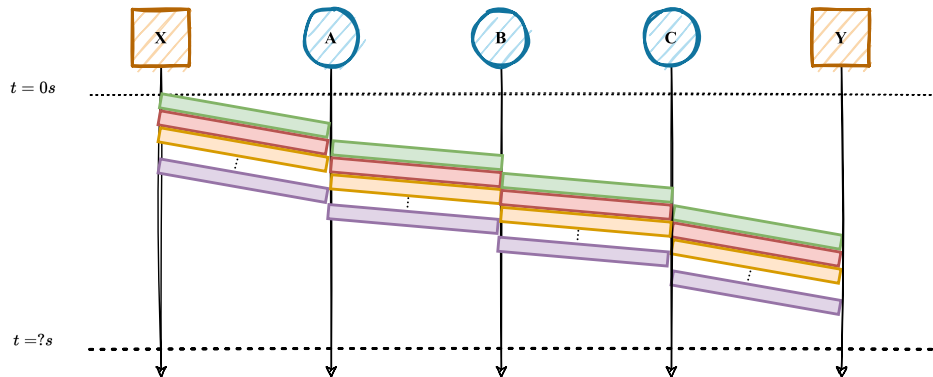
$$\begin{aligned}\text{Atraso} &= 3 \cdot \frac{L}{R} \\ &= 3 \cdot \frac{5 \cdot 2^{13}}{10 \cdot 10^6} \text{ s}\end{aligned}$$

Assim sendo, o tempo total de transmissão corresponderá à soma entre o atraso e o tempo de transmissão de todos os pacotes sem atraso, ou seja:

$$\begin{aligned}T &= \text{Atraso} + N \cdot \frac{L}{R} \\ &= (3 + 20) \cdot \frac{5 \cdot 2^{13}}{10 \cdot 10^6} \text{ s} \\ &= 0.094208 \text{ s}\end{aligned}$$

(b) Na topologia da Figura b), as ligações (A, B) e (B, C), e apenas estas, passaram a um ritmo de transmissão de 50 Mbps. Repita a alínea anterior para este caso.

A alteração não é particularmente significativa, afetando apenas a transmissão dos pacotes *intra-hops*. Neste sentido, o diagrama espaço-tempo será o seguinte (note-se que a diferença centra-se no tempo de transmissão de cada pacote):



Neste caso, o atraso é calculado de forma ligeiramente diferente, uma vez que o tempo de transmissão de cada pacote é agora variável - tanto podemos considerar $\frac{L}{R_1}$, com $R_1 = 10 \text{ Mbps}$, como $\frac{L}{R_2}$, com $R_2 = 50 \text{ Mbps}$. Assim sendo, e atendendo ao diagrama exposto acima (onde o primeiro pacote *espera* duas vezes num canal com ritmo R_2 e uma num canal com ritmo R_1), temos:

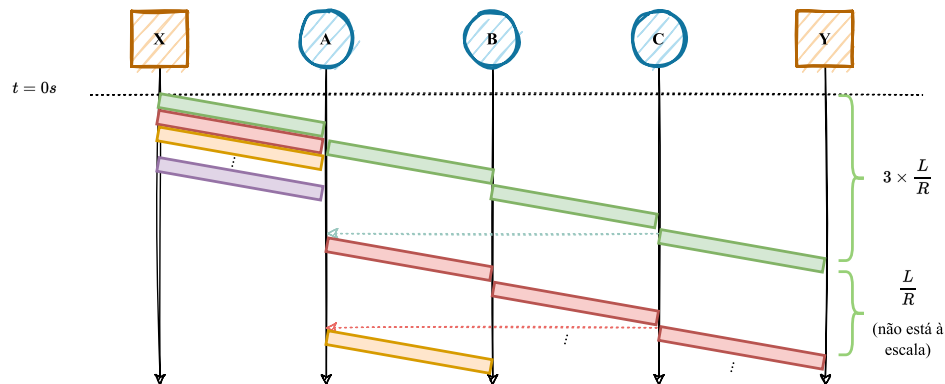
$$\begin{aligned}\text{Atraso} &= \frac{L}{R_1} + 2 \cdot \frac{L}{R_2} \\ &= L \cdot \left(\frac{1}{R_1} + 2 \cdot \frac{1}{R_2} \right)\end{aligned}$$

Para além do atraso, temos ainda o tempo de transmissão de todos os pacotes, que é calculado da mesma forma que na alínea anterior:

$$T = \text{Atraso} + N \cdot \frac{L}{R_1} = L \cdot \left(\frac{1}{R_1} + 2 \cdot \frac{1}{R_2} + \frac{20}{R_1} \right) = 0.087654 \text{ s}$$

- (c) Na topologia da Figura c), as ligações (A, B) e (B, C) passaram a ser ligações sem-fios a 10 Mbps . As antenas usadas são omnidirecionais (o nó B não pode receber e transmitir simultaneamente) e assume-se que os nós A e C não conseguem escutar as transmissões um do outro. Desenhe um diagrama espaço-tempo ilustrando a transferência do ficheiro e calcule o atraso mínimo na entrega do mesmo, desde a transmissão do primeiro bit por X até à receção do último bit por Y .

Neste caso, o diagrama espaço-tempo é o seguinte:



Note-se que o atraso inicial é exatamente igual ao da primeira alínea - o primeiro pacote não vê alterações no seu comportamento. Contudo, os pacotes seguintes passam a ter comportamento "alternado", passando a poder avançar apenas quando B fica completamente desocupado (e não quando $A-B$ fica desocupado). Assim sendo, o atraso adicional será, claro, maior (o dobro):

$$\begin{aligned}
 T &= \text{Atraso} + 2N \cdot \frac{L}{R} \\
 &= (3 + 2 \cdot 20) \cdot \frac{5 \cdot 2^{13}}{10 \cdot 10^6} \text{ s} \\
 &= 0.176128 \text{ s}
 \end{aligned}$$

2. Os sistemas terminais A e B estão ligados a um mesmo comutador de pacotes. O sistema A gera pacotes de dados com 480 bytes cada a intervalos regulares de T segundos, sendo o primeiro desses pacotes transmitido no instante $t = 0ms$. A ligação de A ao comutador tem débito 1 Mbps . O sistema B gera pacotes de voz codificada a 64 kbit/s a intervalos regulares de 20 ms , sendo o primeiro desses pacotes transmitido no instante $t = 3ms$. A ligação de B ao comutador tem também débito 1 Mbps . A linha de saída do comutador tem débito 256 kbit/s . Desprezam-se os atrasos de processamento e de propagação.

- (a) Determine a gama de valores de T para os quais o sistema é estável, i.e., tal que o número de pacotes à espera de transmissão à saída do comutador não aumenta indefinidamente no tempo.

O sistema é estável caso o ritmo a que os pacotes de dados chegam ao comutador seja menor ou igual ao ritmo a que os pacotes de dados são transmitidos na linha de saída do mesmo. Note-se que, tal como

na alínea anterior, estamos a considerar um mecanismo de *Store and Forward*, pelo que o pacote terá de ser completamente recebido no comutador antes de ser transmitido na linha de saída. Assim sendo:

$$\text{output rate} \geq \text{input rate} \leftrightarrow 256 \text{ kbit/s} \geq 64 \text{ kbit/s} + \text{rate de A}$$

Neste sentido, o ritmo de saída de A não poderá exceder 192 kbit/s - com pacotes de 480 bytes, isto quer dizer que só devemos enviar pacotes de A a intervalos de $T \geq \frac{480 \times 2^3}{192 \times 10^3} = 20 \text{ ms}$.

- (b) Assumindo que T é tal que o sistema é estável e que a linha de saída do comutador transmite pacotes na ordem de chegada, independentemente de serem de dados ou de voz, diga qual o atraso máximo na transmissão dos pacotes de voz, medido desde o momento em que um bit está disponível à saída do codificador de voz até que é transmitido na linha de saída do comutador.

Nota: exercício atualmente errado, de acordo com as soluções.

Sendo o sistema estável, temos como pior cenário o caso em que os pacotes de dados e voz chegam ao mesmo tempo ao comutador, e em que o comutador transmite primeiro o pacote de dados. Neste caso, a quantidade de tempo pedida corresponde ao tempo de transmissão de um pacote de voz entre B e o comutador, somado ao tempo de transmissão de um pacote de dados entre o comutador e o exterior.

Em primeiro lugar, é importante notar que não é dado o tamanho de um pacote de voz. Sabemos, contudo, que é criado um pacote a cada 20 ms , a um ritmo de 64 kbit/s . Assim sendo, são criados 50 pacotes por segundo, pelo que cada um deles terá $\frac{64 \times 10^3}{50} = 1280 \text{ bits}$. O tempo de transmissão de um pacote de voz entre B e o comutador é, portanto, dado por:

$$t_{B-com} = 1.28 \times 10^{-3} \text{ s} = 1.28 \text{ ms}$$

O tempo de transmissão de um pacote de dados entre o comutador e o exterior é dado pela seguinte expressão:

$$t_{com-out} = \frac{480 \times 2^3}{256 \times 10^3} = 15 \text{ ms}$$

Assim sendo, o atraso máximo na transmissão dos pacotes de voz é dado por $0.128 + 15 = 16.28 \text{ ms}$.

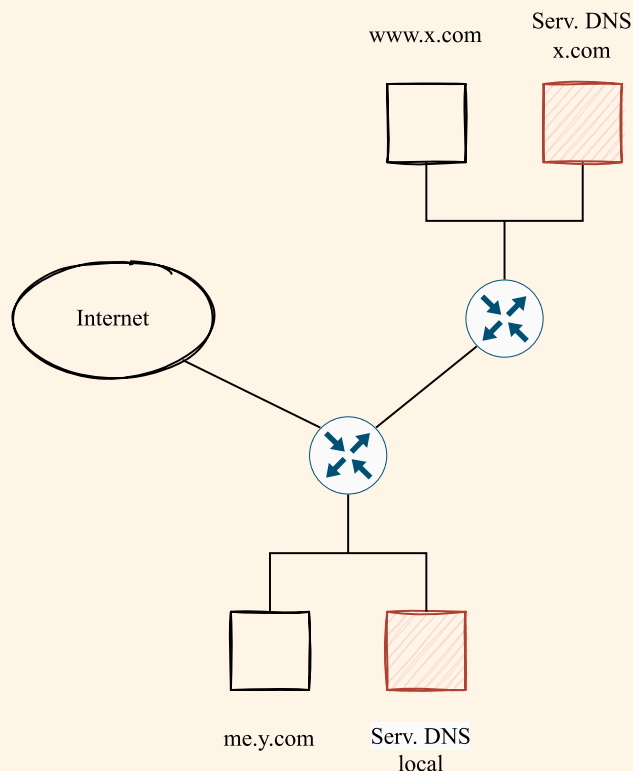
3. Pretende-se estimar o tempo necessário à descarga de um documento da Web. O documento é constituído por um objeto HTML base que referencia três imagens de tamanho 5000 byte cada. A dimensão do objeto base bem como de todos os pacotes de controlo é desprezável. O cliente liga-se ao servidor através de uma sessão de débito constante igual 1 Mbps e tempo de ida-e-volta (RTT) igual a 20 ms . Qual o tempo necessário para descarregar o documento em cada uma das condições seguintes:

(a) O browser usa HTTP não-persistente sem sessões TCP paralelas.

(b) O browser usa HTTP não-persistente, permitindo, no máximo, duas sessões TCP paralelas.

(c) O browser usa HTTP persistente com pipelining (sem sessões paralelas).

4. Considere as redes da figura, na qual Serv. DNS local é o servidor de nomes configurado em `me.y.com` e Serv. DNS `x.com` é o servidor de nomes idóneo (Authoritative Name Server) para o domínio `x.com`. O tempo de propagação a separar um encaminhador do outro é 100 ms e o tempo de propagação entre as máquinas da rede `y.com` e a Internet é de 500 ms (num sentido apenas). Inicialmente, o Serv. DNS local tem a sua cache de nomes vazia.



(a) Suponha que o utilizador de um browser em `me.y.com` digita a URL `www.x.com/index.html`. Apresente a sequência ordenada de todas as mensagens DNS e HTTP trocadas até que o ficheiro `index.html` seja recebido em `me.y.com`. Relembra-se que a pesquisa de nomes a partir de Serv. DNS local é iterativa. Para cada mensagem indique a sua origem, o seu destino e o tipo de mensagem. (Seja tão preciso quanto possível relativamente ao tipo da mensagem).

(b) Sabendo que o ficheiro `index.html` residente na máquina `www.x.com` tem 1 Mbit , determine o atraso desde o momento em que o utilizador digita a URL em `me.y.com` até que o ficheiro é recebido na totalidade. Considere que o mecanismo de arranque lento não está ativo e despreze o tempo de transmissão de todos os segmentos exceto aqueles que contêm dados do ficheiro `index.html`.

(c) Assuma agora que: (i) o ficheiro `index.html` referencia uma imagem com 5 Mbits ; (ii) o browser usa sessões HTTP persistentes; (iii) o mecanismo de arranque lento está ativo; (iv) e o MSS é 50 kbit . Determine o atraso na receção da página, constituída pelo ficheiro mais a imagem.

5. Considere três estações que pretendem recuperar um ficheiro com 100 *MiB* de um servidor. A largura-de banda uplink do servidor, do servidor à Internet, é de 1 *Mbit/s*. A largura de banda downlink de cada estação, da Internet à estação, é muito elevada (superior a 1 *Mbit/s*) e a largura de banda uplink de cada estação, da estação à Internet, é 200 *kbit/s*. Despreze os atrasos de propagação.

(a) Com uma aplicação cliente servidor, qual o tempo mínimo necessário para que o ficheiro seja distribuído a todas as estações?

(b) Considere agora uma aplicação peer-to-peer em que as estações usam as suas larguras de banda uplink para ajudar a distribuir o ficheiro. O servidor envia dados a cada uma das estações continuamente. Para além disso, cada estação vai re-distribuir a cada uma das outras duas estações os dados que recebe do servidor. Encontre uma boa estratégia para distribuir o ficheiro por todas as estações, e de acordo com ela diga qual o tempo mínimo necessário para a distribuição do ficheiro?

6. Considere um caminho de 5000 *km* de comprimento com atraso de propagação igual a 5 *s/km*, e sobre o qual consegue transmitir a um débito máximo de 100 *Mbit/s*. Suponha que usa um algoritmo de janela deslizante para controlo de erros e controlo de fluxo. Cada pacote tem 1000 bits. Se usar Go-Back-N qual a dimensão mínima da janela, em número de pacotes, que garante uma eficiência de utilização do caminho de 100%? E se usar Selective-Repeat?

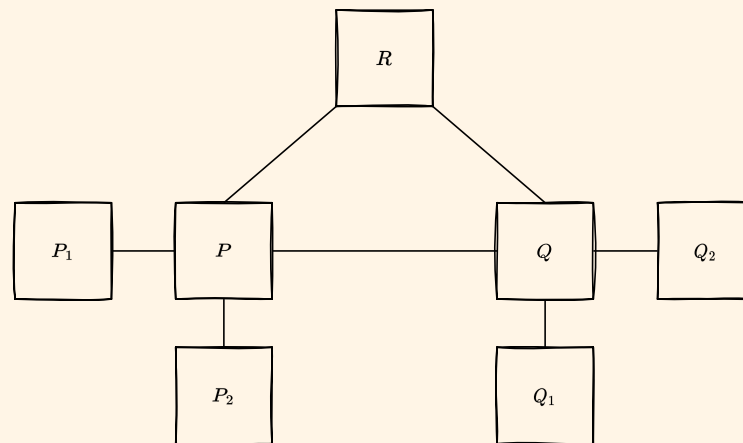
7. Considere o algoritmo de janela deslizante descrito a seguir que não sendo nem Go-Back-N nem Selective-Repeat tem características de ambos e é um algoritmo muito próximo do empregue no TCP. Neste algoritmo, tanto o emissor quanto o receptor têm uma janela de dimensão N_w pacotes, $N_w > 1$, como no Selective-Repeat. No entanto, os ACKs são cumulativos como em Go-Back-N, isto é, se o recetor não recebeu o i -ésimo mas recebeu j -ésimo pacote, com $j > i$, ele guarda-o na janela de receção, mas devolve um ACK i porque é do i -ésimo pacote que ele continua à espera. O emissor lança um temporizador por cada pacote enviado. Se este temporizador expira, o pacote associado, e apenas este, é imediatamente retransmitido.

(a) Assumindo que o canal pode perder os pacotes mas não os reordena, qual o módulo mínimo para a sua numeração que assegura a operação correta do protocolo?

(b) Seja T o tempo de transmissão de um pacote. Assuma que: (i) a janela N_w tem dimensão 10 pacotes; (ii) o atraso de ida-e-volta é $4T$; (iii) e o tempo de espera para a retransmissão de um pacote é $7T$. O emissor tem 12 pacotes para transmitir. O primeiro destes pacotes, e só ele, é perdido. Faça um diagrama espaço-tempo que mostre a evolução do algoritmo até que todos os pacotes sejam recebidos com sucesso. Em face deste diagrama, conclua sobre o desempenho do algoritmo face aos algoritmos de Go-Back-N e Selective-Repeat, nestas circunstâncias.

(c) Mostre, também através de diagramas espaço-tempo, uma circunstância em que este algoritmo tem melhor desempenho do que Selective-Repeat.

8. Considere os fornecedores de serviços Internet (ISPs) P , Q e R interligados da forma ilustrada na figura e em que nenhum deles deverá transportar tráfego de trânsito entre os outros dois. Aos ISPs P , Q e R foram atribuídos os blocos de endereços 193.32.0.0/11, 193.64.0.0/11 e 193.0.0.0/12, respetivamente. As regiões autónomas (ASes) P_1 e P_2 são clientes do ISP P e foram-lhes atribuídos os blocos de endereços 193.50.0.0/16 e 193.49.0.0/16, respetivamente. As ASes Q_1 e Q_2 são clientes do ISP Q . A Q_1 foi atribuído o bloco de endereços 193.64.0.0/18.



(a) Atribua um bloco de endereços a Q_2 , sabendo que esta AS precisa de 8000 endereços e escolhendo o endereço base mais baixo possível.

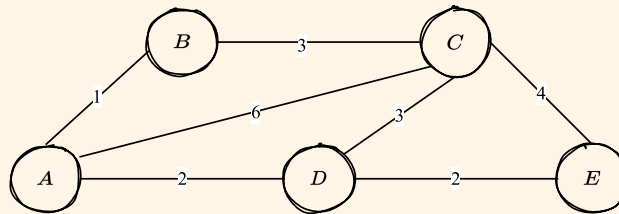
(b) Apresente as tabelas de expedição de um encaminhador em P , outro em Q , e um terceiro em R , com pares (prefixo, AS).

(c) Suponha que Q_1 mudou o seu ISP de Q para P . Apresente as novas tabelas de expedição tendo em conta que os endereços atribuídos a Q_1 não se alteram.

(d) Relativamente à alínea anterior, apresente em pseudocódigo um algoritmo para a expedição de datagramas usado num encaminhador do ISP R .

9. Suponha que um segmento TCP tem 2048 bytes de dados e 20 bytes de cabeçalho. Este segmento tem que atravessar duas ligações para chegar ao destino. A primeira ligação tem um MTU de 1024 bytes e a segunda um MTU de 512 bytes. Indique o comprimento e offset de todos os fragmentos entregues à camada de rede do destino. O cabeçalho de qualquer datagrama IP tem 20 bytes.

10. Considere a rede da figura em que o protocolo de encaminhamento usado é por estado-da-ligação.



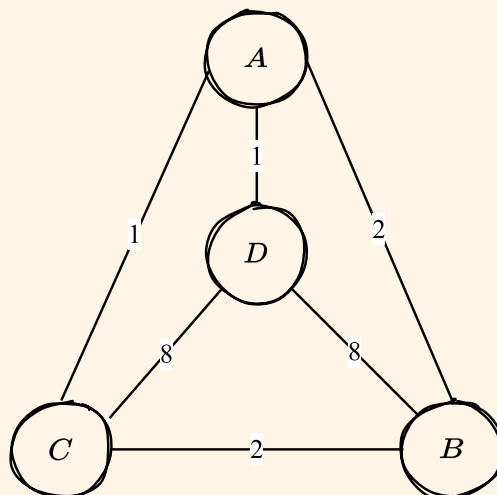
(a) Preencha uma tabela ilustrando a execução do algoritmo de Dijkstra a partir do nó A.

(b) Apresente o pseudocódigo genérico que cada nó tem que executar para a partir dos cálculos efetuados com o algoritmo de Dijkstra popular a sua tabela de expedição. Preencha a tabela de expedição do nó A.

(c) Suponha que, devido a atrasos na difusão de um LSP, o nó A não tem conhecimento da ligação D – E, e só dela não tem conhecimento. Todos os outros nós têm conhecimento completo da topologia da rede. O que acontece aos pacotes enviados pelo nó A com destino ao nó E? Conclua sobre o regime transitório de um protocolo estado-da-ligação.

(d) Suponha que é estabelecida uma nova ligação entre os nós D e B com comprimento 2. No total, quantos LSPs é que vão viajar pela rede?

11. Considere a rede da figura sobre a qual opera um protocolo vetor-distância.



(a) No instante t_0 o protocolo está estável, com todos os nós a saber os comprimentos dos caminhos mais curtos para alcançar cada um dos outros nós. Apresente as entradas das tabelas de encaminhamento no que diz respeito ao nó destino D.

(b) No instante t_1 a ligação $A - D$ falha. Assumindo que os nós trocam mensagens sincronamente em instantes bem definidos, t_1, t_2, t_3, \dots , mostre a evolução das tabelas de encaminhamento até que o protocolo volte a estabilizar.

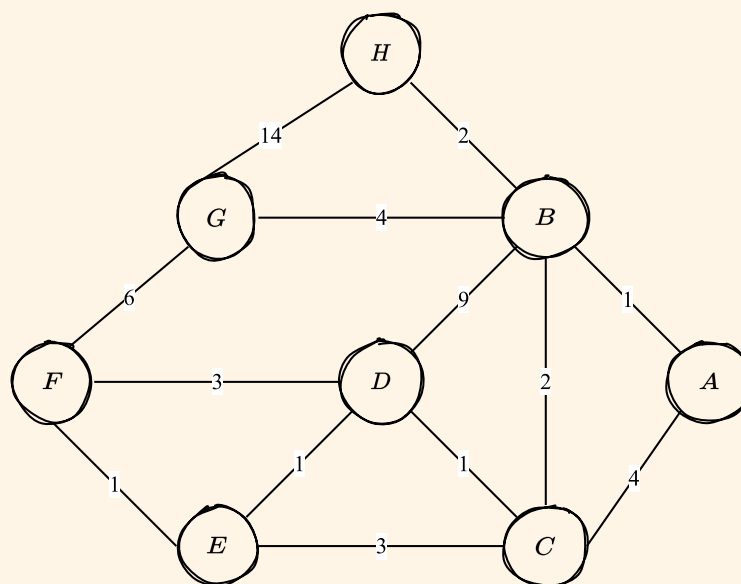
(c) Repita a alínea anterior, mas assumindo agora que o protocolo utilizado é vetor-caminho. Neste protocolo os nós trocam entre si não apenas a distância para alcançar cada destino mas também todo o caminho (sequência de nós) associado a essa distância.

12. Pretende-se comparar duas abordagens para providenciar multicast na camada de aplicação: (1) emulação com encaminhamento unicast; (2) encaminhamento multicast. Considere uma fonte e 32 destinos. A fonte está interligada com os destinos através de uma árvore binária de encaminhadores, tendo a fonte com raiz. O custo de uma abordagem multicast é o número de datagramas que têm que ser enviados nessa abordagem por forma a alcançar todos os destinos.

(a) Determine os custos das duas abordagens para multicast.

(b) Encontre a topologia de rede, incluindo a fonte, os destinos, e tantos encaminhadores quanto quiser, que maximiza a razão entre o custo da abordagem por emulação com encaminhamento unicast e o custo da abordagem por encaminhamento multicast na camada.

13. Considere a rede da figura. O nó D envia um datagrama que é difundido por toda a rede usando expedição por caminho inverso (RPF). Indique quantas cópias do datagrama é que atravessam as ligações da rede.



14. Suponha que um determinado protocolo da camada da ligação de dados usa um código cíclico de verificação, CRC, gerado pelo polinómio gerador $G(x) = x^4 + x^3 + 1$.

(a) Determine os bits de CRC do bloco de dados 00111011001.

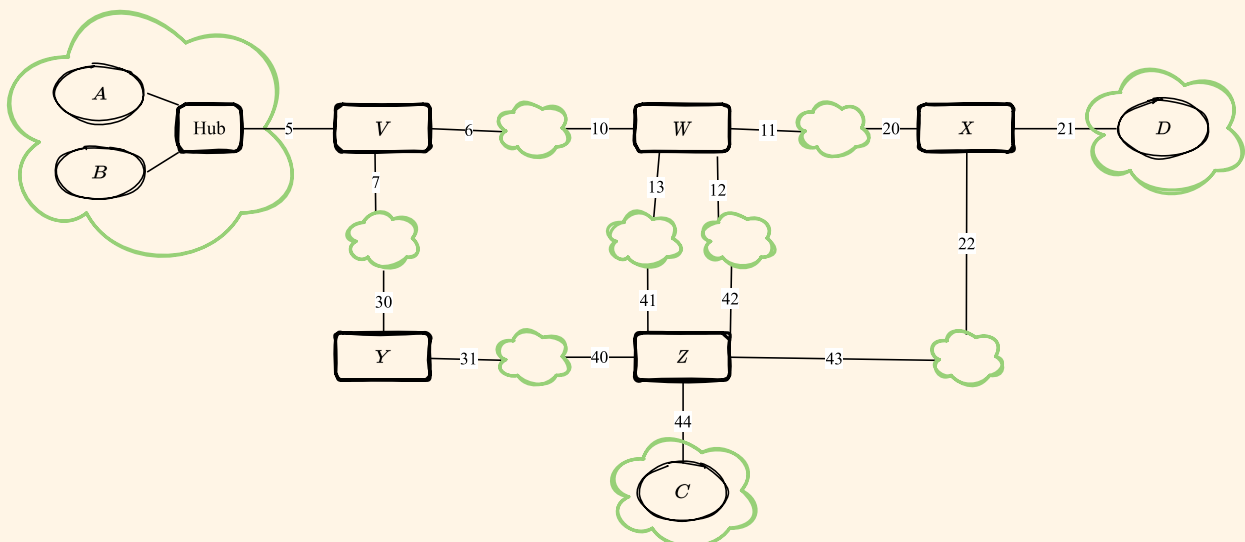
- (b) Suponha que o emissor forma uma trama com o bloco de dados e os bits de CRC da alínea anterior. A trama é enviada do emissor para o recetor, é corrompida no canal que os une, e é recebida pelo recetor na forma 001110110000110. Os erros são detetados no recetor?

15. Suponha duas estações, A e B , ligadas a extremos opostos de um cabo de $900m$, e cada uma delas com uma trama de 1000 bits para transmitir. As duas estações começam a transmitir em $t = 0$. Suponha que há 4 repetidores entre A e B , cada um inserindo um atraso de 20 bits. Considere que a taxa de transmissão é $10Mbit/s$ e que se utiliza CSMA/CD com intervalos de retransmissão múltiplos de 512 bits. Depois da primeira colisão, A escolhe $K_A = 0$ e B escolhe $K_B = 1$ na execução do algoritmo de recuo binário exponencial. Ignore o sinal de reforço de colisão de 32 bits e a espera de 96 bits para o acesso ao canal.

(a) Qual o atraso de propagação, incluindo atrasos introduzidos nos repetidores de A para B ? Suponha uma velocidade de propagação no cabo de $2 \times 10^8 m/s$.

(b) Em que instante de tempo é que o pacote de A é completamente recebido em B ?

16. Considere a rede da figura, composta por cinco comutadores Ethernet (Bridges): V , W , X , Y , Z , um hub e quatro estações: A , B , C , D . Considera-se que o identificador de cada comutador é igual ao menor dos endereços MAC das suas interfaces (indicados simplificada-mente junto a cada ligação) - por exemplo, o identificador do comutador W será 10. Todas as ligações têm custo unitário. As tabelas estão inicialmente vazias.

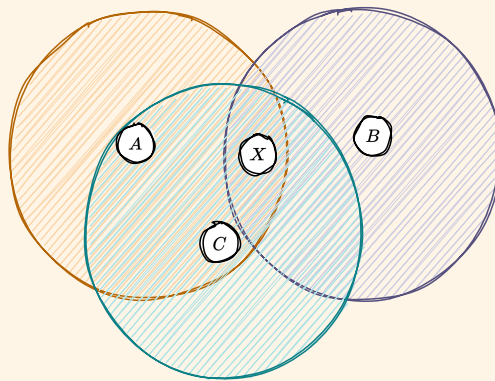


(a) Usando o algoritmo spanning tree classifique as interfaces de cada um dos comutadores em raiz, designada, ou bloqueada, e indique as BPDUs enviadas por cada comutador em cada uma das suas interfaces quando em regime estacionário.

(b) Para a sequência de envio de tramas: $(A \rightarrow B, C \rightarrow D, C \rightarrow A, B \rightarrow A, D \rightarrow C)$, indique as interfaces sobre as quais são transmitidas cópias das tramas respectivas e qual o estado das tabelas de expedição de cada comutador no final das várias transmissões.

17. O diagrama da figura mostra uma rede Wi-Fi em que X é o ponto de acesso e A , B e C são estações a ele associadas. Os círculos grandes centrados em cada uma das estações representam a sua área de cobertura, isto é, o alcance do seu sinal eletromagnético. A área de cobertura do ponto de acesso X não está representada, mas subentende-se que cobre as três estações. O protocolo de acesso ao meio é CSMA/CA. Suponha que X está a transmitir uma trama no instante 0 μs que acabará de ser transmitida no instante 100s. Suponha ainda o seguinte:

Estação	Instante em que tem trama p/ transmitir (μs)	Duração de transmissão da trama (μs)	Tempo de recuo (backoff) (μs)
A	50	100	70
B	70	200	200
C	90	150	150



(a) Para cada uma das três estações, em que instante de tempo é que ela começa a transmitir a sua trama pela primeira vez? Despreze atrasos de propagação, intervalos-entre-tramas (inter-frame spacings) e tempos de transmissão dos ACK.

(b) Das três tramas transmitidas pelas estações quais é que são bem recebidas na primeira tentativa de transmissão?

(c) Para cada uma das tramas que não é bem recebida na primeira tentativa de transmissão, indique qual o instante de tempo em que a estação correspondente se apercebe de que a trama foi perdida. As tramas serão bem recebidas na segunda tentativa de transmissão?

(d) Suponha agora que se ativa o protocolo de acesso ao meio RTS-CTS. Neste caso, em que instante de tempo é que cada estação começa a transmitir a sua trama pela primeira vez? As tramas são todas recebidas com sucesso?