



INTRODUCCIÓ A LES XARXES TELEMÀTIQUES (IXT)
1er CONTROL TEORIA – 7 de abril de 2017

2016/2017 Primavera

NOMBRE Y APELLIDOS:

Normas de realización de la prueba:

- En la resolución de los problemas se debe ser claro. Una resolución mal presentada o ilegible no será corregida.
- La solución final de cada apartado debe quedar claramente expresada y dentro de un recuadro.
- Cada problema se debe entregar en hojas separadas. Las 3 preguntas se entregan juntas.
- Si tiene que utilizar una fórmula, escríbala previamente antes de sustituir los valores.
- Duración de la prueba: 2h.
- **Publicación notas provisionales en ATENEA: 25 de abril 2017, 16:00h.**
- **Revisiones: Con vuestro/a profesor/a. La fecha será comunicada por cada profesor/a.**
- **Publicación notas definitivas en ATENEA: 28 de abril 2017, 16:00h.**
- No se permite la utilización de ningún tipo de dispositivo con capacidad de comunicación:
 - Prohibido llevar encima el móvil o dispositivos similares con capacidades de comunicación.
 - Todo móvil deberá ser apagado y guardado en mochila/bolso o bien será entregado voluntariamente al profesor al inicio del examen (se lo devolverá al final del mismo).
 - Si se observa que alguien hace uso de un dispositivo de comunicaciones (móvil), será expulsado del examen y comunicado a dirección de la escuela. Se tomará la misma medida aunque el móvil esté apagado o en el bolsillo. No se puede llevar el móvil encima. Dejar el móvil apagado dentro de la mochila/bolso.
 - Se recomienda llevar otro sistema para saber la hora que no sea el móvil (reloj de pulsera).

Las preguntas test 1, 2 y 3 se puntúan así: 1 cada respuesta correcta, y -1/3 cada respuesta incorrecta.

Pregunta 1 (1p) Elija la respuesta verdadera sobre las técnicas de conmutación de circuitos y de paquetes:

- a) Las técnicas de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes modo datagrama son similares en cuanto a que en ambas se establece un circuito (físico en la primera técnica y virtual en la segunda) previo a la transferencia de información, que se libera al finalizar la comunicación.
- b) En conmutación de paquetes modo datagrama, los paquetes llegan todos en orden pues siguen el mismo camino (circuito virtual).
- c) En conmutación de paquetes modo circuito virtual, cada enlace puede alojar a un único circuito virtual a la vez.
- d) Ninguna de las anteriores es correcta.

Pregunta 2 (1p) Elija la respuesta verdadera sobre los mecanismos ARQ (*Automatic Repeat Request*) *Stop & Wait*, *Go-Back-N* y *Selective Repeat*.

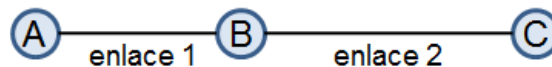
- a) *Selective Repeat* necesita que el receptor disponga de un *buffer* de recepción, para poder así almacenar las tramas que llegan en desorden.
- b) *Selective Repeat* tiene la desventaja de que produce más retransmisiones que *Go-Back-N*.
- c) *Go-Back-N* es menos eficiente que *Stop & Wait*, pues no permite enviar otra trama hasta que no llega el ACK de la trama enviada.
- d) Ninguna de las anteriores es correcta.

Pregunta 3 (1p) Elija la respuesta verdadera sobre las técnicas Aloha y CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*) de acceso a un medio compartido

- a) En CSMA/CD, si no llega el ACK antes del T_{OUT} , se interrumpe la transmisión en curso, se ejecuta el mecanismo de *back-off* y se procede a la retransmisión de la trama que colisionó.
- b) Con Aloha ranurado el tiempo de vulnerabilidad es doble que con Aloha puro.
- c) Para que el mecanismo CSMA/CD sea efectivo es necesario que el tiempo de transmisión de la trama sea mayor o igual al doble del retardo de propagación (suponga que no se usa secuencia de *jamming*).
- d) Ninguna de las anteriores es correcta.

Problema 1 (3.5p)

Considere la comunicación mediante conmutación de paquetes modo datagrama entre los nodos A y C de la siguiente figura.



Se desea enviar un mensaje M de 480 Bytes de A a C. Los paquetes enviados desde A hacia C deben atravesar un nodo intermedio (nodo B). Se dispone de la siguiente información del sistema:

- **Nodo A.** Requiere un tiempo de procesado $T_{pA} = 20 \mu s$ para formar cada paquete con una cabecera de $H_1 = 20$ **bits**. Para las transmisiones por el enlace 1 se utiliza un mecanismo de control de flujo de tipo ON/OFF. El nodo A está habilitado para transmitir si la señal está en ON, y en caso contrario debe esperar (considere despreciable el tiempo para verificar esta habilitación).
- **Enlace 1.** La velocidad de transmisión es $B_1 = 500$ kbps. El tamaño de paquete es $L_1 = 500$ bits. El retardo de propagación es despreciable, $D_1 = 0$.
- **Nodo B.**
 - o La técnica de conmutación en el nodo B es *Store&Forward*.
 - o El nodo B gestiona el control de flujo del enlace 1 de esta manera: La señal ON/OFF se evalúa cada vez que acaba de recibir o de transmitir un paquete. En esos instantes,

si el número de paquetes en el nodo B es superior a 1, la señal se pone a OFF; si es igual o inferior a 1, la señal se pone a ON (considere este tiempo de evaluación despreciable).

- El nodo B requiere un tiempo $T_{pB} = 600 \mu s$ para procesar cada paquete y rearmarlo sustituyendo la cabecera por una nueva de tamaño $H_2 = 25$ bits.
- **Enlace 2.** La velocidad de transmisión es $B_2 = 250$ kbps. La distancia del enlace es $d_2 = 180$ km y la velocidad de propagación es $v_{p2} = 2,4 \cdot 10^5$ km/s.
- **Nodo C.** Requiere un tiempo $T_{pC} = 500 \mu s$ para procesar la recepción de cada paquete.

Suponga que en ambos enlaces la probabilidad de error de paquetes es despreciable y que todos los nodos son capaces de procesar mientras transmiten y/o reciben otro paquete. Considere en estos cálculos el tiempo total de transferencia del mensaje M como el tiempo de observación.

Calcule:

- a) (0,1p) El tamaño del campo de datos (información o *payload*), expresado en bits, de los paquetes que atraviesan el enlace 1.
- b) (0,1p) El tamaño total de los paquetes, expresado en bits, que atraviesan el enlace 2.
- c) (0,1p) El tiempo de transmisión (expresado en milisegundos) de un paquete en cada enlace.
- d) (0,1p) El retardo de propagación (expresado en milisegundos) D_2 en el enlace 2.
- e) (0,2p) ¿Cuántos paquetes se requieren para transmitir el mensaje M completo?
- f) (1,5p) Dibuje el diagrama temporal (cronograma) de la transmisión del mensaje M. **Nota:** En el inicio, considere el nodo A habilitado para transmitir (señal en ON) e indique en el diagrama los eventos de cambio de la señal ON/OFF del control de flujo.
- g) (0,7p) El tiempo total de transferencia (expresado en milisegundos) de este mensaje M.
- h) (0,2p) La utilización del enlace en cada uno de los enlaces.
- i) (0,4p) La eficiencia del enlace en cada uno de los enlaces.
- j) (0,1p) La cadencia (tasa) de paquetes (expresado en paquetes/segundo) recibidos en el nodo C.

Problema 2 (3.5p).

Se dispone de dos nodos separados una distancia de 300 km que desean establecer una comunicación, del nodo A al nodo B, libre de errores. Para ello, se emplea protocolo de control de errores basado en Go-Back-N que presenta las siguientes particularidades:

- Sólo emplea reconocimientos positivos.
- Cada trama recibida, si está libre de errores, genera un reconocimiento positivo. En caso contrario, no se envía reconocimiento alguno.
- Si no se recibe un reconocimiento transcurrido un tiempo desde el inicio de la transmisión de la trama (T_{out}), dicha trama se considerará errónea y se procederá a su reenvío de acuerdo al

procedimiento establecido en el Go-Back-N. Este tiempo de espera para el reconocimiento, será variable.

- Se partirá de un valor de inicial.
- Cada vez que se produzca el reenvío de una trama, el tiempo T_{out} pasará a ser la mitad del valor actual, hasta alcanzar un valor mínimo por debajo del cual el mecanismo ARQ impediría la correcta transmisión de las tramas.
- Una vez alcanzado el valor mínimo, éste se mantendrá hasta que la trama se transmita de forma satisfactoria.
- Cuando se transmita la trama de forma satisfactoria, el T_{out} volverá al valor inicial.
- Por ejemplo, si el T_{out} (inicial) fuera 100 ms y el T_{out} (mínimo) fuese 25 ms:
 - i. Si transcurridos 100 ms no se ha recibido la trama, se efectúa la retransmisión según Go-Back-N y T_{out} pasa a valer 50 ms.
 - ii. Si transcurridos 50 ms no se ha recibido la trama, se efectúa la retransmisión según Go-Back-N y T_{out} pasa a valer 25 ms.
 - iii. A partir de aquí, como T_{out} ha alcanzado el mínimo, se emplearía este valor hasta conseguir transmitir la trama de forma correcta. En ese momento, T_{out} volvería a valer 100 ms.

Se establece el tiempo inicial de espera T_{out} (inicial) a 64 ms. El nodo B tarda 1 ms en procesar cada trama recibida, el tiempo de proceso del nodo A es despreciable y la probabilidad de que un bit se reciba erróneo es de 10^{-5} . Se considera que los reconocimientos no presentan errores. Teniendo en cuenta que la capacidad del enlace es de 1 Mbps, que las tramas enviadas son de 1500 Bytes y los reconocimientos tienen un tamaño de 125 Bytes y que la velocidad de propagación es de $3 \cdot 10^8$ m/s, se solicita:

- a) (0.7p) El tiempo de espera mínimo, T_{out} (mínimo). Expréselo en milisegundos.
- b) (0.5p) El tamaño óptimo de la ventana deslizante, expresado en número de paquetes.
- c) (0.3p) Probabilidad de que una trama se reciba de forma errónea.
- d) (1.5p) Tiempo medio empleado hasta transmitir una trama de forma correcta. Expréselo en milisegundos.
- e) (0.5p) *Throughput* o cadencia, expresado en bits por segundo.

Nota: Le recordamos la expresión de la suma de los infinitos términos de una progresión geométrica:

$$\sum_{n=0}^{\infty} p^n = \frac{1}{1-p} \quad ; \quad \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot p^n = \frac{p}{(1-p)^2}$$

Solución

Pregunta 1 (1p) Elija la respuesta verdadera sobre las técnicas de conmutación de circuitos y de paquetes:

- a) Las técnicas de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes modo datagrama son similares en cuanto a que en ambas se establece un circuito (físico en la primera técnica y virtual en la segunda) previo a la transferencia de información, que se libera al finalizar la comunicación.
- b) En conmutación de paquetes modo datagrama, los paquetes llegan todos en orden pues siguen el mismo camino (circuito virtual).
- c) En conmutación de paquetes modo circuito virtual, cada enlace puede alojar a un único circuito virtual a la vez.
- d) Ninguna de las anteriores es correcta.

Pregunta 2 (1p) Elija la respuesta verdadera sobre los mecanismos ARQ (*Automatic Repeat Request*) *Stop & Wait*, *Go-Back-N* y *Selective Repeat*.

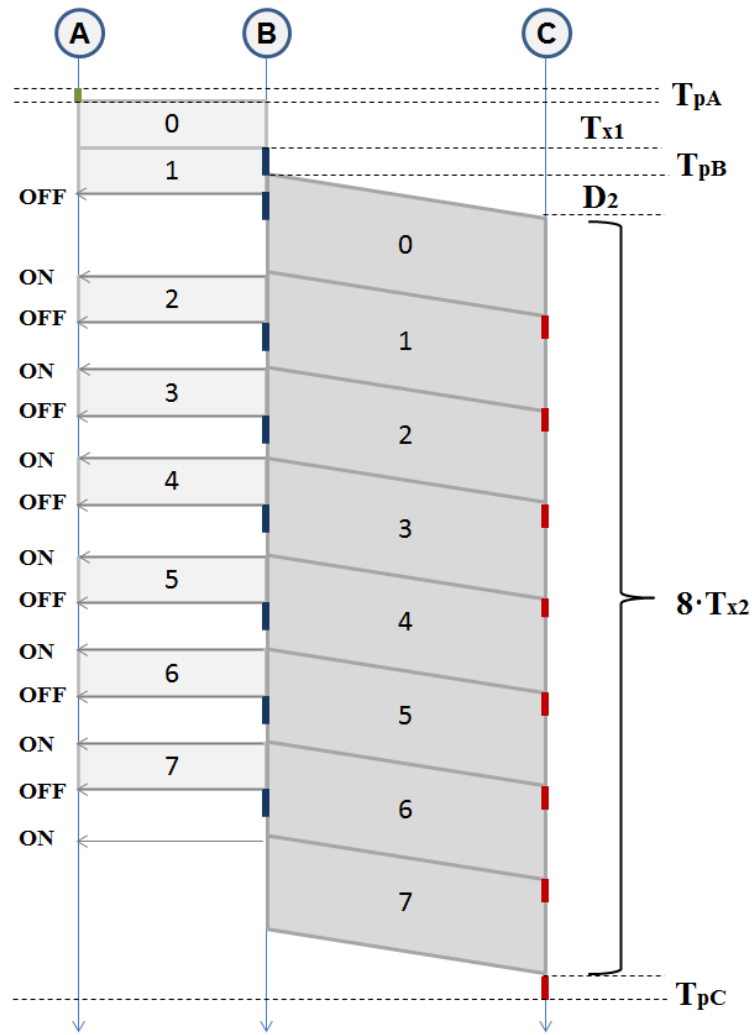
- a) *Selective Repeat* necesita que el receptor disponga de un *buffer* de recepción, para poder así almacenar las tramas que llegan en desorden.
- b) *Selective Repeat* tiene la desventaja de que produce más retransmisiones que *Go-Back-N*.
- c) *Go-Back-N* es menos eficiente que *Stop & Wait*, pues no permite enviar otra trama hasta que no llega el ACK de la trama enviada.
- d) Ninguna de las anteriores es correcta.

Pregunta 3 (1p) Elija la respuesta verdadera sobre las técnicas Aloha y CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*) de acceso a un medio compartido

- a) En CSMA/CD, si no llega el ACK antes del T_{OUT} , se interrumpe la transmisión en curso, se ejecuta el mecanismo de *back-off* y se procede a la retransmisión de la trama que colisionó.
- b) Con Aloha ranurado el tiempo de vulnerabilidad es doble que con Aloha puro.
- c) Para que el mecanismo CSMA/CD sea efectivo es necesario que el tiempo de transmisión de la trama sea mayor o igual al doble del retardo de propagación (suponga que no se usa secuencia de *jamming*).
- d) Ninguna de las anteriores es correcta.

Problema 1 (3.5p)

- a) $L_{Data} = L_1 - H_1 = 500 - 20 = 480$ bits.
- b) $L_2 = L_{Data} + H_2 = 480 + 25 = 505$ bits.
- c) $T_{x1} = L_1 / B_1 = 500 / 500000 = 1$ ms; $T_{x2} = L_2 / B_2 = 505 / 250000 = 2,02$ ms.
- d) $D_2 = d_2 / V_{p2} = 180 / (2,4 \cdot 10^5) = 750 \mu s = 0,75$ ms.
- e) $k = (M \cdot 8) / L_{Data} = 480 \cdot 8 / 480 = 8$ paquetes.
- f)



g) $T = T_{pA} + T_{x1} + T_{pB} + D_2 + 8 \cdot T_{x2} + T_{pC}$
 $= 0,020 + 1 + 0,600 + 0,75 + 16,16 + 0,500 = 19,03 \text{ ms.}$

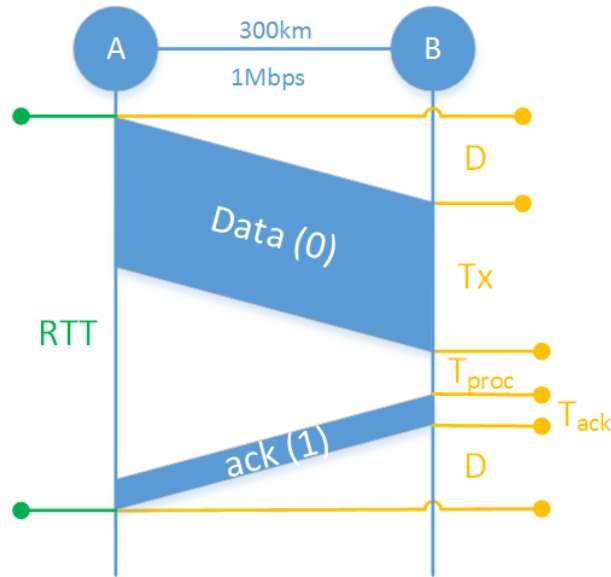
h) $U_1 = 8 \cdot T_{x1} / T = 8 / 19,03 = 42,04 \%$
 $U_2 = 8 \cdot T_{x2} / T = 16,16 / 19,03 = 84,92 \%$

i) $T_{x1_data} = 480 / B_1 = 0,96 \text{ ms}$; $E_1 = 8 \cdot T_{x1_data} / T = 7,68 / 19,03 = 40,35 \%$
 $T_{x2_data} = 480 / B_2 = 1,92 \text{ ms}$; $E_2 = 8 \cdot T_{x2_data} / T = 15,36 / 19,03 = 80,71 \%$

j) La cadencia en régimen permanente es $C = 1 / T_{x2} = 1 / (2,02 \cdot 10^{-3} \text{ seg/paq}) = 495 \text{ paquetes /segundo.}$
 Para la transferencia realizada sería: $C = k / T_{obs} = 8 / (19,03 \cdot 10^{-3} \text{ seg/paq}) = 420,38 \text{ paquetes /segundo.}$

Problema 2 (3.5p).

a) De acuerdo al enunciado, la transmisión de una trama podría modelarse de la siguiente forma:



Nótese que por simplicidad solo se ha dibujado lo referente a una trama y que por lo tanto, entre *Data(0)* y *ack(1)* habrían más tramas enviándose, de acuerdo a la capacidad de la ventana deslizante.

El tiempo de espera hasta detectar trama incorrecta (T_{out}) nunca podrá ser inferior al RTT, puesto que si esto sucediera, el sistema estaría continuamente transmitiendo la misma trama. De esta forma:

$$T_{out} \geq RTT = T_x + 2D + T_{proc} + T_{ack}$$

Los valores necesarios para el cálculo del RTT se pueden obtener mediante las siguientes expresiones:

$$T_x = \frac{P}{B} = \frac{1500 \text{ Bytes} \cdot \frac{8 \text{ bits}}{\text{Byte}}}{10^6 \text{ bps}} = 12 \text{ ms}$$

$$D = \frac{d}{v_p} = \frac{3 \cdot 10^5 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 1 \text{ ms}$$

$$T_{ack} = \frac{P_{ack}}{B} = \frac{125 \text{ Bytes} \cdot \frac{8 \text{ bits}}{\text{Byte}}}{10^6 \text{ bps}} = 1 \text{ ms}$$

De esta forma, se concluye que el T_{out} mínimo debe ser:

$$T_{out} = T_x + 2D + T_{proc} + T_{ack} = 12 + 2 + 1 + 1 = 16 \text{ ms}$$

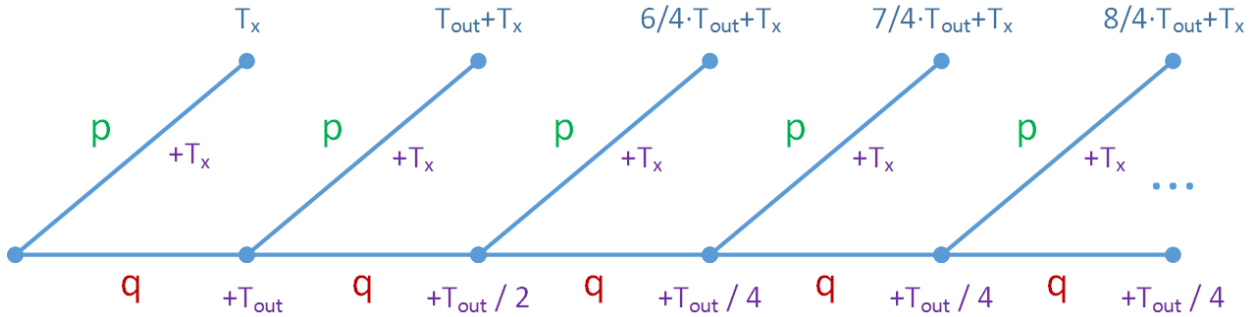
b) El tamaño óptimo de la ventana es aquel que asegura una utilización del 100% en el caso de transmisión correcta. Como los reconocimientos se envían trama a trama, el tamaño óptimo será aquel que haga que durante el RTT la transmisión no se vea truncada. De esta forma:

$$W_{opt} = \left\lceil \frac{RTT}{T_x} \right\rceil = \left\lceil \frac{16ms}{12ms} \right\rceil = 2$$

c) La probabilidad de que una trama se reciba errónea coincide con la probabilidad de que alguno de los bits de la trama se reciba de forma errónea. De esta forma:

$$q = 1 - (1 - BER)^P \cong P \cdot BER = 1500Bytes \cdot \frac{8bits}{Byte} \cdot 10^{-5} = 0.12 = 12\%$$

d) Para hallar el tiempo medio hasta transmitir una trama con éxito ($T_{\text{éxito}}$) es imprescindible construir el árbol de probabilidad que establece dicho tiempo para cada uno de los casos posibles. Para ello hay que calcular cuantas veces se reducirá el T_{out} hasta llegar al valor mínimo. Partiendo de 64ms (T), una retransmisión hace pasar el T_{out} a 32 ms (es decir $T/2$) y una segunda retransmisión lo deja en 16ms (es decir $T/4$), que es el valor mínimo calculado en el apartado a). De esta forma, a partir de la segunda retransmisión, el T_{out} será siempre 16ms ($T/4$).



De esta forma, siendo T_{out} el valor máximo del tiempo de espera hasta detectar que una trama debe retransmitirse, $T_{\text{éxito}}$ puede calcularse como:

$$T_{\text{éxito}} = pT_x + qp(T_x + T_{out}) + q^2p\left(T_x + \frac{6}{4}T_{out}\right) + q^3p\left(T_x + \frac{7}{4}T_{out}\right) + q^4p\left(T_x + \frac{8}{4}T_{out}\right) + \dots,$$

$$T_{\text{éxito}} = pT_x \sum_{i=0}^{\infty} q^i + qpT_{out} + \frac{q^2pT_{out}}{4} \sum_{i=6}^{\infty} iq^{i-6} = T_x + qpT_{out} + \frac{q^2pT_{out}}{4q^5} \sum_{i=6}^{\infty} iq^{i-1},$$

$$T_{\text{éxito}} = T_x + qpT_{out} + \frac{pT_{out}}{4q^3} \frac{d}{dq} \int \sum_{i=6}^{\infty} iq^{i-1} dq = T_x + qpT_{out} + \frac{pT_{out}}{4q^3} \frac{d}{dq} \sum_{i=6}^{\infty} q^i,$$

$$T_{\text{éxito}} = T_x + qpT_{out} + \frac{pT_{out}}{4q^3} \frac{d}{dq} \left(\frac{q^6}{1-q} \right) = T_x + qpT_{out} + \frac{T_{out}}{4q^3p} (6q^5 - 5q^6) = T_x + qpT_{out} + \frac{q^2T_{out}}{4p} (6 - 5q).$$

Teniendo en cuenta que $q=0.12$ y $T_{out}=64ms$, el valor final de $T_{\text{éxito}}$ es:

$$T_{\text{éxito}} = 12ms + 6.7584ms + 1.4138ms = 20.1722ms.$$

e) Se puede calcular de varias formas:

$$B_e = \frac{I}{T_{\acute{e}xito}} = \frac{1500\text{Bytes} \cdot 8\text{bits}/\text{Byte}}{20.1722 \cdot 10^{-3}} = 594.87\text{Kbps}.$$

594.87Kbps.

$$B_e = u_e B = \frac{T_x}{T_{\acute{e}xito}} B = 0.59487 \cdot 10^6 =$$