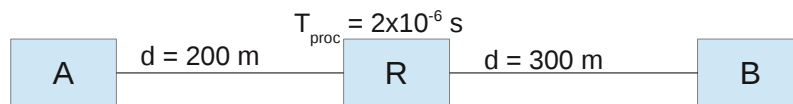


Ejercicios resueltos de Redes de Computadores – ETSINF Tema 1

1. Calcula el tiempo total necesario para transmitir un mensaje M de 4000 bytes de A a B, a través de la red de la figura. Señala sobre la imagen la evolución de los datos y los tiempos parciales que consideres para calcular el total. Las cabeceras del paquete se consideran despreciables y el tamaño máximo del paquete es de 1000 bytes.

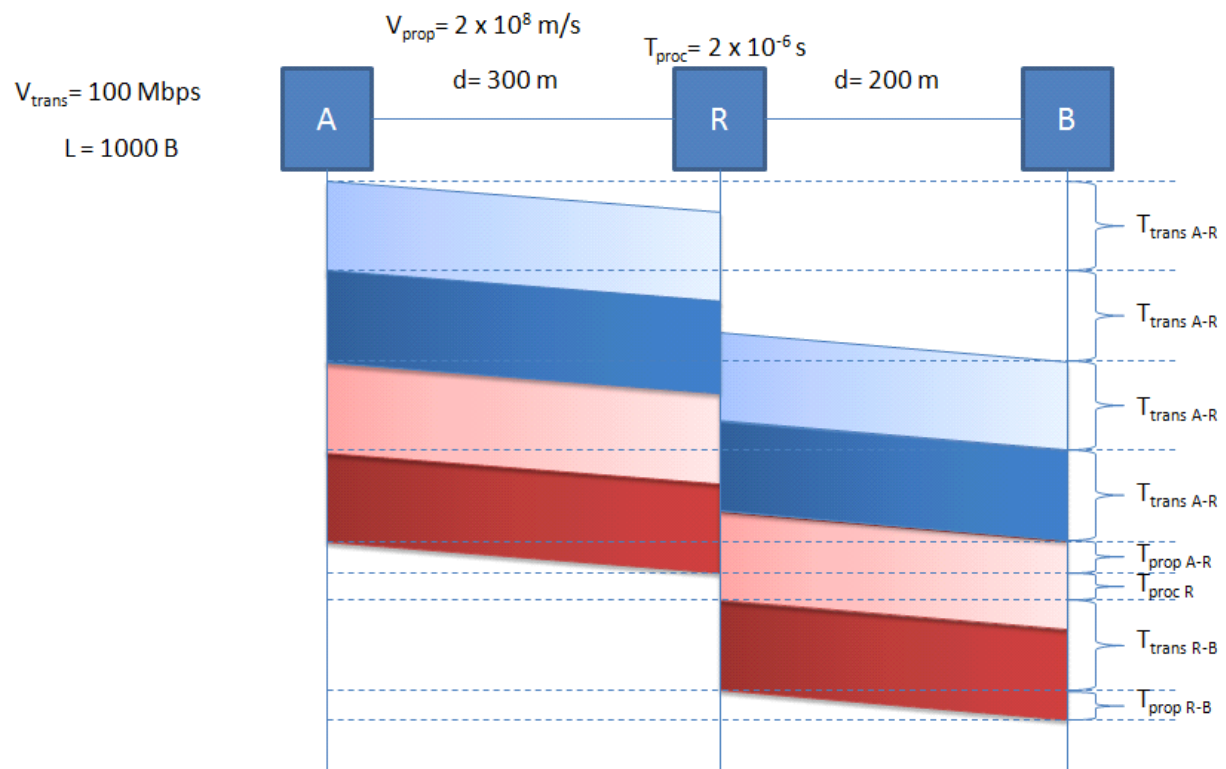


Velocidad de transmisión en todos los dispositivos = 100 Mbps

Velocidad de propagación en los dos enlaces = 2×10^8 m/s

Solución:

La evolución de los datos y los tiempos parciales pueden apreciarse en la figura siguiente:



Como puede deducirse, el tiempo total necesario podrá calcularse mediante la expresión:

$$T_{\text{total}} = 4 \times T_{\text{trans A-R}} + T_{\text{prop A-R}} + T_{\text{proc R}} + T_{\text{trans R-B}} + T_{\text{prop R-B}}$$

donde

$$T_{\text{trans A-R}} = 1000 \text{ B} \times 8 / 10^8 \text{ bps} = 80 \times 10^{-6} \text{ seg.}$$

$$T_{\text{prop A-R}} = 300 \text{ m} / 2 \times 10^8 \text{ m/s} = 1,5 \times 10^{-6} \text{ seg.}$$

$$T_{\text{trans R-B}} = T_{\text{trans A-R}} = 80 \times 10^{-6} \text{ seg.}$$

$$T_{\text{prop R-B}} = 200 \text{ m} / 2 \times 10^8 \text{ m/s} = 1 \times 10^{-6} \text{ seg.}$$

Por tanto,

$$\begin{aligned} T_{\text{total}} &= 4 \times T_{\text{trans A-R}} + T_{\text{prop A-R}} + T_{\text{proc}} + T_{\text{trans R-B}} + T_{\text{prop R-B}} = \\ &= (320 + 1,5 + 2 + 80 + 1) \times 10^{-6} = \mathbf{404,5 \times 10^{-6} s.} \end{aligned}$$

2. Calcula el tiempo necesario para recibir la respuesta a una consulta DNS si el servidor de nombres local está situado en una red diferente a la que nos encontramos de manera que entre nuestro host y el servidor de nombres hay 3 routers. La información total transferida en la consulta DNS son 1000 bits (incluyendo todas las cabeceras necesarias en los diferentes niveles). La información total transferida en la respuesta DNS son 10.000 bits (en una sola unidad de datos). La velocidad de transmisión siempre va a ser 100 de Mbps y el retardo de propagación en cada uno de los enlaces atravesados va a ser 1 microsegundo. El retardo de procesamiento en los routers y en el servidor de nombres es 1 milisegundo.

Solución:



$$T_{\text{total}} = T_{\text{consulta}} + T_{\text{DNS}} + T_{\text{respuesta}}$$

donde T_{DNS} es el tiempo de procesamiento en el servidor DNS, T_{consulta} es el tiempo desde que se inicia la transmisión del paquete de consulta hasta que éste llega al servidor DNS y $T_{\text{respuesta}}$ el tiempo desde que el servidor DNS inicia la transmisión de su respuesta hasta que ésta se recibe en el host.

Como el paquete de consulta tiene que atravesar 4 enlaces, el cálculo de T_{consulta} requerirá 4 tiempos de propagación (uno para cruzar cada uno de los enlaces) y 4 de transmisión (la transmisión del host más la de cada uno de los 3 routers). Lo mismo es aplicable al paquete de respuesta. Por lo tanto:

$$T_{\text{consulta}} = 4 * (T_{\text{trans}} + T_{\text{prop}}) + 3 * T_{\text{router}} = 4 * (1000/100 * 10^6 + 10^{-6}) + 3 * 10^{-3} = 3.044 * 10^{-3} \text{ s}$$

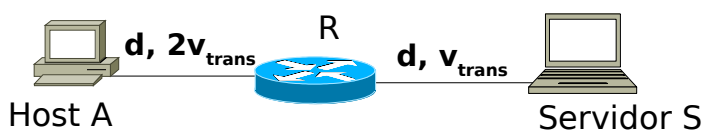
$$T_{\text{DNS}} = 10^{-3} \text{ s}$$

$$T_{\text{respuesta}} = 4 * (T_{\text{trans}} + T_{\text{prop}}) + 3 * T_{\text{router}} = 4 * (10000/100 * 10^6 + 10^{-6}) + 3 * 10^{-3} = 3.404 * 10^{-3} \text{ s}$$

$$T_{\text{total}} = 7.448 * 10^{-3} \text{ s}$$

3. El host A envía dos paquetes consecutivos de L bytes cada uno al servidor S. Los paquetes se depositan en orden de llegada en la cola de salida del router, los tiempos de procesamiento se suponen despreciables. La velocidad de propagación es v_{prop} en los dos enlaces y su longitud es d . El enlace A-R, funciona a velocidad de transmisión $2v_{trans}$, mientras que el enlace R-S funciona a v_{trans} (la mitad). Suponiendo que la red que enlaza A y S funciona mediante conmutación de paquete:

- Expresa los tiempos de transmisión y de propagación para cada enlace en función de las velocidades de transmisión y de propagación, respectivamente.
- Representa en un esquema espacio-temporal el tránsito de los dos paquetes desde A hasta S. Indica en dicho esquema qué tiempo corresponde al t_{trans} y al t_{prop} en cada enlace.
- Calcula el tiempo total transcurrido, en función de t_{trans} y de t_{prop} , desde que se inicia la transmisión del primer paquete hasta que el segundo paquete se acaba de recibir en el servidor S.



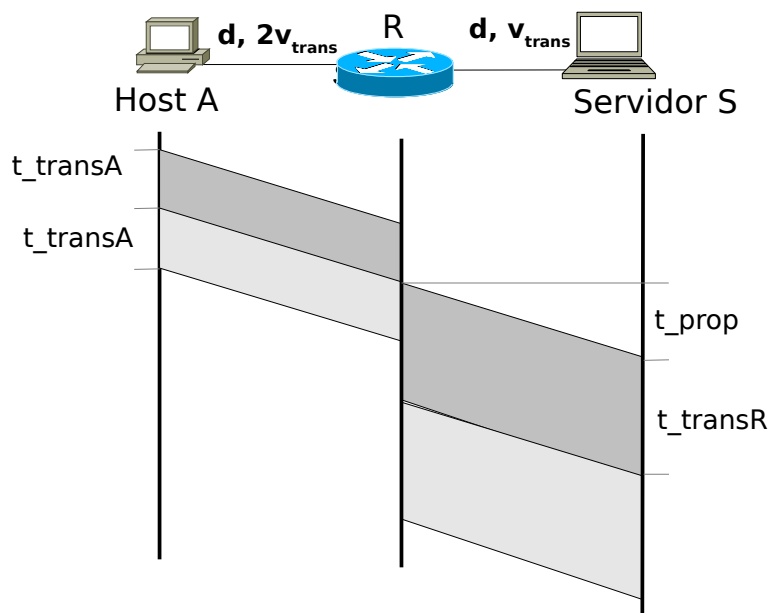
Solución:

a) Hay que transmitir dos paquetes de L bytes cada uno (ver el esquema de la página siguiente).

$$t_{transA} = 8L/2v_{trans} = 4L/v_{trans}; \quad t_{transR} = 8L/v_{trans}; \quad t_{transR} = 2 \times t_{transA};$$

$$t_{prop} = d/v_{prop} = t_{propAR} = t_{propRS};$$

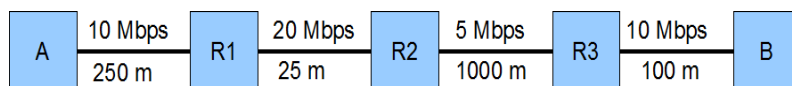
b)



$$c) T_{total} = t_{transA} + t_{prop} + 2 t_{transR} + t_{prop} = t_{transA} + 4 t_{transA} + 2 t_{prop} = 5 t_{transA} + 2 t_{prop}$$

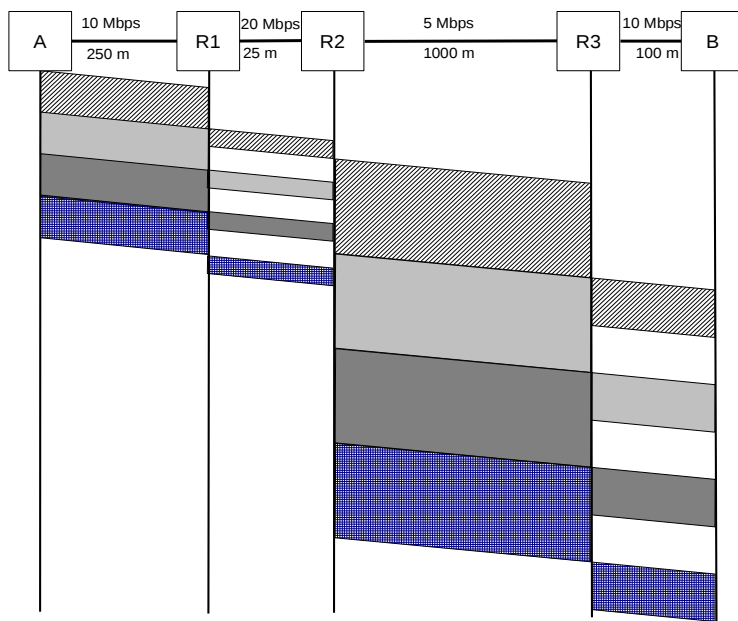
4. El computador A desea transmitir un mensaje de 500 bytes al computador B, atravesando la red de conmutación de paquetes del dibujo. El tamaño máximo de paquete es de 1000 bits, considerándose despreciable el tamaño de las cabeceras. Suponiendo también despreciable el tiempo de proceso en los routers, una velocidad de propagación de $2,5 \times 10^8$ m/s y que no existe otro tráfico en ese momento en la red:

- Representa en un esquema gráfico el tránsito de los paquetes desde A hasta B a través de los tres routers.
- Calcula el tiempo transcurrido desde el comienzo de la transmisión en A hasta que el mensaje se encuentra disponible en B.



Solución:

En primer lugar, para la transmisión de 500 bytes = 4000 bits serán necesarios cuatro paquetes de 1000 bits. Gráficamente:



Como puede observarse, los cuatro paquetes salen de forma consecutiva de A. En R1 la línea de salida (R1-R2) queda disponible antes de que se reciba el siguiente paquete, por lo que se intercala un espacio de inactividad de línea entre paquetes. Cuando los paquetes llegan a R2, como consecuencia de la baja velocidad de transmisión, cada paquete debe esperar a que finalice la transmisión de los anteriores, por lo que el tiempo en colas **no es despreciable** en este caso.

Puesto que la línea R3-B tiene una mayor velocidad de transmisión que la R2-R3, volverá a producirse el mismo efecto que en la línea R1-R2, por lo que la llegada a B **no será consecutiva**. La

tasa de llegadas a B (tiempo entre dos paquetes consecutivos) será el tiempo de transmisión de la línea más lenta, en este caso R2-R3.

Teniendo en cuenta que los tiempos de propagación también son diferentes en todas las líneas, la recepción completa del primer paquete en B (que no espera en colas) costaría:

$$T_1 = T_{\text{trans}_{A-R1}} + T_{\text{prop}_{A-R1}} + T_{\text{trans}_{R1-R2}} + T_{\text{prop}_{R1-R2}} + T_{\text{trans}_{R2-R3}} + T_{\text{prop}_{R2-R3}} + T_{\text{trans}_{R3-B}} + T_{\text{prop}_{R3-B}}$$

Donde:

$$T_{\text{trans}_{A-R1}} = T_{\text{trans}_{R3-B}} = 1000 \text{ bits} / 10^7 \text{ bits/s} = \mathbf{100 \mu s}$$

$$T_{\text{trans}_{R1-R2}} = 1000 \text{ bits} / 2 \times 10^7 \text{ bits/s} = \mathbf{50 \mu s}$$

$$T_{\text{trans}_{R2-R3}} = 1000 \text{ bits} / 5 \times 10^6 \text{ bits/s} = \mathbf{200 \mu s}$$

$$T_{\text{prop}_{A-R1}} = 250 \text{ m} / 2,5 \times 10^8 \text{ m/s} = 1 \times 10^{-6} \text{ s} = \mathbf{1 \mu s}$$

$$T_{\text{prop}_{R1-R2}} = 25 \text{ m} / 2,5 \times 10^8 \text{ m/s} = 1 \times 10^{-7} \text{ s} = \mathbf{0,1 \mu s}$$

$$T_{\text{prop}_{R2-R3}} = 1000 \text{ m} / 2,5 \times 10^8 \text{ m/s} = 4 \times 10^{-6} \text{ s} = \mathbf{4 \mu s}$$

$$T_{prop_{R3-B}} = 100 \text{ m} / 2,5 \times 10^8 \text{ m/s} = 4 \times 10^{-7} \text{ s} = \mathbf{0,4 \mu s}$$

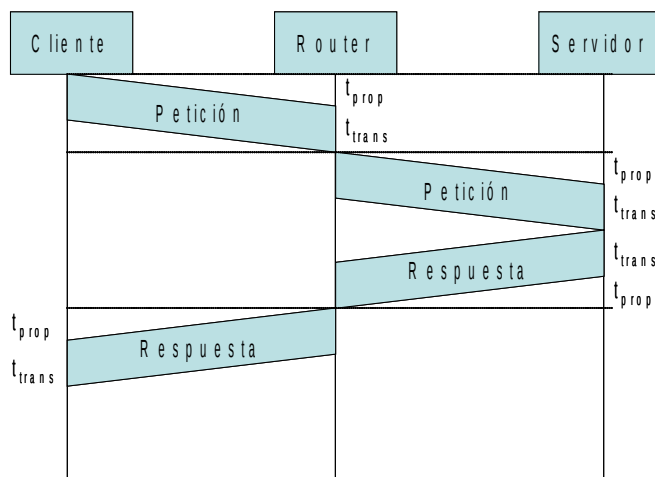
$$\text{Luego } T_1 = 0,1 \text{ ms} + 0,05 \text{ ms} + 0,2 \text{ ms} + 0,1 \text{ ms} + 1 \mu s + 0,1 \mu s + 4 \mu s + 0,4 \mu s = 0,4555 \text{ ms} = \mathbf{455,5 \mu s}$$

A partir de este instante, el segundo paquete llega a B un tiempo equivalente a $T_{trans_{R2-R3}}$ (200 μs) y lo mismo pasa con el tercero y cuarto. Así, el tiempo total será

$$\mathbf{T_{total} = T_1 + 3 \times 200 \mu s = 1055,5 \mu s}$$

5. Un cliente y su servidor DNS se encuentran conectados mediante un único router, siendo las líneas entre ambos de 100m con una velocidad de propagación de $2,5 \times 10^8 \text{ m/s}$. Ambas líneas transmiten a 100 Mbps. Suponiendo que tanto la petición como la respuesta DNS tienen un tamaño fijo de 58 bytes, y que IP y los niveles inferiores añaden 34 bytes, calcula el tiempo que se tardaría en resolver una petición que se encuentra en la caché del servidor DNS. Petición y respuesta emplean UDP (cabecera de 8 bytes).

Solución:



Como puede apreciarse en el dibujo, el tiempo total corresponde a cuatro veces la suma entre el tiempo de propagación y el de transmisión.

$$T_{total} = 4 \times (T_{trans} + T_{prop})$$

Donde

$$T_{prop} = 100 \text{ m} / 2,5 \times 10^8 = 0,4 \times 10^{-6}$$

El tamaño de la petición y de la respuesta coinciden:

Petición = 58 bytes + 8 bytes UDP + 34 bytes IP e inferiores = 100 Bytes = 800 bits.

$$T_{trans} = 800 \text{ bits} / 100 \times 10^6 = 8 \times 10^{-6} \text{ s}$$

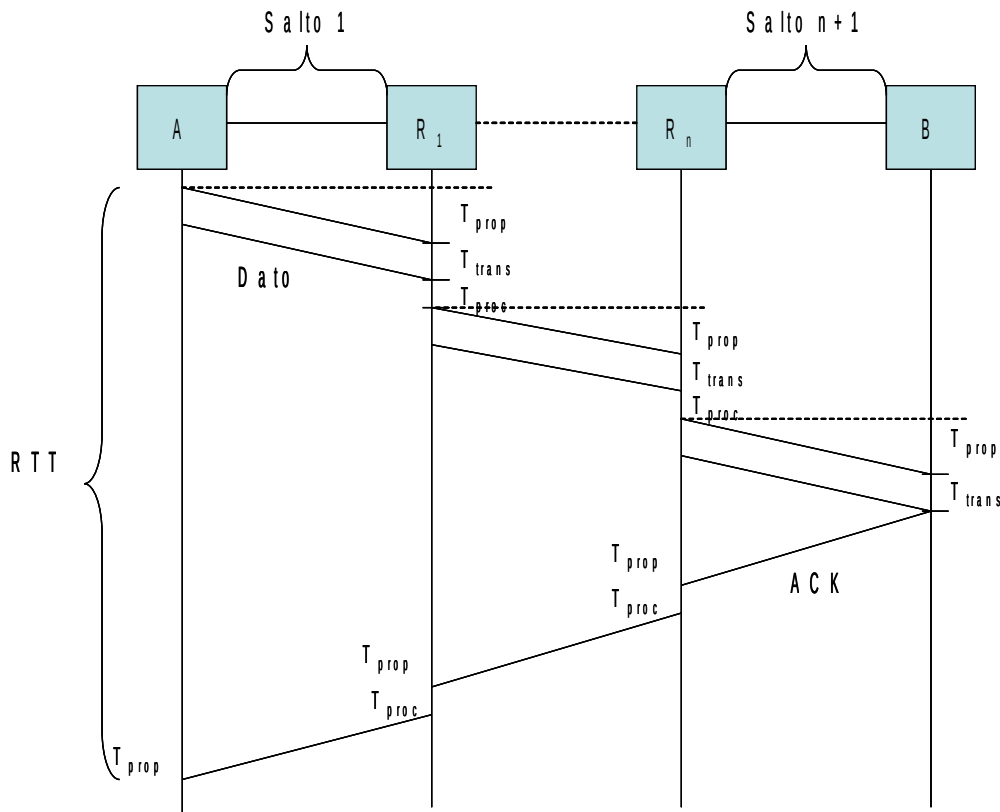
Luego

$$\mathbf{T_{total} = 4 \times (T_{trans} + T_{prop}) = 4 \times 840 \times 10^{-6}}$$

$$\mathbf{T_{total} = 33,6 \times 10^{-6} \text{ s}}$$

6. Calcula la expresión del **RTT** para un paquete de **T** bytes transmitido entre dos computadoras A y B unidas mediante **n** routers con un tiempo de proceso **t_{proc}**. Todas las líneas de comunicaciones empleadas son de longitud **L** metros y su velocidad de propagación es **v_{prop}**. Asimismo, en todas ellas se emplea una velocidad de transmisión **V_{trans}**. Se considera despreciable el tiempo de espera en colas y los tiempos de proceso de A y B, así como el tamaño del reconocimiento.

Solución:



El tiempo de un RTT corresponde a la suma del tiempo que tarda el dato en llegar a B, más el tiempo que tarda el ACK – de tamaño despreciable – en llegar a A. Para que el dato llegue a B tiene que realizar **n+1** saltos, para lo cual necesita **(n+1) x (t_{prop} + t_{trans})** segundos. Además, no resulta despreciable el tiempo de proceso de los routers, por lo que habrá que añadir **n x t_{proc}**.

El reconocimiento debe realizar también **n+1** saltos, pero puesto que su tamaño es despreciable, también lo es su tiempo de transmisión, por lo que en total el ACK tardará **(n+1) x t_{prop} + n x t_{proc}**.

Teniendo en cuenta que las líneas son de **L** metros y la velocidad de propagación es conocida, $t_{prop} = L/V_{prop}$, y conociendo el tamaño del paquete (**T**) y la velocidad de transmisión, $t_{trans} = T/V_{trans}$. Así, la expresión resultante será:

$$\begin{aligned} RTT &= (n+1) \times (t_{prop} + t_{trans}) + n \times t_{proc} + (n+1) \times t_{prop} + n \times t_{proc} = \\ &= (n+1) \times (2 \times t_{prop} + t_{trans}) + 2 \times n \times t_{proc} \end{aligned}$$

$$\underline{RTT = (n+1) \times (2 \times L/V_{prop} + T/V_{trans}) + 2 \times n \times t_{proc}}$$

7. El computador A desea transmitir al computador B un mensaje de 25000 bytes mediante conmutación de paquetes. La ruta entre ambos computadores atraviesa dos routers: R1 y R2. Cada enlace implicado tiene una longitud de 20 km. La velocidad de propagación es $2 \cdot 10^8$ m/s. La velocidad de transmisión es 100 Mb/s. El tamaño máximo de los paquetes es de 2500 bytes e incluyen una cabecera cuyo tamaño consideraremos despreciable. También consideraremos despreciables los tiempos de procesamiento en hosts y routers.

Suponemos que cada vez que se recibe un paquete en B, éste envía un paquete de ACK (cuyo tamaño consideramos despreciable).

Calcula el tiempo que transcurre desde que se sale el primer bit del mensaje hasta que se recibe el último ACK en A, en las siguientes condiciones:

- A debe esperar a recibir el reconocimiento de un paquete antes de poder enviar el paquete siguiente.
- A puede tener como máximo 5 paquetes pendientes de reconocimiento.

Complementa los cálculos mediante un esquema gráfico para cada apartado.

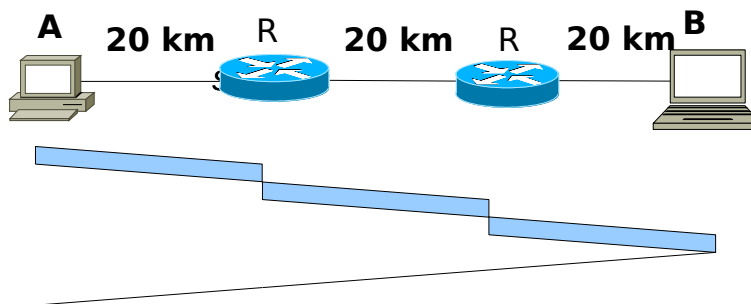
Solución:

Como el tamaño del mensaje es de 25.000 bytes y el de paquete 2.500 bytes se enviarán 10 paquetes.

Tiempo de transmisión de 1 paquete = $\text{número_bytes} / v_{\text{trans}} = 2.500 \times 8 / 100 \times 10^6 = 0,2 \times 10^{-3}$ s

Tiempo de propagación a través de un enlace = $d / v_{\text{prop}} = 20 \times 10^3 / 2 \times 10^8 = 0,1 \times 10^{-3}$ s

a) Sólo se puede tener un paquete pendiente de reconocimiento, tras enviar un paquete hay que esperar a que llegue su ACK antes de poder enviar el siguiente paquete de datos



Tiempo necesario para que el paquete de datos llegue a B = $3 \times t_{\text{trans}} + 3 \times t_{\text{prop}}$

Tiempo necesario para que el ACK llegue a A = $3 \times t_{\text{prop}}$

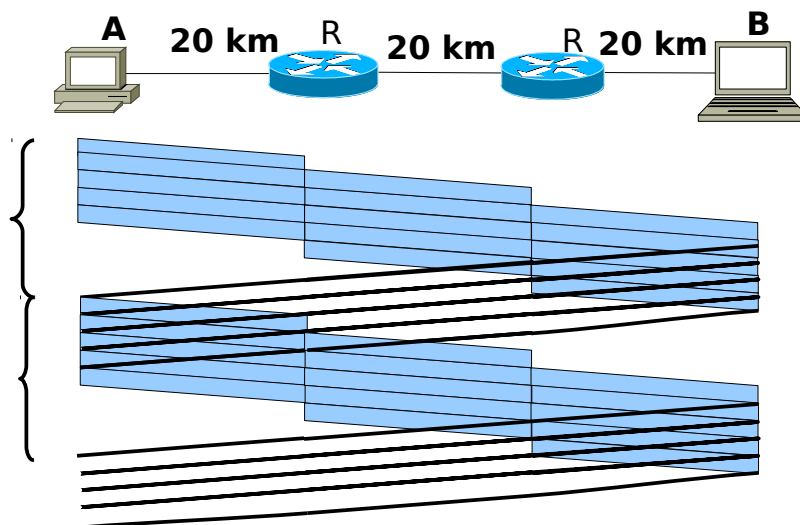
Por lo tanto $1 \text{ RTT} = 3 \times t_{\text{trans}} + 6 \times t_{\text{prop}} = (0,6 + 0,6) \times 10^{-3} = 1,2 \times 10^{-3}$ s

y el $T_{\text{total}} = 10 (3 \times t_{\text{trans}} + 3 \times t_{\text{prop}} + 3 \times t_{\text{prop}}) = 12 \times 10^{-3}$ s

b) Podemos enviar **hasta** 5 paquetes antes de recibir un ACK.

Como $5 \times t_{\text{trans}} = 1 \times 10^{-3}$ s, que es inferior al RTT, A puede enviar hasta alcanzar el tamaño máximo de la ventana antes de recibir el primer ACK. Los ACKs siguientes llegarán con una diferencia de t_{trans} cada t_{trans} , lo tanto una vez recibido el primer ACK puede transmitir los restantes 5 paquetes sin detenerse. Cuando hayan transcurrido 2RTTs habrá transmitidos los 10 paquetes y recibirá el ACK del sexto paquete, el tiempo necesario para que lleguen los cuatro ACKs restantes es $4 \times t_{\text{trans}}$, como puede verse en la figura de la página siguiente.

Por lo tanto, $T_{total} = 2 RTTs + 4 \times t_{trans} = 2 \times 1,2 \times 10^{-3} + 4 \times 0,2 \times 10^{-3} = 3,2 \times 10^{-3} s$



8. Dos *host*, A y B, están conectados mediante un *router*. La distancia entre cada uno de los *hosts* (A, B) y el *router* es de 100 m. La velocidad de transmisión empleada por todos los dispositivos es 100 Mbps, y la velocidad de propagación a través de los enlaces es de 2×10^8 m/s.

- Si se está transmitiendo de forma continua, ¿cuántos bits puede transmitir A antes de que su primer bit transmitido llegue al **router**?
- Sabiendo que las cabeceras de los niveles inferiores a TCP ocupan 34 bytes en total, ¿cuánto tiempo tardaría A en establecer una conexión TCP con B? Suponemos despreciables los tiempos de procesamiento, y no se considera el retardo asociado a las colas en el router.
- ¿Cuál sería la longitud de un bit expresada en metros si aumentamos la velocidad de transmisión a 155 Mbps?

Solución:

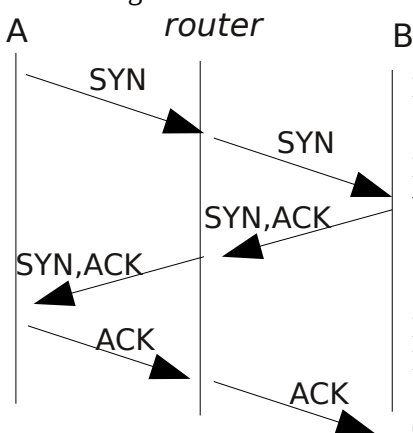
a) El número de bits que A podrá transmitir hasta que su primer bit llegue al router serán los bits que pueden transmitirse durante un intervalo igual al tiempo de propagación. De esta forma tenemos:

$$T_{trans} = T_{prop}$$

$$n^{\circ} \text{ bits} / V_{trans} = \text{Distancia} / V_{prop} \rightarrow n^{\circ} \text{ bits} = (100 \text{ m} / 2 \times 10^8 \text{ m/s}) \times (100 \times 10^6 \text{ bit/s})$$

$$n^{\circ} \text{ bits} = 50 \text{ bits}$$

b) El establecimiento de conexión en TCP se realiza mediante el intercambio de los segmentos que podemos ver en la figura:



El tiempo de transmisión de un segmento será:

$$T_{trans} = n^{\circ} \text{ bits} / v_{trans}$$

Los segmentos intercambiados entre los dispositivos no llevarán datos, al tratarse de segmentos de establecimiento de conexión, por lo tanto:

$$n^{\circ} \text{ bits} = \text{cabecera TCP} + \text{cabeceras inferiores} =$$

$$= 20 \text{ bytes} + 34 \text{ bytes} = 54 \times 8 \text{ bits} = 432 \text{ bits}$$

El tiempo total necesario para que el segmento de SYN llegue de A hasta B será:

$$T_{sync} = T_{trans \text{ A-router}} + T_{prop \text{ A-router}} + T_{trans \text{ router-B}} + T_{prop \text{ router-B}}$$

donde

$$T_{trans \text{ A-router}} = T_{trans \text{ router-B}} = 432 \text{ bits} / 100 \times 10^6 \text{ bit/s} = 432 \times 10^{-8} \text{ seg.}$$

$$T_{\text{prop A-router}} = T_{\text{prop B-router}} = 100 \text{ m} / 2 \times 10^8 \text{ m/s} = 50 \times 10^{-8} \text{ seg.}$$

Puesto que los tres segmentos de establecimiento de conexión son del mismo tamaño, el tiempo total de establecimiento de la conexión con B será:

$$T_{\text{total}} = 3 \times T_{\text{sync}} = 3 \times (2 \times (432 + 50) \times 10^{-8} \text{ seg}) = 3 \times 964 \times 10^{-8} = 2892 \times 10^{-8} \text{ seg.}$$

c) El tiempo de transmisión de 1 bit será:

$$T_{\text{trans}} = n^{\circ} \text{ bits} / v_{\text{trans}} = 1 \text{ bit} / 155 \times 10^6 \text{ bit/s}$$

el tiempo que tardará en propagarse la señal de dicho bit por el enlace será:

$$T_{\text{prop}} = (\text{Distancia} / 2 \times 10^8 \text{ m/s})$$

por lo tanto, igualando los dos términos tendremos:

$$T_{\text{trans}} = T_{\text{prop}}$$

$$n^{\circ} \text{ bits} / V_{\text{trans}} = 1 \text{ bit} / 155 \times 10^6 \text{ bit/s} = (\text{Distancia} / 2 \times 10^8 \text{ m/s})$$

$$\text{Distancia} = (1 \text{ bit} / 155 \times 10^6 \text{ bit/s}) \times 2 \times 10^8 \text{ m/s} = 1,29 \text{ m/bit}$$

9. En una red de conmutación de paquetes todas las líneas son de 10 Mbps y 100 m de longitud, con una velocidad de propagación de 2.5×10^8 m/s. El computador A desea enviar dos paquetes de 1100 bytes a B. El primero de ellos sigue la ruta A-R1-R2-R3-R4-B, mientras que el segundo emplea una ruta alternativa A-R1-R5-R4-B. Los tiempos de procesamiento en los *routers* son despreciables. Indica cuánto tiempo transcurre hasta que ambos paquetes están disponibles en B.

Solución:

La mayor dificultad de este problema está en que el segundo paquete puede alcanzar al primero, por lo que hay que estudiar cuál de ambos llega antes a R4.

El primer paquete debe realizar cuatro saltos para alcanzar R4. En cada uno de ellos invierte un tiempo de propagación y uno de transmisión, luego

$$T1 \text{ a R4} = 4 (T_t + T_p)$$

Teniendo en cuenta que 1100 bytes = 8800 bits.

$$T_t = 8800 \text{ bit} / 10 \text{ Mbps} = 8800 \times 10^{-7} \text{ seg}$$

$$T_p = 100 \text{ m} / 2.5 \times 10^8 \text{ m/seg} = 4 \times 10^{-7}$$

Luego

$$T1 \text{ a R4} = 35216 \times 10^{-7} \text{ seg}$$

Por otro lado, el segundo paquete realiza solo tres saltos, pero sale un tiempo de transmisión más tarde del origen.

$$T2 \text{ a R4} = T_t + 3 \times (T_t + T_p) = 35212 \times 10^{-7} \text{ seg.}$$

Puesto que el segundo paquete llega antes a R4, el primero deberá esperar a que se transmita éste antes de poder llegar a B. Ya que la diferencia de tiempos es menor que un tiempo de transmisión, el primer paquete llegará antes de la transmisión a B del segundo, por lo que al acabar éste podrá entregarse el primero.

$$T2 \text{ de R4 a B} = T_t + T_p = 8804 \times 10^{-7}$$

$$T1 \text{ de R4 a B} = T_t + T_p = 8804 * 10^{-7}$$

No obstante, como se transmite un paquete y a continuación el otro, sin esperar a que el primero llegue a B, en el cálculo del tiempo final sólo tendremos en cuenta el tiempo de transmisión de uno de ellos. Luego el tiempo final sería =

$$\text{Total}^* = T2 \text{ a R4} + T2 \text{ de R4 a B} + T1 \text{ de R4 a B (sin } T_p) = (35212 + 8804 + 8800) \times 10^{-7} \text{ seg} = \\ = \mathbf{52816 \times 10^{-7} \text{ seg}}$$

- El tiempo de T1 a R4 se solapa con los primeros sumandos..

10.El host A se dispone a enviar un mensaje al host B usando una red de conmutación de paquetes.

Cada paquete incluye una cabecera de 100 bits y, como máximo, 1000 bits de datos. Ambos hosts están separados por 4 routers cuyos tiempos de procesamiento y de espera en cola se consideran nulos. La velocidad de transmisión empleada es 100 Mbps. La velocidad de propagación es $2,5 \times 10^8$ m/s. Todos los enlaces empleados tienen una longitud de 100 metros.

Calcula la longitud del mensaje que debe transmitir el host A para que se cumpla que cuando el último bit de dicho mensaje sea transmitido por A, el host B reciba el primer bit de la cabecera del primer paquete en los que ha sido fragmentado el mensaje. Sabemos que el mensaje tiene una longitud entre 4001 y 5000 bits. No se consideran intervalos de espera en las transmisiones entre dos paquetes consecutivos.

Solución:

Por los datos del problema sabemos que el mensaje va a ser dividido en 5 paquetes, Por lo tanto:

$$T_{\text{ultimo bit en A}} = (4 * (100 + 1000) + (100 + n)) / 100 * 10^6$$

Es decir, el último bit del mensaje será transmitido en A tras transmitir 4 paquetes completos (cabecera y datos) más la cabecera del último paquete más los “n” bits del último paquete.

Por otra parte, el primer bit será recibido en B en el instante:

$$T_{\text{primer bit en B}} = (4 * (100 + 1000) + 1) / 100 * 10^6 + 5 * 100 / 2,5 * 10^8$$

Es decir, el primer bit será recibido en B cuando los cuatro routers hayan ido recibiendo el primer paquete completo (condición necesaria para que el router comience la retransmisión) y además este primer paquete se haya propagado por los 5 cables que unen el conjunto.

Como ambos términos deben ser iguales, creamos la igualdad y despejamos **n**.

$$T_{\text{ultimo bit en A}} = T_{\text{primer bit en B}} \\ (4 * (100 + 1000) + (100 + n)) / 100 * 10^6 = (4 * (100 + 1000) + 1) / 100 * 10^6 + 5 * 100 / 2,5 * 10^8 \\ \mathbf{n = 101 \text{ bits}}$$

Por lo tanto, la longitud total del mensaje es 4101 bits.