

Introducción a las Redes de Computadoras

Práctico 1

- P1. Diseñe y describa un protocolo de nivel de aplicación que será utilizado entre un cajero automático y la computadora central de un banco. El protocolo deberá permitir verificar la tarjeta y la contraseña del usuario, consultar el saldo de la cuenta (que se almacena en la computadora central) y hacer un apunte en la cuenta por la cantidad retirada por el usuario. Las entidades del protocolo deben poder controlar todos los casos en los que no hay suficiente saldo en la cuenta como para cubrir el reembolso. Especifique el protocolo enumerando los mensajes intercambiados y las acciones realizadas por el cajero automático o la computadora central del banco al transmitir y recibir mensajes. Haga un boceto del funcionamiento del protocolo para el caso de una retirada de efectivo sin errores, utilizando un diagrama similar al mostrado en la Figura 1.2. Establezca explícitamente las suposiciones hechas por el protocolo acerca del servicio de transporte terminal a terminal subyacente.
- P2. Considere una aplicación que transmite datos a una velocidad constante (por ejemplo, el emisor genera una unidad de datos de N bits cada k unidades de tiempo, donde k es un valor pequeño y fijo). Además, cuando esta aplicación se inicia, se ejecutará durante un periodo de tiempo relativamente largo. Responda a las siguientes cuestiones de forma breve y justificando su respuesta:
- ¿Qué sería más apropiado para esta aplicación, una red de conmutación de circuitos o una red de conmutación de paquetes? ¿Por qué?
 - Suponga que se utiliza una red de conmutación de paquetes y el único tráfico que existe en la misma procede de la aplicación que acabamos de describir. Además, suponga que la suma de las velocidades de datos de la aplicación es menor que las capacidades de cada uno de los enlaces. ¿Será necesario algún mecanismo de control de congestión? ¿Por qué?
- P3. Considere la red de conmutación de circuitos de la Figura 1.12. Recuerde que hay n circuitos en cada enlace.
- ¿Cuál es el número máximo de conexiones simultáneas que pueden estar en curso en un determinado instante de tiempo en esta red?
 - Suponga que todas las conexiones se encuentran entre el dispositivo de conmutación de la esquina superior izquierda y el dispositivo de conmutación de la esquina inferior derecha. ¿Cuál será el número máximo de conexiones que puede haber en curso?
- P4. Repase la analogía de la caravana de coches de la Sección 1.4. Suponga una velocidad de propagación de 100 km/hora.
- Suponga que la caravana se mueve a una velocidad de 150 km, partiendo de la caseta de peaje, pasando por una segunda caseta de peaje y deteniéndose justo después de la tercera caseta de peaje. ¿Cuál es el retardo terminal a terminal?
 - Repita el apartado (a) suponiendo ahora que en la caravana hay ocho coches en lugar de diez.

- P5. En este problema se exploran los retardos de propagación y de transmisión, dos conceptos fundamentales en las redes de datos. Considere dos hosts, A y B, conectados por un enlace cuya velocidad es de R bps. Suponga que los dos hosts están separados m metros y que la velocidad de propagación a lo largo del enlace es igual a s metros/segundo. El host A envía un paquete de tamaño L bits al host B.
- Expresar el retardo de propagación, d_{prop} , en función de m y s .
 - Determine el tiempo de transmisión del paquete, d_{trans} , en función de L y R .
 - Ignorando los retardos de procesamiento y de cola, obtenga una expresión para el retardo terminal a terminal.
 - Suponga que el host A comienza a transmitir el paquete en el instante $t = 0$. En el instante $t = d_{\text{trans}}$, ¿dónde estará el último bit del paquete?
 - Suponga que d_{prop} es mayor que d_{trans} . En el instante $t = d_{\text{trans}}$, ¿dónde estará el primer bit del paquete?
 - Suponga que d_{prop} es menor que d_{trans} . En el instante $t = d_{\text{trans}}$, ¿dónde estará el primer bit del paquete?
 - Suponga que $s = 2,5 \cdot 10^8$ metros/segundo, $L = 120$ bits y $R = 56$ kbps. Determine la distancia m de modo que d_{prop} sea igual a d_{trans} .
- P6. En este problema vamos a considerar la transmisión de voz en tiempo real desde el host A al host B a través de una red de conmutación de paquetes (VoIP). El host A convierte sobre la marcha la voz analógica en un flujo de bits digital a 64 kbps. A continuación, el host A agrupa los bits en paquetes de 56 bytes. Entre el host A y el host B existe un enlace, cuya velocidad de transmisión es de 2 Mbps y su retardo de propagación es igual a 10 milisegundos. Tan pronto como el host A forma un paquete, lo envía al host B. Cuando el host B recibe un paquete completo, convierte los bits del paquete en una señal analógica. ¿Cuánto tiempo transcurre desde el momento en que se crea un bit (a partir de la señal analógica en el host A) hasta que se decodifica (como parte de la señal analógica en el host B)?
- P7. Suponga que varios usuarios comparten un enlace de 3 Mbps. Suponga también que cada usuario requiere 150 kbps para transmitir y que sólo transmite durante el 10 por ciento del tiempo. (Véase la explicación sobre la multiplexación estadística de la Sección 1.3.)
- Si se utiliza la conmutación de circuitos, ¿a cuántos usuarios puede darse soporte?
 - Para el resto de este problema, suponga que se utiliza una red de conmutación de paquetes. Halle la probabilidad de que un determinado usuario esté transmitiendo.
 - Suponga que hay 120 usuarios. Determine la probabilidad de que en un instante determinado haya exactamente n usuarios transmitiendo simultáneamente. (*Sugerencia:* utilice la distribución binomial.)
 - Calcule la probabilidad de que haya 21 o más usuarios transmitiendo simultáneamente.

- P8. Consulte la explicación acerca de la multiplexación estadística de la Sección 1.3, en la que se proporciona un ejemplo con un enlace a 1 Mbps. Los usuarios están generando datos a una velocidad de 100 kbps cuando están ocupados, pero sólo lo están con una probabilidad de $p = 0,1$. Suponga que el enlace a 1 Mbps se sustituye por un enlace a 1 Gbps.
- ¿Cuál es el valor de N , el número máximo de usuarios a los que se les puede dar soporte simultáneamente, cuando se emplea una red de conmutación de circuitos?
 - Considere ahora que se utiliza una red conmutación de paquetes y que el número de usuarios es M . Proporcione una fórmula (en función de p, M, N) para determinar la probabilidad de que más de N usuarios estén enviando datos.
- P9. Considere un paquete de longitud L que tiene su origen en el sistema terminal A y que viaja a través de tres enlaces hasta un sistema terminal de destino. Estos tres enlaces están conectados mediante dos dispositivos de conmutación de paquetes. Sean d_i, s_i y R_i la longitud, la velocidad de propagación y la velocidad de transmisión del enlace i , para $i = 1, 2, 3$. El dispositivo de conmutación de paquetes retarda cada paquete d_{proc} . Suponiendo que no se produce retardo de cola, ¿cuál es el retardo total terminal a terminal del paquete en función de d_i, s_i, R_i ($i = 1, 2, 3$) y L ? Suponga ahora que la longitud del paquete es de 1.500 bytes, la velocidad de propagación en ambos enlaces es igual a $2,5 \cdot 10^8$ m/s, la velocidad de transmisión en los tres enlaces es de 2 Mbps, el retardo de procesamiento en el conmutador de paquetes es de 3 milisegundos, la longitud del primer enlace es de 5.000 km, la del segundo de 4.000 km y la del último enlace es de 1.000 km. Para estos valores, ¿cuál es el retardo terminal a terminal?
- P10. En el problema anterior, suponga que $R_1 = R_2 = R_3 = R$ y $d_{\text{proc}} = 0$. Suponga también que el conmutador de paquetes no almacena los paquetes y los reenvía, sino que transmite inmediatamente cada bit que recibe sin esperar a que llegue el paquete completo. ¿Cuál será el retardo terminal a terminal?
- P11. Un conmutador de paquetes recibe un paquete y determina el enlace saliente por el que deberá ser reenviado. Cuando el paquete llega, hay otro paquete ya transmitido hasta la mitad por el mismo enlace de salida y además hay otros cuatro paquetes esperando para ser transmitidos. Los paquetes se transmiten según el orden de llegada. Suponga que todos los paquetes tienen una longitud de 1.500 bytes y que la velocidad del enlace es de 2 Mbps. ¿Cuál es el retardo de cola para el paquete? En sentido más general, ¿cuál es el retardo de cola cuando todos los paquetes tienen una longitud L , la velocidad de transmisión es R , x bits del paquete que se está transmitiendo actualmente ya han sido transmitidos y hay n paquetes en la cola esperando a ser transmitidos?
- P12. Suponga que N paquetes llegan simultáneamente a un enlace en el que actualmente no se está transmitiendo ningún paquete ni tampoco hay ningún paquete en cola. Cada paquete tiene una longitud L y el enlace tiene una velocidad de transmisión R . ¿Cuál es el retardo medio de cola para los N paquetes?

- P13. Considere el retardo de cola en el buffer de un router (que precede a un enlace de salida). Suponga que todos los paquetes tienen L bits, que la velocidad de transmisión es R bps y que llegan simultáneamente N paquetes al buffer cada LN/R segundos. Calcule el retardo medio de cola de un paquete. (*Sugerencia:* el retardo de cola para el primer paquete es igual a cero; para el segundo paquete es L/R ; para el tercero es $2L/R$. El paquete N ya habrá sido transmitido cuando el segundo lote de paquetes llegue.)
- P14. Considere el retardo de cola en el buffer de un router. Sea I la intensidad de tráfico; es decir, $I = La/R$. Suponga que el retardo de cola puede expresarse como $IL/R(1 - I)$ para $I < 1$.
- Determine una fórmula para calcular el retardo total, es decir, el retardo de cola más el retardo de transmisión.
 - Dibuje el retardo total en función de L/R .
- P15. Sea a la velocidad de llegada de los paquetes a un enlace en paquetes/segundo y sea μ la velocidad de transmisión del enlace en paquetes/segundo. Basándose en la fórmula del retardo total (es decir, el retardo de cola más el retardo de transmisión) obtenida en el problema anterior, deduzca una fórmula para el retardo total en función de a y μ .
- P16. Considere el buffer de un router que precede a un enlace de salida. En este problema utilizaremos la fórmula de Little, una fórmula famosa en la teoría de colas. Sea N el número medio de paquetes que hay en el buffer más el paquete que está siendo transmitido. Sea a la velocidad a la que los paquetes llegan al enlace. Sea d el retardo medio total (es decir, el retardo de cola más el retardo de transmisión) experimentado por un paquete. La fórmula de Little es $N = a \cdot d$. Suponga que como media, el buffer contiene 10 paquetes y que el retardo medio de cola de un paquete es igual a 10 milisegundos. La velocidad de transmisión del enlace es igual a 100 paquetes/segundo. Utilizando la fórmula de Little, ¿cuál es la velocidad media de llegada de los paquetes suponiendo que no se produce pérdida de paquetes?
- P17. a. Generalice la fórmula del retardo terminal a terminal dada en la Sección 1.4.3 para velocidades de procesamiento, velocidades de transmisión y retardos de propagación heterogéneos.
- b. Repita el apartado (a), pero suponiendo ahora que existe un retardo medio de cola d_{cola} en cada nodo.
- P18. Realice un trazado de la ruta (Traceroute) entre un origen y un destino situados en un mismo continente para tres horas del día diferentes.
- Determine la media y la desviación estándar de los retardos de ida y vuelta para cada una de las horas.
 - Determine el número de routers existente en la ruta para cada una de las horas. ¿Ha variado la ruta para alguna de las horas?
 - Intente identificar el número de redes de ISP que los paquetes de Traceroute atraviesan desde el origen hasta el destino. Los routers con nombres similares y/o direcciones IP similares deben considerarse como parte del mismo ISP. En sus experimentos, ¿los retardos más largos se producen en las interfaces situadas entre proveedores ISP adyacentes?
 - Repita el apartado anterior para un origen y un destino situados en diferentes continentes. Compare los resultados para ubicaciones en un mismo continente y en distintos continentes.

- P19. Considere el ejemplo sobre la tasa de transferencia correspondiente a la Figura 1.20(b). Suponga que hay M parejas cliente-servidor en lugar de 10. Sean R_s , R_c y R las velocidades de los enlaces de servidor, de los enlaces de cliente y del enlace de red. Suponga que todos los enlaces tienen la capacidad suficiente y que no existe otro tráfico en la red que el generado por las M parejas cliente-servidor. Deduzca una expresión general para la tasa de transferencia en función de R_s , R_c , R , y M .
- P20. Considere la Figura 1.19(b). Suponga que existen M rutas entre el servidor y el cliente. No hay dos rutas que compartan ningún enlace. La ruta k ($k = 1, \dots, M$) consta de N enlaces con velocidades de transmisión iguales a $R_1^k, R_2^k, \dots, R_N^k$. Si el servidor sólo puede utilizar una ruta para enviar datos al cliente, ¿cuál será la máxima tasa de transferencia que puede alcanzar dicho servidor? Si el servidor puede emplear las M rutas para enviar datos, ¿cuál será la máxima tasa de transferencia que puede alcanzar el servidor?
- P21. Considere la Figura 1.19(b). Suponga que cada enlace entre el servidor y el cliente tiene una probabilidad de pérdida de paquetes p y que las probabilidades de pérdida de paquetes de estos enlaces son independientes. ¿Cuál es la probabilidad de que un paquete (enviado por el servidor) sea recibido correctamente por el receptor? Si un paquete se pierde en el camino que va desde el servidor hasta el cliente, entonces el servidor volverá a transmitir el paquete. Como media, ¿cuántas veces tendrá que retransmitir el paquete el servidor para que el cliente lo reciba correctamente?
- P22. Considere la Figura 1.19(a). Suponga que sabemos que el enlace cuello de botella a lo largo de la ruta entre el servidor y el cliente es el primer enlace, cuya velocidad es R_s bits/segundo. Suponga que enviamos un par de paquetes uno tras otro desde el servidor al cliente y que no hay más tráfico que ese en la ruta. Suponga que cada paquete tiene un tamaño de L bits y que ambos enlaces presentan el mismo retardo de propagación d_{prop} .
- ¿Cuál es el periodo entre llegadas de paquetes al destino? Es decir, ¿cuánto tiempo transcurre desde que el último bit del primer paquete llega hasta que lo hace el último bit del segundo paquete?
 - Suponga ahora que el enlace cuello de botella es el segundo enlace (es decir, $R_c < R_s$). ¿Es posible que el segundo paquete tenga que esperar en la cola de entrada del segundo enlace? Explique su respuesta. Suponga ahora que el servidor envía el segundo paquete T segundos después de enviar el primero. ¿Qué valor debe tener T para garantizar que el segundo paquete no tenga que esperar en la cola de entrada del segundo enlace? Explique su respuesta.
- P23. Suponga que necesita enviar de forma urgente 40 terabytes de datos de Boston a Los Ángeles. Dispone de un enlace dedicado a 100 Mbps para transferencia de datos. ¿Qué preferiría, transmitir los datos a través del enlace o utilizar FedEx para hacer el envío por la noche? Explique su respuesta.

- P24. Se tienen dos hosts, A y B, separados 20.000 kilómetros y conectados mediante un enlace directo con $R = 2$ Mbps. Suponga que la velocidad de propagación por el enlace es igual a $2,5 \cdot 10^8$ metros/segundo.
- Calcule el producto ancho de banda-retardo, $R \cdot d_{\text{prop}}$.
 - Se envía un archivo cuyo tamaño es de 800.000 bits desde el host A al host B. Suponga que el archivo se envía de forma continua como un mensaje de gran tamaño. ¿Cuál es el número máximo de bits que habrá en el enlace en un instante de tiempo determinado?
 - Haga una interpretación del producto ancho de banda-retardo.
 - ¿Cuál es el ancho (en metros) de un bit dentro del enlace? ¿Es más grande que un campo de fútbol?
 - Deduzca una expresión general para la anchura de un bit en función de la velocidad de propagación s , la velocidad de transmisión R y la longitud del enlace m .
- P25. Continuando con el Problema P24, suponga que podemos modificar R . ¿Para qué valor de R es el ancho de un bit tan grande como la longitud del enlace?
- P26. Considere el Problema P24 pero ahora para un enlace con $R = 1$ Gbps.
- Calcule el producto ancho de banda-retardo, $R \cdot d_{\text{prop}}$.
 - Considere el envío de un archivo de 800.000 bits desde el host A al host B. Suponga que el archivo se envía de forma continua como si fuera un mensaje de gran tamaño. ¿Cuál es el número máximo de bits que puede haber en el enlace en cualquier instante de tiempo dado?
 - ¿Cuál es el ancho (en metros) de un bit dentro del enlace?
- P27. Haciendo referencia de nuevo al problema P24.
- ¿Cuánto tiempo tarda en enviarse el archivo suponiendo que se envía de forma continua?
 - Suponga ahora que el archivo se divide en 20 paquetes conteniendo cada uno de ellos 40.000 bits. Suponga también que el receptor confirma la recepción de cada paquete y que el tiempo de transmisión de un paquete de confirmación es despreciable. Por último, suponga que el emisor no puede transmitir un paquete hasta que el anterior haya sido confirmado. ¿Cuánto tiempo se tardará en enviar el archivo?
 - Compare los resultados obtenidos en los apartados (a) y (b).
- P28. Suponga que existe un enlace de microondas a 10 Mbps entre un satélite geoestacionario y su estación base en la Tierra. El satélite toma una fotografía digital por minuto y la envía a la estación base. La velocidad de propagación es $2,4 \cdot 10^8$ metros/segundo.
- ¿Cuál es el retardo de propagación del enlace?
 - ¿Cuál es el producto ancho de banda-retardo, $R \cdot d_{\text{prop}}$?
 - Sea x el tamaño de la fotografía. ¿Cuál es el valor mínimo de x para que el enlace de microondas esté transmitiendo continuamente?
- P29. Considere la analogía de la compañía aérea utilizada en la Sección 1.5 dedicada a las capas y la adición de cabeceras a las unidades de datos del protocolo a medida que fluyen en sentido descendente por la pila de protocolos. ¿Existe algún concepto equivalente a la información de cabecera que pueda añadirse a los pasajeros y al equipaje a medida que descienden por la pila de protocolos de la compañía aérea?

- P30. En las redes de conmutación de paquetes modernas, el host de origen segmenta los mensajes largos de la capa de aplicación (por ejemplo, una imagen o un archivo de música) en paquetes más pequeños y los envía a la red. Después, el receptor ensambla los paquetes para formar el paquete original. Este proceso se conoce como *segmentación de mensajes*. La Figura 1.28 ilustra el transporte terminal a terminal de un mensaje con y sin segmentación del mensaje. Imagine que se envía un mensaje cuya longitud es de $8 \cdot 10^6$ bits desde el origen hasta el destino mostrados en la Figura 1.28. Suponga que cada enlace de los mostrados en la figura son enlaces a 2 Mbps. Ignore los retardos de propagación, de cola y de procesamiento.
- Suponga que el mensaje se transmite desde el origen al destino *sin* segmentarlo. ¿Cuánto tiempo tarda el mensaje en desplazarse desde el origen hasta el primer conmutador de paquetes? Teniendo en cuenta que cada conmutador de paquetes utiliza el método de conmutación de almacenamiento y reenvío, ¿cuál el tiempo total que invierte el mensaje para ir desde el host de origen hasta el host de destino?
 - Suponga ahora que el mensaje se segmenta en 4.000 paquetes y que la longitud de cada paquete es de 2.000 bits. ¿Cuánto tiempo tarda el primer paquete en transmitirse desde el origen hasta el primer conmutador de paquetes? Cuando se está enviando el primer paquete del primer conmutador al segundo, el host de origen envía un segundo paquete al primer conmutador de paquetes. ¿En qué instante de tiempo habrá recibido el primer conmutador el segundo paquete completo?

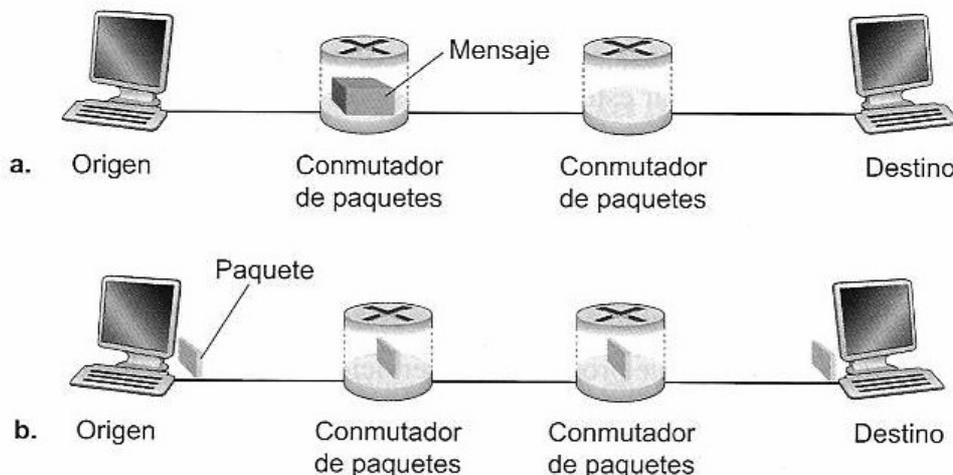


Figura 1.28 • Transporte de mensajes terminal a terminal: (a) sin segmentación de mensajes; (b) con segmentación de mensajes.

- ¿Cuánto tiempo tarda en transmitirse el archivo desde el host de origen al host de destino cuando se emplea la segmentación de mensajes? Compare este resultado con la respuesta del apartado (a) y coméntelo.
 - Comente los inconvenientes de la segmentación de mensajes.
- P31. Experimente con la applet *Message Segmentation* (segmentación de mensajes) disponible en el sitio web del libro. ¿Se corresponden los retardos indicados en el applet con los retardos del problema anterior? ¿Cómo afectan los retardos de propagación del enlace al retardo global terminal a terminal de la conmutación de paquetes (con segmentación de mensajes) y de la conmutación de mensajes?

P32. Se envía un archivo de gran tamaño de F bits desde el host A al host B. Entre los hosts A y B hay tres enlaces (y dos dispositivos de conmutación) y los enlaces no están congestionados (es decir, no existen retardos de cola). El host A divide el archivo en segmentos de S bits y añade 80 bits de cabecera a cada segmento, formando paquetes de $L = 80 + S$ bits. La velocidad de transmisión de cada enlace es de R bps. Calcule el valor de S que minimiza el retardo al transmitir el archivo desde el host A al host B. No tenga en cuenta el retardo de propagación.