

Ejercicios Tema 4. Transporte

Ej.1. ¿Para cuáles de las siguientes aplicaciones no es adecuado el servicio *best effort* de IP?

- Aplicaciones VoIP (Voz sobre IP).
- Web.
- Telealarma contra incendios en un reactor nuclear.
- Correo electrónico.
- TVoIP (Televisión por IP).
- Monitorización remota del tamaño de las colas en un encaminador.

Ej. 2. El tamaño máximo del campo de datos de un segmento TCP es 65.496 B. ¿Por qué crees que es ese tamaño tan extraño (no es potencia de 2)?

Ej. 3. ¿Es posible que haya más de una conexión TCP abierta a través de un solo puerto en una máquina?

Ej. 4. A veces el servicio obtenido por un usuario Web depende del servidor al que accede. Tu máquina tiene instalado un servidor para WWW (por ejemplo, Microsoft IIS), y ahora quieres tener también un servidor de otra marca (por ejemplo, Apache Web Server), de manera que según el cliente que acceda (de un fabricante u otro), se ponga en contacto con un servidor u otro. ¿Qué te parece la idea? ¿Le ves algún problema a nivel de transporte?

Ej. 5. Ciertas implementaciones de TCP/IP optimizan el tamaño máximo de segmento negociado al abrir una conexión, tratando de usar segmentos más grandes sin tener que fragmentarlos. Concretamente, cuando se instalan sobre redes que permiten tamaños superiores al que se toma por defecto (536 B), como es el caso de redes Ethernet, proponen al abrir la conexión otros valores distintos de éste (1.460 B en redes Ethernet), de forma que será la otra parte la que reduzca ese valor si es que no lo puede afrontar, evitando así una fragmentación costosa. ¿Garantiza este mecanismo el que no se vayan a producir fragmentaciones no deseadas? En caso afirmativo, explicar por qué. En caso negativo, dar un ejemplo de conexión TCP en la que se produciría una de esas fragmentaciones indeseadas.

Ej. 6. ¿Qué ocurre cuando un cliente inicia una conexión con un servidor pero, tras enviar el segmento SYN, abandona sin llegar a terminar el procedimiento de apertura en tres pasos? ¿Qué ocurre si son varios los clientes que hacen lo mismo de manera casi simultánea sobre el mismo servidor?

Ej. 7. En TCP, el agotamiento de un temporizador de retransmisión siempre se interpreta como un síntoma de congestión. ¿Tiene algún efecto nocivo el que esa interpretación sea errónea, y el agotamiento de un temporizador venga dado por un error de transmisión en una de las líneas intermedias?

Ej. 8. Se va a desarrollar una aplicación cliente/servidor que descarga ficheros desde un servidor a un cliente en las siguientes condiciones:

- El tamaño de los ficheros oscila entre los 1800 B y los 2.900 B.
- El servidor está ubicado en una red Ethernet.
- El tiempo empleado en la transmisión de datos es despreciable frente al valor del RTT.

¿Qué servicio de transporte usarías en los siguientes casos? Explica las respuestas.

- a) Cada vez que un cliente accede a un servidor descarga un solo fichero.
- b) Cada vez que un cliente accede a un servidor descarga bastantes ficheros.

Los siguientes ejercicios inciden todos en el mismo tema (velocidad alcanzable en las conexiones TCP). Considera en todos ellos para tus cálculos que los tiempos de transmisión de la información de control (cabeceras, ACKs) es despreciable.

Ej. 9. Si entre cliente y servidor de una aplicación distribuida que usa TCP hay un RTT de 100 ms, y el buffer del receptor es de 32 KiB (y por tanto ese es el máximo crédito disponible), ¿Cuál es la máxima velocidad de transmisión alcanzable en una conexión TCP entre cliente y servidor, ignorando la posibilidad de congestiones?

Ej. 10. Cliente y servidor de una aplicación distribuida están conectados a un conmutador (switch) FastEthernet (tarjetas a 100 Mb/s). El cliente descarga ficheros desde el servidor, usando una conexión TCP en la que se registra un RTT constante de 1 ms (un valor tan bajo no es de extrañar estando en el mismo segmento Ethernet). Si el buffer del receptor es de 32 KiB (y por tanto ese es el máximo crédito disponible), ¿cuál es la máxima velocidad de transmisión alcanzable en la descarga del fichero? Observa que no hay encaminadores (routers) en el trayecto entre cliente y servidor y, por tanto, no habrá congestiones.

Ej. 11. Teóricamente la fibra óptica puede transmitir a 75 Tb/s ($1\text{ T}=10^{12}$). ¿Cuál debe ser el máximo RTT para que se pueda aprovechar esa velocidad al máximo usando una conexión TCP, obviando los posibles problemas por congestiones? Orientación: recuerda que el máximo crédito disponible en una conexión TCP, sin usar factor de escala (que es una opción), es de 2^{16} B. ¿A qué distancia, en metros, equivale este RTT? PISTA: velocidad de propagación aproximada: 200.000 Km/s.

Ej. 12. Una conexión TCP está enviando ventanas de tamaño máximo (sin usar factor de escala) por una línea a 1 Gb/s, con un RTT de 20 ms. ¿Cuál es la eficiencia en el uso de la línea? ¿Cuál es la velocidad efectiva?

Ej. 13. Tu socia y tú tenéis un pequeño negocio que ofrece información al público obteniéndola en el momento desde un servidor web en Internet. Para ello accedéis a un ISP (proveedor Internet) mediante ADSL con 2 Mb/s de bajada. Para dar un buen servicio, os resulta crítico el tiempo que se tarda en traer de un servidor los ficheros que contienen la información pedida. En la actualidad, traer un fichero de 570 KiB no os lleva menos de 3 minutos, lo cual escandaliza a tu socia, que esperaba que tardara unos pocos segundos (tiempo necesario para bajar 570 KiB a 2 Mbps).

- a) Enumera las posibles razones por las que se tarda tanto tiempo en recibir la información, exceptuando los errores de transmisión y la posible sobrecarga del servidor web.

Para dilucidar cuál o cuáles de las razones que has aducido antes es la verdadera, te pones a estudiar el problema. Haciendo ping al servidor web, encuentras que el tiempo medio necesario para ir y volver es de 2 segundos, y con un sniffer obtienes los siguientes datos sobre la conexión TCP con que se trae un fichero:

- El crédito que el cliente (receptor del fichero) concede al servidor (emisor) no varía nunca y es igual a 5.840 B.
- El número de retransmisiones que se producen es despreciable.

- b) Con todos esos datos, demuestra a tu socia que es imposible traer el fichero en cuestión en menos de 3 minutos. Al hacer tus cálculos no tengas en cuenta las pérdidas en la conexión TCP debidas a apertura de conexiones ni control de congestiones.

Ej. 14. Sea una máquina con una implementación TCP que limita a 32 KiB el máximo buffer de entrada para cada conexión TCP que mantiene abierta. Tengamos un servidor conectado a una red Fast Ethernet (100 Mb/s). Calcular el máximo RTT que puede haber entre ese servidor y nuestra

máquina para que el buffer de recepción no impida alcanzar la transmisión continua en una descarga TCP desde el servidor. Despreciar las cabeceras al hacer cálculos.

Supongamos que cada encaminador introduce como media un retardo de 5 ms. Si despreciamos el tiempo físico de propagación de la señal, ¿cuántos encaminadores puede haber como máximo en el camino entre el servidor y el cliente para que no haya detenciones en la transmisión a nivel TCP?

Ej. 15. Dos máquinas intercambian a diario un fichero de varios MiB a través de una conexión TCP. Considerando las siguientes condiciones:

- Velocidad de transmisión en el emisor del fichero: 10 Mb/s,
- RTT: 80 ms (constante)
- Crédito TCP: 10.000 B (constante)
- Se produce congestión leve en un encaminador cuando se alcanza una ventana de 8.000 B.
- En las líneas y encaminadores sólo se gestiona el tráfico de esta conexión.
- El tiempo de transmisión de cabeceras y mensajes de control es despreciable.

Resolver las siguientes cuestiones:

- a) Calcula la velocidad de transmisión máxima a nivel TCP.
- b) ¿Qué sería más beneficioso, aumentar la velocidad de transmisión a 100 Mb/s o sustituir el encaminador que se congestiona por otro más potente que no se congestione hasta alcanzar una ventana de 20.000 B?

Ej. 16. En las descargas de Internet que hacemos desde casa hemos medido una velocidad efectiva de 300 Kb/s, pese a que la conexión con nuestro proveedor es de 3 Mb/s. Para determinar cuál es el factor limitante de la velocidad, hemos obtenido los siguientes datos acerca de las descargas:

- Se hacen usando TCP, cuya implementación en nuestra máquina establece un crédito por defecto de 8 KiB.
- Usando ping hemos medido un RTT medio de 80 ms desde los servidores a nuestra máquina.
- Los servidores a que accedemos están ubicados en redes Ethernet, y son servidores dedicados (sólo ejecutan la aplicación de distribución de información).

Con esos datos, ¿qué nos impide obtener una mayor velocidad de descarga: el servidor (su velocidad física de transmisión), el crédito TCP, o la presencia de congestiones en la red? ¿Qué sería mejor solución para mejorar los tiempos de descarga de ficheros: doblar el caudal de bajada de la conexión con nuestro ISP o cambiar de ISP?

Ej. 17. En las descargas de Internet que se hacen desde nuestra red estamos logrando una velocidad efectiva media de tan solo 0,5 Mb/s. Deseosos de mejorarla, estudiamos el asunto, y encontramos:

- Que el crédito que nuestras máquinas conceden a los servidores desde donde descargan es siempre de 8 KiB.
- Los servidores están ubicados en grandes centros de datos con buenas conexiones a Internet, y son servidores dedicados exclusivamente a ofrecer acceso a esos ficheros por Internet.
- El RTT que medimos entre nuestras máquinas y los servidores es, de media, 50 ms. Analizamos las componentes de ese valor usando traceroute, y nos encontramos con que 5 ms se corresponden con el tramo recorrido por los datagramas desde los servidores hasta nuestro ISP, 40 ms al tramo que atraviesa la red del ISP, y otros 5 ms al tramo interno de nuestra red.

- a) ¿Qué harías para mejorar la velocidad media de descarga? ¿Por qué?
- b) Supongamos que decides cambiar de ISP, y te encuentras con que el RTT medio sube hasta 80 ms. Sin embargo, la velocidad de descargas sube también hasta 0,8192 Mb/s. ¿Cómo explicas esta aparente paradoja (si aumenta el retardo, lo lógico es que descienda la velocidad efectiva)? ¿Qué medidas tomarías ahora para mejorar la velocidad efectiva?

Ej. 18. Hemos adquirido una aplicación para la transferencia de ficheros basada en TCP (el buffer del receptor es de 32 KiB). Gracias a ello podremos intercambiar ficheros entre nuestras sedes de San Sebastián y Trondheim. En ambas sedes disponemos de una conexión SDSL que nos proporciona velocidades de subida y bajada de 1Mb/s. Hemos realizado una prueba inicial, enviando un fichero de 5 MiB y el tiempo necesario ha sido de 46 s.

- a) ¿Te parece un tiempo razonable?
- b) ¿Aumentar el buffer del receptor garantizaría una reducción del tiempo de transmisión?

Ej. 19. Queremos descargar un fichero desde un servidor de Internet. El protocolo de transferencia utilizado gestiona el trasiego de datos a través de una sola conexión TCP.

- a) Calcula la velocidad máxima de bajada teniendo en cuenta que:
 - a. El crédito otorgado por la máquina cliente es de 64 KiB durante toda la conexión TCP.
 - b. Tanto el cliente como el servidor están conectados a Internet a través de enlaces Gigabit Ethernet.
 - c. El RTT es siempre 50 ms o superior.
- b) Explica las condiciones que han de cumplirse para poder mantener dicha velocidad máxima (en otras palabras, qué podría pasar para que se redujera la velocidad).

Ej. 20. Utilizando una conexión TCP, hemos descargado un fichero de 100 GiB desde un servidor a nuestro ordenador, utilizando dos configuraciones de red diferentes:

- a) Ambas máquinas están conectadas a un mismo conmutador en una red local FastEthernet. El valor de RTT nunca será superior a 1 ms.
- b) Ambas máquinas están ubicadas en Internet, con un RTT entre ambas de 100 ms y un ancho de banda garantizado entre ambos extremos de 100 Mb/s.

El crédito por defecto es de 80 KiB (tamaño de la ventana). ¿Cuanto tiempo necesitaremos para descargar el fichero en cada uno de los supuestos?

Ej. 21. Se transmite un acontecimiento en directo por Internet mediante streaming, y quieres verlo. Datos de partida:

- Tu conexión en casa es de 5 Mb/s para descarga.
- La retransmisión se hace en dos calidades, de las que el espectador selecciona una: estándar, a 1,5 Mb/s, y en alta definición, a 4 Mb/s.
- El servidor transmite usando una conexión TCP por espectador.
- Haces ping al servidor, y mides un RTT medio de 200 ms.
- Usas una máquina linux, cuyo buffer de recepción para conexiones TCP es por defecto 87.380 B.

Responde a las siguientes cuestiones:

- a) ¿Es posible ver la transmisión con calidad estándar? En caso afirmativo detallar las condiciones necesarias para que se pueda ver. En caso negativo demostrar por qué es imposible.
- b) ¿Es posible ver la transmisión en alta definición? En caso afirmativo detallar las condiciones necesarias para que se pueda ver. En caso negativo demostrarlo.

Ej. 22. Eres el encargado de gestionar un sitio web especializado en la transferencia de ficheros de gran tamaño entre usuarios. Funciona de la siguiente forma: el usuario A sube un fichero al servidor F y recibe un link (enlace). A partir de este momento, A puede comunicar el link a sus colaboradores. Cualquiera de los colaboradores, a través del link, puede acceder al sitio web y descargar el fichero F. El protocolo utilizado a nivel de transporte es TCP.

Uno de los usuarios nos remite una queja, indicando que la velocidad de descarga es muy baja: el navegador que utiliza le indica que la tasa de descarga es de 500 KB/s para un fichero de un 1 GiB.

Realizamos distintos análisis para tratar de identificar las causas y recogemos la siguiente información:

1. La capacidad de transferencia de nuestro servidor (máxima) es de 10 Gb/s. En el momento de la transferencia, el servidor estaba atendiendo 100 peticiones simultáneas.
 2. Cada transferencia se realiza utilizando una sola conexión TCP.
 3. Las características de la conexión ADSL del usuario son: 10 Mb/s bajada, 1 Mb/s subida.
 4. Ordenador del usuario: sólo está en ejecución el navegador y, además, dedicado a la transferencia indicada.
 5. El RTT entre nuestro servidor y el equipo del cliente es de 200 ms. No se observa ningún indicio de congestión en la red.
- a) ¿Dispones de información suficiente para explicar las razones de la baja velocidad? Explícalo, con números (siempre que puedas calcularlos).
- b) ¿Qué velocidad percibiría el usuario para cada una de las conexiones si estuviese descargando simultáneamente dos ficheros de 1 GiB cada uno?

Ej. 23. Tu empresa ha decidido contratar un servicio de almacenamiento en la nube (copias de seguridad) con un proveedor externo. La empresa está organizada en 3 departamentos, y estás pensando en implementar la política de copia de seguridad más rápida de entre estas dos:

1. Comprimir todos los ficheros en un único archivo zip (3 GiB). Utilizar una conexión FTP (utiliza TCP) para almacenar el fichero en el servidor remoto.
2. Crear un archivo zip por sección (1 GiB por archivo). Utilizar 3 conexiones FTP simultáneas para almacenar los ficheros en el servidor remoto.

Has observado, tras unos experimentos iniciales, que el valor de RTT es de 50 ms y que el tamaño de ventana de TCP es de 64 KiB (donde $Ki=2^{10}$). Dispones de una conexión de fibra con Internet, con una velocidad de subida de 20 Mb/s y una velocidad de bajada de 300 Mb/s.

Responde a las siguientes cuestiones:

- a) Proporciona una estimación del tiempo mínimo necesario para almacenar los datos para la opción 1 y para la opción 2.
- b) ¿Qué medidas tomarías para reducir los tiempos necesarios para realizar la copia de seguridad en cada una de las opciones?

Ej. 24. Hemos desarrollado una aplicación para medir la velocidad de nuestra conexión a Internet (la velocidad de bajada contratada es de 10 Mb/s). La aplicación funciona descargando un fichero de datos de gran tamaño (S bits) durante un determinado tiempo (T segundos), desde un servidor en Internet al equipo en el que se está ejecutando la aplicación, utilizando una conexión TCP a la que asignamos un crédito de 2^{20} B. La aplicación nos indica la velocidad de la conexión.

Hemos realizado dos pruebas con nuestra aplicación, descargando ficheros desde dos servidores distintos.

- Características del Servidor A:
 - o Velocidad de subida: 100 Mb/s.
 - o RTT promedio con nuestro PC: 20 ms (mediciones entre 19 ms y 21 ms).
 - o Medidas proporcionadas por nuestra aplicación: 9,2 Mb/s, 9,0 Mb/s, 9,1 Mb/s, 9,2 Mb/s y 9,1 Mb/s .
- Características Servidor B:
 - o Velocidad de subida: 1 Gb/s
 - o RTT promedio con nuestro PC: 75 ms (mediciones entre 29 ms y 300 ms)
 - o Medidas proporcionadas por nuestra aplicación: 5 Mb/s, 4 Mb/s, 7 Mb/s, 9 Mb/s y 6 Mb/s .

Nota: Asumimos que todos los datagramas pertenecientes a la misma conexión siguen el mismo camino.

- a) ¿Deberíamos estar satisfechos con los resultados obtenidos al conectarnos a A? ¿Y al conectarnos a B? Explica que es lo que podría estar pasando para obtener los resultados mostrados al conectarnos a B.
- b) Supón que desarrollamos una nueva versión de la aplicación, utilizando UDP en vez de TCP. ¿Cómo afectaría al diseño de la aplicación (recepción de ficheros)? Indica también el impacto que podría tener en las comunicaciones con el servidor B.

Ej. 25. Estas diseñando una aplicación en la que el cliente descarga ocasionalmente un archivo del servidor. ¿Qué servicio de transporte utilizarías en cada uno de estos casos? Explica las respuestas

- a) El archivo es de 500 B.
- b) El archivo es de 500 MiB.
- c) El archivo puede ser de cualquier tamaño.

Ej. 26. Como hemos visto en el laboratorio, DHCP utiliza UDP para enviar/recibir los mensajes DHCP. ¿Por qué?

Ej. 27. Estás desarrollando una aplicación cliente/servidor para descargar ficheros de gran tamaño desde un servicio de almacenamiento distribuido. Le llamamos “distribuido” porque el servicio de almacenamiento se ofrece por medio de varios servidores, todos ellos conectados a Internet por enlaces de muy alta velocidad. Cada uno de los ficheros almacenados en el sistema está troceado y cada uno de los trozos está replicado en varios de los servidores que componen el sistema. La aplicación funciona de la siguiente manera:

1. El cliente se conecta a cualquiera de los servidores y solicita un fichero.
2. El servidor responde al cliente enviándole la lista de trozos que componen el fichero. En la lista encontramos, por cada trozo, su identificador y la lista de servidores que disponen de ese trozo.
3. El cliente descarga los trozos utilizando TCP hasta que consigue todos los trozos que componen el fichero. Para conseguir el mayor ancho de banda posible, el cliente utiliza varias conexiones TCP simultáneas. El número óptimo de conexiones lo calcula al principio y lo mantiene constante durante todo el proceso de descarga del fichero.

Tenemos un cliente usando este servicio con las siguientes características:

- Una conexión de fibra óptica FTTH de 100 Mb/s simétricos.
- Una ventana TCP de 65.535 Bytes.

El RTT respecto a todos los servidores es el mismo: 50 ms.

- a) Con la información proporcionada calcula la velocidad máxima de descarga que conseguirá la aplicación y la que conseguiría en caso de usar una única conexión TCP. Asume que los ficheros son de gran tamaño y que las sobrecargas (apertura/cierre de conexión, procesado de la información correspondiente a la ubicación de los trozos...) son despreciables.
- b) Supón que se produce una congestión en la red. ¿Cómo contribuye la aplicación a controlar la congestión? ¿Cómo afectará esto a la velocidad de descarga?
- c) Imagina que volvemos a implementar la aplicación usando UDP. Es decir, una vez conocida la ubicación de los trozos, cada trozo es transmitido usando UDP. Si un trozo se pierde, el servidor lo vuelve a enviar. Si se produce una congestión con esta implementación, ¿cómo contribuirá la aplicación a controlarla? ¿Cómo afectará esto a la velocidad de descarga?

Ej. 28. Entre dos computadoras conectadas por Internet, enviamos un archivo de 5 MiB en 45 s utilizando una conexión TCP. Sabiendo que la conexión de red entre ambas computadoras es de

10 Mb/s, (a) ¿Qué velocidad real se ha alcanzado? (b) ¿Por qué esta diferencia entre la velocidad disponible y la velocidad lograda por TCP?

Ej. 29. En tu casa tienes una conexión a Internet por fibra a 50 Mb/s. En un momento determinado hay 4 usuarios conectados a Internet de forma simultánea:

- Los usuarios 1 y 2 están realizando una videoconferencia, cada uno desde su dispositivo. La aplicación de videoconferencia funciona creando una conexión TCP por cada asistente. El audio y el vídeo de cada usuario es enviado al servidor a través de esta conexión. A su vez, el audio y el vídeo del resto de asistentes es recibido desde el servidor a través de la misma conexión. Para aportar la mejor experiencia posible, la aplicación utiliza tanto ancho de banda como le sea posible.

- Los usuarios 3 y 4 están conectados a un servidor de streaming de vídeo. Los vídeos se descargan usando UDP y el usuario puede seleccionar la calidad deseada: muy alta (requiere 20 Mb/s), alta (requiere 15 Mb/s) y buena (requiere 10 Mb/s).

El RTT medido para el servidor de videoconferencias es de 60 ms. Para el servidor de streaming el RTT es muy bajo (15 ms) ya que tu ISP sirve el vídeo directamente. El tamaño máximo de las ventanas en TCP (crédito) es 65536 B en todos los casos.

Explica cuál será la calidad más adecuada para el streaming de los usuarios 3 y 4 con el objetivo de obtener la mayor calidad posible, sin afectar las videoconferencias de los usuarios 1 y 2.

Ej. 30. Un profesor os ha enviado 5 enlaces para que descarguéis 5 ficheros que necesitáis para hacer un trabajo. Cada fichero es de 1 GiB (2^{30} Bytes). Un compañero y tú habéis decidido aprovechar que estáis en un laboratorio de la Facultad para descargar los ficheros. Como los ficheros son bastante grandes, has decidido hacer las descargas una a una, por lo que haces clic en el primer enlace y comienza la descarga en el navegador.

Aunque tú esperabas que, al usar una red FastEthernet (100 Mb/s), la descarga tardaría aproximadamente un minuto y medio, en realidad ha tardado casi 9 minutos. Cuando vas a comenzar con la descarga del segundo fichero te das cuenta de que tu compañero ha completado ya la descarga de los 5 ficheros. La única diferencia aparente es que él ha abierto 5 pestañas del navegador y ha iniciado las descargas de forma simultánea.

Intentas averiguar qué ha podido pasar y compruebas que las características relacionadas con la red son iguales: todos los ordenadores del laboratorio tienen el mismo hardware y están conectados al mismo switch. De hecho, una comprobación te confirma que ambos obtenéis un RTT de 4 ms y que la ventana de recepción y, por tanto, el crédito máximo que ofrecéis al emisor, es de 8192 Bytes. Además, sabes que el servidor está en la misma red del laboratorio, por lo que no puede ser un problema de congestión.

- a) ¿Por qué ha podido descargar tu compañero los 5 ficheros en el tiempo que tú descargabas solo 1?
- b) ¿Cuánto tiempo crees que tardaría tu compañero en hacer la descarga si fueran 10 ficheros de 1 GiB y usara 10 pestañas del navegador para ello?
- c) Resulta que una compañera que acaba de llegar también ha empezado a descargar un único fichero (igual que tú), pero ha tardado aproximadamente la mitad de lo que has tardado tú. La diferencia es que ha arrancado el ordenador en Linux, mientras que tú y tu compañero anterior lo habíais arrancado en Windows. ¿Cuál crees puede ser el factor que haga que su descarga haya sido dos veces más rápida?

Ej. 31. En el PC de tu casa tienes una aplicación que sube ficheros a un servicio de almacenamiento usando una conexión TCP. Tienes una conexión a Internet de fibra óptica de 50 Mb/s simétricos y has medido un RTT de 20 ms con el servidor de almacenamiento.

- a) ¿Cuál debe ser el tamaño de la ventana que ofrece el servidor (buffer de entrada del servidor) para aprovechar todo el ancho de banda que ofrece tu conexión a Internet?

- b) Debido a la implementación de TCP en el servidor, el buffer de recepción de sus conexiones TCP es de 32 KiB. ¿Cuántas conexiones simultáneas necesitarías establecer con el servidor para aprovechar todo el ancho de banda que ofrece tu conexión a Internet?

Ej. AUTOEVALUACIÓN.

Control de la congestión		Puerto		TCP	
UDP		RST		Segmento	
SYN		Velocidad TCP efectiva		Saludo en tres pasos	
Slow start		Congestión-avoidance		Control de flujo	
Límite de congestión		Servicio best-effort		Crédito	
RTT		BDP		FIN	

- (1) En el nivel de transporte, el identificador de una entidad de aplicación.
- (2) Un protocolo de transporte utilizado para proporcionar un servicio fiable.
- (3) Un protocolo de transporte para el uso de servicios ligeros.
- (4) Servicio sin garantías.
- (5) Garantizar que el emisor no ahogue al receptor.
- (6) Control realizado para no transmitir más tráfico del que la red pueda transportar.
- (7) El tiempo que transcurre desde que se envió el paquete hasta que es recibido el ACK de ese paquete.
- (8) Cantidad de bytes que el emisor puede enviar al receptor.
- (9) Uno de los algoritmos utilizados en el control de la congestión.
- (10) Tamaño mínimo del bufer de emisión para conseguir transmisión continua.
- (11) Número de bytes que quedan libres en el bufer del receptor TCP.
- (12) Límite del tamaño del búfer emisor para evitar el riesgo de aparición de congestión.
- (13) Conjunto de segmentos intercambiados para establecer una conexión TCP.
- (14) Tipo de segmento utilizado para solicitar una conexión TCP (apertura activa).
- (15) Tipo de segmento utilizado para finalizar una conexión TCP.
- (16) Unidad de información que definen y utilizan los protocolos TCP.
- (17) Tipo de segmento utilizado para interrumpir una conexión TCP.
- (18) Velocidad de transmisión lograda en una conexión TCP, teniendo en cuenta las pausas.

SOLUCIONES:**Ej. 2.**

$65496 + 20 \text{ (cabecera IP)} + 20 \text{ (cabecera TCP)} = 2^{16}$. Para más información, véase RFC-879.

Ej. 3.

Es el escenario típico en servidores. Por ejemplo, es habitual que un servidor web reciba peticiones de múltiples usuarios de manera simultánea.

Ej. 4.

Es un problema de puertos. Ambos servidores no pueden utilizar el puerto 80. Seleccionar un puerto distinto para cada servidor resolvería el problema (pero el cliente debería estar al tanto de ello).

Ej. 5.

No. Puede que nuestro segmento, en su camino hacia el destino, cruce una red con una MTU más pequeña, y por lo tanto será fragmentado (y reensamblado en destino).

Ej. 6.

Es un caso típico de conexión “medio-abierta”. El servidor prepara estructuras de datos para la conexión, pero esta no se produce. Si sucede muchas veces puede provocar una sobrecarga en el servidor (ataque por denegación de servicio).

Ej. 7.

El mecanismo definido para evitar la congestión reducirá la cantidad de datos enviados cuando no era necesario. Este hecho afectará al rendimiento, aunque de manera limitada.

Ej.8.

a) UDP. La descarga del fichero implicará el envío de pocos datagramas. Si el tiempo de transmisión depende del RTT la apertura y cierre de conexión supondrá tanto o más que el envío del propio fichero. Habría que implementar un control de errores en la propia aplicación.

b) TCP. En este caso se enviarán muchos datagramas con lo que el coste de abrir y cerrar la conexión se compensa.

Ej. 9.

$\text{MaxVel} = W / \text{RTT}$. $W = 32 * 1024 * 8 \text{ b}$, $\text{RTT} = 0,1 \text{ s}$. $\text{MaxVel} = 2,62 \text{ Mb/s}$.

Ej. 10.

$\text{MaxVel} = 262 \text{ Mb/s} \rightarrow 100 \text{ Mb/s}$

Ej. 11.

$\text{RTT} = W / V = 2^{16} * 8 \text{ b} / 75 * 10^{12} \text{ b/s} \rightarrow 7 \text{ ns}$. Distancia = 1,4 m.

Ej. 12.

Velocidad efectiva: $W / \text{RTT} = 2^{16} * 8 \text{ b} / 0,02 \text{ s} \rightarrow 26,2 \text{ Mb/s}$. Eficiencia: 2,62%.

Ej. 13.

Puede que el crédito TCP sea muy bajo, o que exista congestión en algún punto. En base a la información obtenida, $\text{MaxVel} = W / \text{RTT} = 5.840 * 8 \text{ b} / 2 = 23.360 \text{ b/s}$. Para un fichero de $570 * 1.024 * 8 \text{ b}$, el tiempo de transmisión sería de 199,89 s.

Ej. 14.

$RTT = W/V = 32 \cdot 1.024 \cdot 8 \text{ b} / 100 \cdot 10^6 \text{ Mb/s} \rightarrow 2,62 \text{ ms}$. Cero encaminadores.

Ej. 15.

a) $\text{MaxVel} = W/RTT = 1 \text{ Mb/s}$. b) Sustituir el encaminador.

Ej. 16.

Parece que existe congestión. Según W y RTT , la velocidad alcanzable sería de 819 Kb/s (menor que 3 Mb/s pero casi tres veces superior a 300 Kb/s). Duplicar la velocidad sería inútil.

Necesitaríamos rutas menos congestionadas (y, a ser posible, menor RTT). Realizar descargas en paralelo podría ayudarnos (si no aparecen nuevas causas de congestión), pues los límites observados se refieren a una única conexión.

Ej. 17.

a) La velocidad obtenida es menor que la esperada para ese crédito y retardo. Visto esto y el resultado de traceroute se puede inferir que la red del ISP está congestionada. Lo mejor sería cambiar de ISP.

b) Es la velocidad efectiva esperada para el crédito y retardo obtenidos. El aumento de velocidad se debe a la desaparición de la congestión. La forma más sencilla de aumentar la velocidad efectiva pasa por aumentar el crédito o usar conexiones TCP paralelas.

Ej. 18.

a) En un escenario “ideal”, donde el buffer del receptor no limita la velocidad, el tiempo de propagación es despreciable y no existen factores externos (congestión, etc.), el tiempo necesario sería $5 \text{ MiB} / 1 \text{ Mb/s} = 5 \cdot 1.024 \cdot 1024 \cdot 8 \text{ b} / 1.000.000 \text{ b/s} = 41,94 \text{ s}$. Por lo tanto, un tiempo de 46 s es razonable (eficiencia del 91%).

b) No. Se trata de una conexión entre dos puntos a través de Internet, por lo que existen factores externos que no podemos controlar: RTT , congestiones, etc.

Ej. 19.

a) Velocidad máxima = Crédito / $RTT = 10,48 \text{ Mb/s}$, claramente inferior a la velocidad del enlace (1 Gb/s).

b) No debería haber errores ni congestión en la transmisión, RTT debería ser 50 ms, el fichero debería ser lo suficientemente grande como para ignorar “el coste” de abrir/cerrar la conexión TCP.

Ej. 20.

a) $\text{Vel} = W/RTT \geq 655,36 \text{ Mb/s}$. Como la velocidad máxima es 100 Mb/s (FastEthernet), el mejor caso está limitado por dicha velocidad. A 100 Mb/s necesitamos $(100 \cdot 2^{30} \cdot 8 \text{ b} / 100 \cdot 10^6 \text{ b/s}) = 8.590 \text{ s}$.

b) $\text{Vel} = W/RTT = 6,55 \text{ Mb/s}$. Cómo es menor que la capacidad del enlace (100 Mb/s), no se consigue transmisión continua. En este caso necesitamos $(100 \cdot 2^{30} \cdot 8 \text{ b} / 6,5536 \cdot 10^6 \text{ b/s}) = 131.072 \text{ s}$.

Ej. 21.

Basándonos en que la capacidad (velocidad efectiva) se puede aproximar por W/RTT , sabiendo que $W = 87.380 \text{ B}$, y $RTT = 200 \text{ ms}$, tenemos que $W/RTT = 3,49 \text{ Mb/s}$. Como, lógicamente, la velocidad “teórica” no puede superar a la física (5 Mb/s), nos quedaríamos con la menor (en este caso, 3,49 Mb/s).

a) Sí es posible. Para ello debe cumplirse:

- En todo el trayecto de red entre servidor y cliente debe haber disponible un mínimo de 1,5 Mb/s para esta conexión, durante el tiempo que dure la transmisión.

- No puede haber congestiones durante la transmisión (en realidad, esto está incluido en la premisa anterior).
- No puede producirse una tasa de errores de transmisión que haga bajar la ventana de congestión por debajo de $1,5 \cdot 10^6 \text{ b/s} \cdot 0,2 \text{ s} = 300.000 \text{ b} \rightarrow 37.500 \text{ B}$.
- El RTT debe mantenerse estable en torno a 0,2 s.

b) Es imposible. El buffer de recepción (crédito) TCP es insuficiente.

Ej. 22.

a) Velocidad percibida: 500 KB/s \rightarrow 4 Mb/s.

Velocidad física en el servidor: 10 Gb/s entre 100 conexiones, 100 Mb/s por conexión.

Velocidad física de descarga en el cliente: 10 Mb/s

Con todo esto podemos afirmar que el cuello de botella no es la velocidad de la conexión. Las congestiones están explícitamente descartadas. Solo puede ser un problema de insuficiencia de crédito.

b) La misma que una sola: 4 Mb/s, dado que hay canal físico suficiente para las dos. El problema seguirá siendo el crédito en cada una de ellas, siempre y cuando no aparezcan congestiones en el recorrido de descarga, bien derivadas por un canal físico de menos de 8 Mb/s, bien derivadas de un encaminador congestionado.

Ej. 23.

a) La velocidad física de subida es de 20 Mb/s. Teniendo en cuenta los datos que nos proporcionan, puedo calcular la velocidad máxima en base a los parámetros de TCP, es decir, W / RTT . Como $W = 64 \text{ KiB}$ y $\text{RTT} = 50 \text{ ms}$, la velocidad máxima es de 10,49 Mb/s. Para el primer caso, una conexión por la que transferimos 3 GiB, el tiempo necesario será $3 \text{ GiB} / 10,49 \text{ Mb/s}$ (el factor limitante es la conexión TCP, no el enlace físico) = 2.457,6 s. Para el segundo caso, dispongo de 3 conexiones simultáneas, pudiendo alcanzar cada una 10,49 Mb/s. Por desgracia, nuestro enlace es de 20 Mb/s y, por ello, cada conexión se ajustaría a 1/3 de la capacidad. En este caso, enviaríamos los 3 GiB (1+1+1) a 20 Mb/s, así que el tiempo total será de 1.288,5 s.

b) En el primer caso, el factor limitante es el crédito TCP, por lo que trataría de negociar con el proveedor (servidor) un tamaño de ventana mayor. En el segundo caso, disponer de una velocidad de subida mayor me permitiría reducir el tiempo de transmisión.

Ej. 24.

a) Servidor A. Si calculamos W/RTT , vemos que se puede alcanzar una transmisión continua, y por lo tanto 10 Mb/s (la velocidad contratada) es el límite. Como las velocidades obtenidas están en torno a 9 Mb/s, deberíamos estar bastante satisfechos (habría que tener en cuenta las sobrecargas de los protocolos).

Servidor B. También tenemos transmisión continua (límite 10 Mb/s), pero en este caso la velocidad obtenida es, por lo general, bastante menor, y además existe más variabilidad. A la vista de las mediciones de RTT obtenidas, lo más probable es que exista congestión en la red de comunicaciones. Debido a ello, habrá pérdidas de datagramas, y por consiguiente retransmisiones. Además, se dispararán los mecanismos de control de congestión de TCP.

b) Si utilizásemos UDP en vez de TCP, estaríamos en la obligación de gestionar, a nivel del protocolo de aplicación, el control de errores. Además también sería recomendable incluir el control de flujo. No es sencillo decir si funcionaría mejor o peor que la versión TCP.

Ej. 25.

a) UDP b) TCP c) TCP

Ej. 26.

Porque utiliza broadcast (*discovery*) y también es de tipo pregunta/respuesta.

Ej. 27.

- a) Si abre tantas conexiones como sea necesario podrá llegar a obtener la velocidad nominal de 100 Mb/s. Una única conexión estaría limitada a 10,5 Mb/s: $65535 \times 8 \text{ b} / 0,05 \text{ s} = 10,4856 \times 10^6 \text{ b/s}$. De ahí se puede deducir que la aplicación abrirá 10 conexiones TCP para aprovechar todo el ancho de banda ($100 \text{ Mb/s} / 10,5 \text{ Mb/s} = 9,5$).
- b) Dado que la aplicación usa TCP, se activarán los mecanismos de control de congestión de TCP. Esto hará que inicialmente la velocidad de la descarga se reduzca para que la red se descongestione y poco a poco irá aumentando.
- c) Dado que UDP no realiza control de congestión la aplicación no tomará ninguna medida para corregirla. La pérdida de paquetes provocada por la congestión será respondida por la aplicación volviendo a solicitar los trozos perdidos, generando, por tanto, más tráfico que contribuirá a una mayor congestión. Esto hará que la pérdida de paquetes sea mayor y la congestión se acentúe, haciendo que la velocidad de descarga resultante se vea reducida drásticamente.

Ej. 28.

- (a) $5 \times 2^{20} \times 8 \text{ b} / 45 \text{ s} \rightarrow 932 \text{ Kb/s}$
- (b) Puede haber dos razones: (1) Pérdidas debido a congestión o errores de transmisión, (2) La transmisión no es continua: porque el búfer del receptor es insuficiente o porque el destinatario no puede procesar lo recibido más rápido.

Ej. 29.

Las conexiones por videoconferencia consumirán un ancho de banda máximo de $W/RTT = 65536 \text{ B} \times 8 / 0,06 \text{ s} = 8,7 \times 10^6 \text{ b/s} \rightarrow 8,7 \text{ Mb/s}$. Al ser dos conexiones consumirán conjuntamente 17,4 Mb/s como máximo. Dado que la conexión por fibra nos da un ancho de banda de 50 Mb/s de bajada, sabemos que las videoconferencias no se verán afectadas si el resto de usuarios no ocupan más de $50 - 17,4 = 32,6 \text{ Mb/s}$. Por tanto, los usuarios de streaming pueden usar la calidad alta ($15 + 15 = 30 \text{ Mb/s}$) o uno la muy alta y el otro la buena ($20 + 10 = 30 \text{ Mb/s}$).

Ej. 30.

- a) Con ese crédito y ese RTT la velocidad máxima que puede obtener una conexión TCP es $8192 \times 8 \text{ b} / 0,004 \text{ s} \rightarrow 16,384 \text{ Mb/s}$. Dado que la velocidad nominal es 100 Mb/s, podemos tener 5 conexiones TCP simultáneas sin llegar a saturar la conexión FastEthernet ($5 \times 16,384 \text{ Mb/s} < 100 \text{ Mb/s}$). Todas las conexiones descargarán a la velocidad máxima de 16,384 Mb/s.
- b) Si usamos 10 conexiones TCP, entre todas solicitarán $10 \times 16,384 \text{ Mb/s} = 163,84 \text{ Mb/s}$ a la red. Dado que la velocidad nominal es inferior (100 Mb/s) no podrán alcanzar esa velocidad y cada conexión TCP descargará el fichero a $100 \text{ Mb/s} / 10 = 10 \text{ Mb/s}$. A esta velocidad el tiempo de descarga será $t = 2^{30} \times 8 \text{ b} / 10 \times 10^6 \text{ b/s} = 859 \text{ s} \rightarrow 14,32 \text{ minutos}$
- c) Si la conexión es la misma y el RTT no ha cambiado, lo más lógico es que haya cambiado el crédito disponible. Parece que, en este caso, el sistema operativo Linux asigna una ventana de recepción más grande que el sistema operativo Windows, por lo que ofrece un crédito mayor a la otra parte. Si la descarga ha sido 2 veces más rápida, el tamaño de la ventana de recepción será 2 veces mayor ($8192 \text{ B} \times 2 = 16384 \text{ B}$) y, por tanto, el límite de velocidad de la conexión TCP será 2 veces mayor ($16384 \times 8 \text{ b} / 0,004 \text{ s} \rightarrow 32,768 \text{ Mb/s}$).

Ej. 31.

- a) Si estimamos la velocidad obtenida con $V=W/RTT$, podemos despejar W. $W = V \times RTT = 50 \times 10^6 \text{ b/s} \times 0,02 \text{ s} = 10^6 \text{ b}$. Pasándolo a bytes, $W = 122 \text{ KiB}$.
- b) Si necesitamos una ventana de 122 KiB y cada conexión cubre 32 KiB, necesitaremos $122 \text{ KiB} / 32 \text{ KiB} = 3,8 \rightarrow 4$ conexiones TCP simultáneas.

Ej. AUTOEVALUACIÓN.

Control de la congestión	6	Puerto	1	TCP	2
UDP	3	RST	17	Segmento	16
SYN	14	Velocidad TCP efectiva	18	Saludo en tres pasos	13
Slow start	9	Congestión-avoidance	9	Control de flujo	5
Límite de congestión	12	Servicio best-effort	4	Crédito	8,11
RTT	7	BDP	10	FIN	15