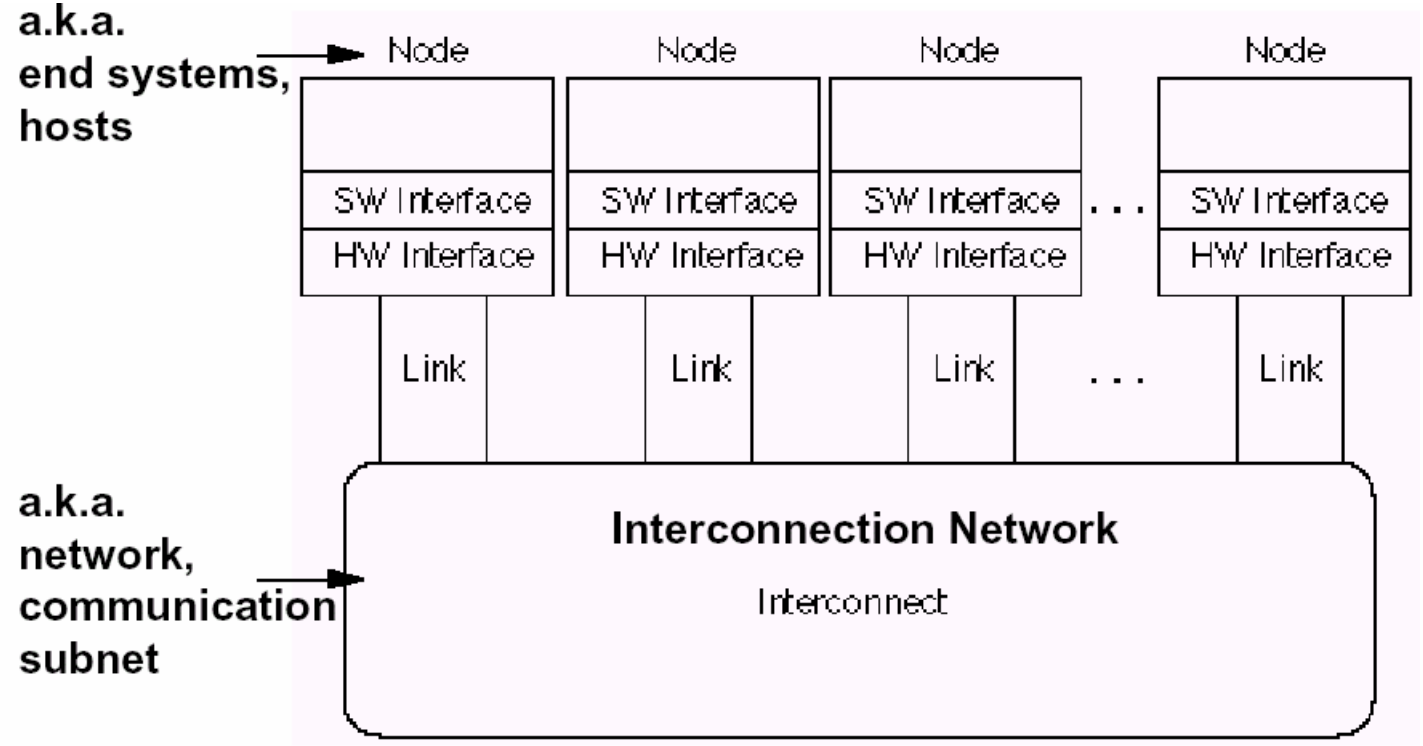
Redes

- Introducción
- Una red elemental
- Concepto de protocolo
- Medidas de rendimiento de una red
- Conexión computador-red
- Conexión de más de dos computadores
- Arquitecturas de protocolo

1. Introducción: objetivos y motivación

- Objetivo principal:
  - Comunicación entre computadores
- Objetivo eventual:
  - Formar un **gran computador** conectando una colección de computadores que comparten recursos (*cluster*)
- Redes y diseño de computadores
  - También **dentro del computador** los **conmutadores** (típicos de redes) están reemplazando a los buses como base de la comunicación => Para diseñar un computador hay que conocer técnicas propias de redes
  - Los computadores de hoy deben estar **capacitados para conectarse a redes**

Introducción:
Estructura genérica de una red



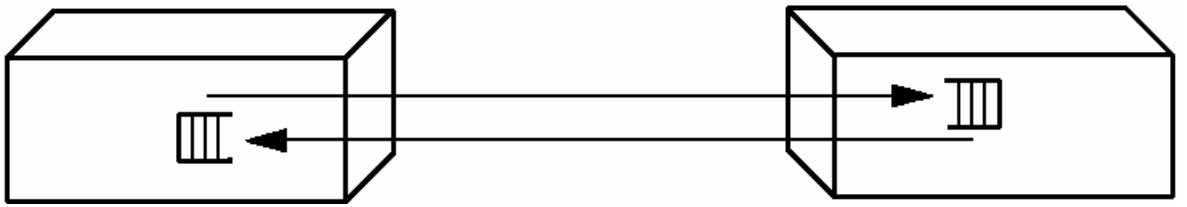
Introducción: tipos de redes

- En función del número de nodos y su proximidad:
  - **WAN** (*Wide Area Network*)
    - ✓ **Miles** de computadores distribuidos por todo el mundo. Ejemplo: **ATM**
  - **LAN** (*Local Area Network*)
    - ✓ **Cientos** de computadores distribuidos en un edificio o en un campus. Ejemplo: ***Ethernet***
  - **SAN** (Originalmente "*System A. N.*", pero recientemente "*Storage A. N.*")
    - ✓ Puede conectar **cientos** de nodos a **menos de 100 m** de distancia. Los nodos son computadores y dispositivos de almacenamiento (p. ej., arrays de discos). Ej.: ***Infiniband***

Tipos de redes (cont.)

- Por el número de nodos hay **solapamiento**, y por ende, **competencia**, buses/SAN, SAN/LAN y LAN/WAN
- Distintos ámbitos => diferencias de nomenclatura:
  - WAN: ámbito de telecomunicaciones e Internet
  - LAN: ámbito de empresa, trabajo en grupo
  - SAN: ámbito de supercomputación, almacenamiento
- ***Internetworking***: conexión de varias redes =>
  - Necesidad de estándares de comunicación para convertir información de una clase de red a otra. Ej.: **Internet**

2. Una red elemental



- Dos computadores
  - Una conexión unidireccional en cada sentido
  - Una cola (FIFO) en cada computador

Comunicación en la red

- Comunicación elemental:
  - Un computador solicita un dato enviando la **dirección** que quiere leer
  - El otro le envía el **dato**
- **Formato** elemental
  - Campo (1 bit) para distinguir si lo que se envía es un dato o una dirección: **encabezamiento (*header*)**
  - Campo que contiene la dirección o el dato: ***payload*** (“carga útil”)

Problemas en un caso más realista

- Si la red conecta **más de dos computadores**
  - Añadir al formato un campo para **determinar el nodo destino**
- Si en el nodo destino hay **varios procesos en ejecución**
  - Es preciso algún modo de **distinguir entre procesos** (por ejemplo ampliar el encabezamiento)
- El **mensaje puede deteriorarse** en el camino
  - Necesario un **campo de detección de error** (**C.D.E.**)
- El mensaje **puede perderse**
  - Si transcurrido un **tiempo** no se recibe respuesta. El mensaje se da por perdido. La solicitud **se reenvía**

Pasos software del emisor de un mensaje en nuestra red elemental

- La aplicación **copia** los datos por enviar a un ***buffer*** del sistema operativo
- El SO calcula el **CDE**, construye el mensaje e inicia el **temporizador**
- El SO coloca el mensaje en el **interfaz hardware** de red y le ordena que lo envíe a través de la red de interconexión
- ¿Se recibe señal de **reconocimiento** antes de que transcurra el tiempo establecido?
  - **Sí**: **se libera** el **espacio en el *buffer*** ocupado por la copia del mensaje
  - **No** (*time-out*): **se reenvía** el mensaje y se reinicia el temporizador

Pasos software del receptor

- El proceso es el **inverso**, es decir, los pasos son:
  - El SO copia los datos del **interfaz hardware** de red en el ***buffer*** del SO
  - El SO **calcula el CDE** en función de esos datos
  - **¿CDE calculado coincide con el recibido?**
    - ✓ **No**: **se borra** el mensaje recibido (**el emisor lo reenviará** transcurrido un tiempo)
    - ✓ **Sí**:
      - El receptor envía un **mensaje de reconocimiento** al emisor
      - El SO **copia los datos** en el espacio de direcciones del usuario y deja a la **aplicación** que **continúe** su ejecución

3. Concepto de protocolo

- Protocolo: conjunto de **reglas que gobiernan el intercambio de información** a través de la red
  - Estas reglas son de tres tipos:
    - ✓ **Sintácticas** (formatos de datos, niveles de señal...)
    - ✓ **Semánticas** (significado de los campos de control que aparecen en los mensajes)
    - ✓ **De temporización** (sincronización y secuenciación)

Concepto de protocolo (cont.)

- El protocolo debe **garantizar** un **buen funcionamiento** de la comunicación => debe resolver cuestiones como:
  - **Fiabilidad** (mensaje recibido = mensaje enviado)
  - Respetar **orden bytes** en cada nodo (little/big endian)
  - Conocer el **orden temporal** en que se enviaron los mensajes recibidos en un nodo
  - Mantener un funcionamiento correcto aunque el *buffer* del SO se llene
  - **Etc.**
- Un protocolo se materializa con el **algoritmo** que el **software** sigue para la **comunicación** de los nodos

4. Medidas de rendimiento de una red..

- **Ancho de banda** (*bandwidth*)
  - **Máxima velocidad de propagación** de información por la red de interconexión
    - ✓ Se incluyen todos los bits del mensaje (no sólo el *payload*)
- Tiempo de recorrido (***time of flight***)
  - Tiempo desde que el **primer bit** del mensaje es enviado por la red hasta que llega al receptor

Medidas de rendimiento de una red..

- **Tiempo de transmisión**
  - **Tiempo** que tarda el mensaje **en pasar por la red** (sin incluir el tiempo de recorrido), es decir:
    - ✓ Tiempo desde que llega al receptor el primer bit del mensaje hasta que llega el último
  - **Si no hay otros mensajes** con los que compartir la red de interconexión, el tiempo de transmisión es

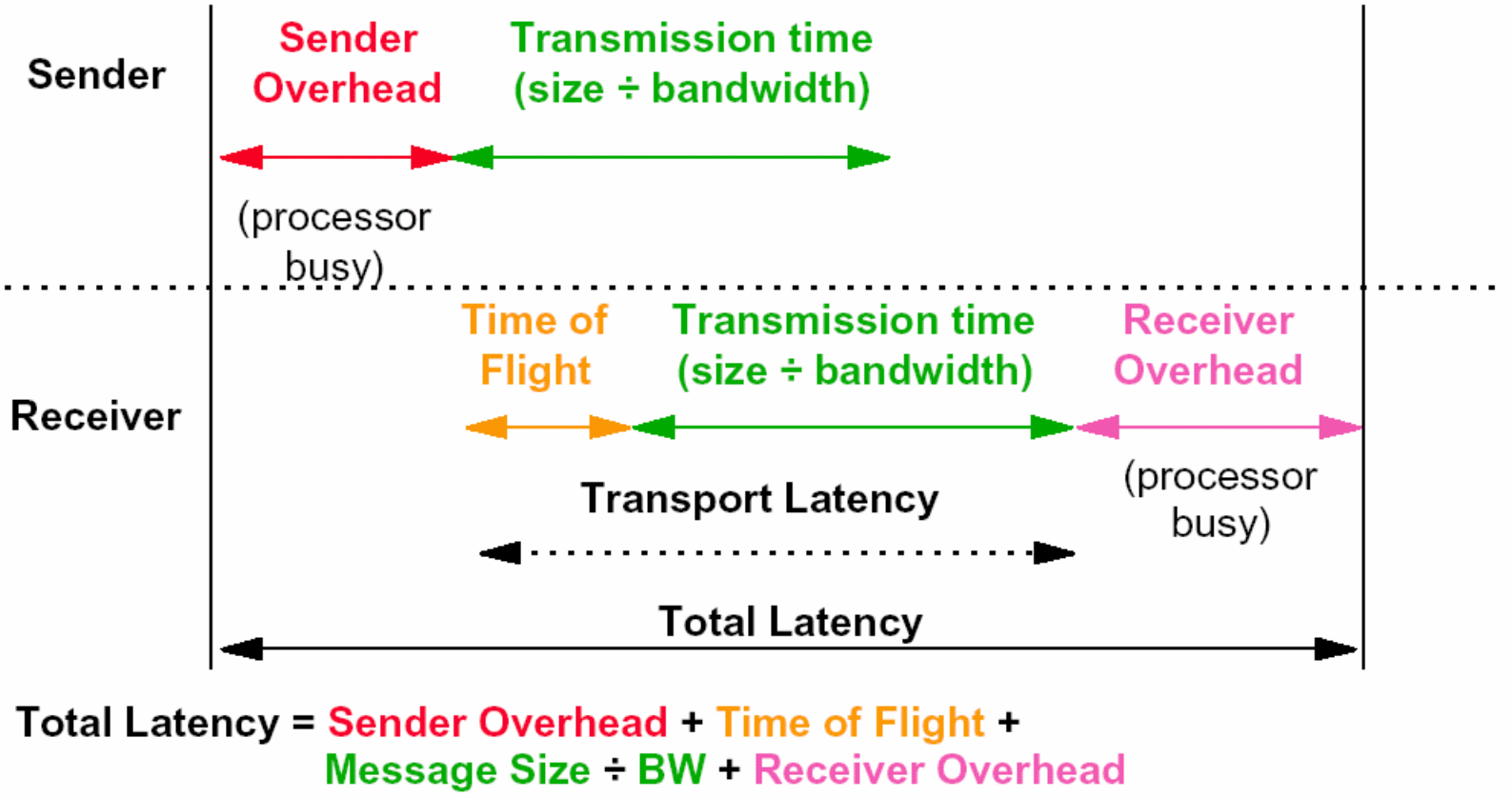
    tamaño del mensaje / ancho de banda

Medidas de rendimiento de una red..

- **Latencia de transporte**
  - **Tiempo que el mensaje está en la red**, es decir,

    tiempo de recorrido + tiempo de transmisión
- Tiempo gastado por el emisor/receptor (***sender/receiver overhead***)
  - Tiempo que tarda el (hardware y software del) emisor/receptor en **colocar** el mensaje en la red/ **recoger el mensaje** de la red
    - ✓ El procesador está **ocupado** durante este tiempo
    - ✓ En general, ***receiver overhead*** > ***sender overhead***
      - Por ejemplo, el receptor debe pagar el coste de una interrupción

Medidas de rendimiento de una red: latencia total



Ejemplo de la latencia total en redes SAN, LAN y WAN

- Supongamos: *sender overhead* = 80 µs; *receiver overhead* = 100 µs; tamaño mensaje = 10^4 B; ancho de banda = 1000 Mb/s; velocidad de propagación de las señales = $2*10^5$ km/s
  - Tiempo transmisión = $8*10^{-2}$ Mb / 10^{-3} Mb/µs = 80 µs
- Distancia nodos: SAN: 10 m; LAN: 500 m; WAN: 10^3 km
- **Latencia total**:
  - **SAN**: 80 µs + 10 m / ($2*10^8$ m/s) + 80 µs + 100 µs ≅ 260 µs
  - **LAN**: 260 µs + 500 m / (200 m/µs) = 262,5 µs
  - **WAN**: 260 µs + 1000 km / (0,2 km/µs) = 5260 µs

Otros aspectos relacionados con la latencia en redes

- Los **protocolos** son **más complejos** conforme consideramos redes con **mayor distancia** entre nodos. Razones:
  - Mayor **probabilidad** de **errores** de transmisión
  - El tiempo de recorrido aumenta => los **tiempos** gastado por el **emisor** y el **receptor pierden importancia** => pueden ser mayores
- El ***sender overhead*** puede **solaparse** con la latencia de transporte y el *receiver overhead*
  - Salvo si el emisor necesita una respuesta antes de enviar el siguiente mensaje

Ancho de banda efectivo

- Por definición, **ancho de banda efectivo = tamaño del mensaje / latencia total**
- Si definimos ***overhead*** **=**

sender overhead + time of flight + receiver overhead

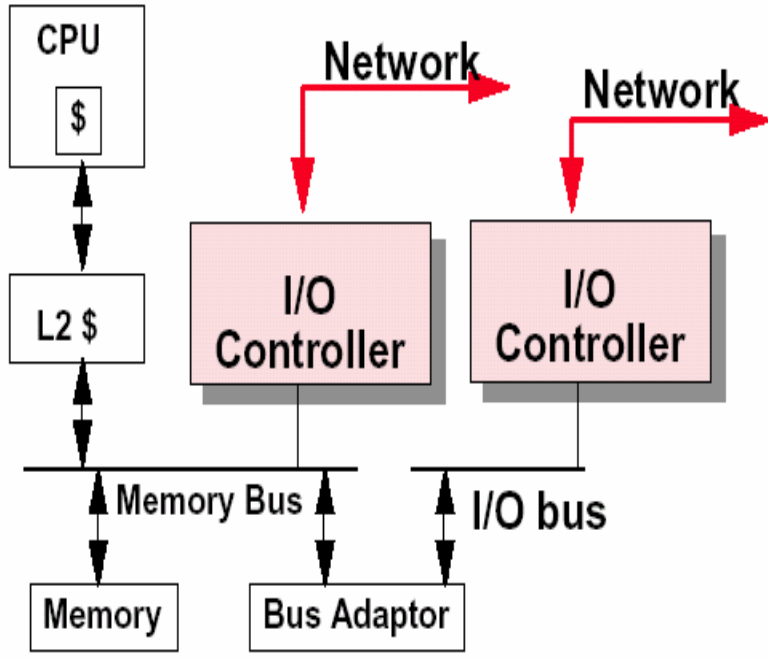
resulta ***Latencia total =***

overhead + tamaño mensaje / ancho de banda

  - Para **amortizar** el coste de un ***overhead*** **alto** se necesitan **tamaños de mensaje grandes**

5. Conexión computador-red..

- **¿Conectar la red al bus de memoria o al de E/S?**
  - Conectar al **bus de memoria** si se busca un **alto rendimiento**
    - ✓ Sólo **algunas SAN** se conectan al bus de memoria
  - **Bus E/S** permite una **conexión más sencilla**
    - ✓ Las **WAN, LAN y casi todas las SAN** se conectan al bus de E/S

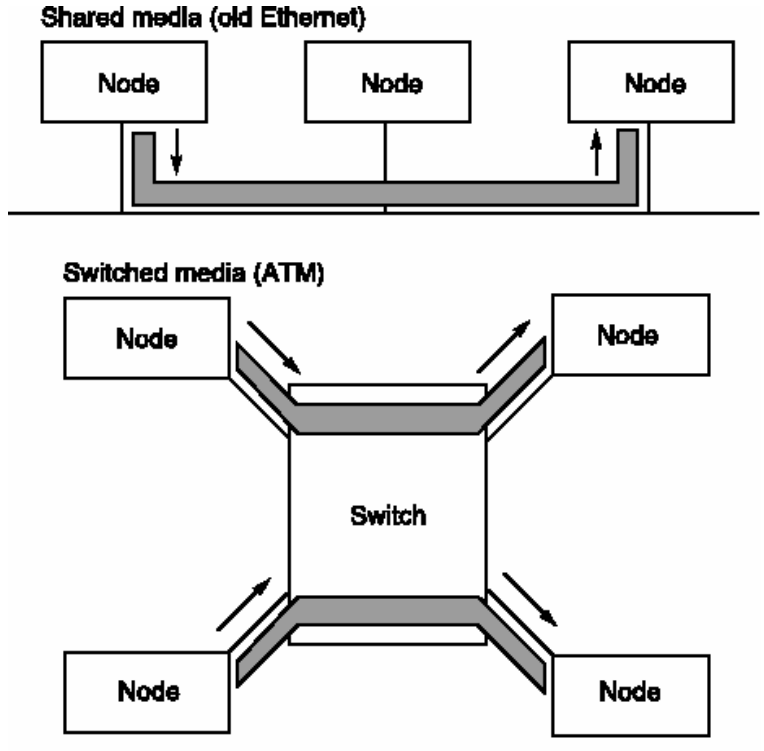


Conexión computador-red

- **¿**Cómo debe ser la **E/S a la red: programada, DMA o interrupciones?**
  - Para **enviar mensajes**
    - ✓Si los mensajes son **largos**, mejor **DMA**
    - ✓En caso contrario, mejor salida programada
  - Para **recibir mensajes**
    - ✓Es mejor usar **interrupciones si se reciben pocos** por unidad de tiempo
    - ✓En caso contrario, mejor entrada por sondeo (*polling*)

6. Conexión de más de dos computadores

- Medio interconexión:
  - **Compartido**
    - ✓ **Bajo coste y** limitado **rendimiento**
    - ✓ **Arbitraje** necesario
  - **Conmutado**
    - ✓ Hay una **línea dedicada** entre el nodo y un ***switch***
      - Del *switch* parten líneas dedicadas a los otros nodos
    - ✓ No se precisa arbitraje



Arbitraje con un medio de interconexión compartido

- Arbitro **centralizado**: sólo en redes pequeñas
- Arbitraje **distribuido**
  - Por **detección de colisiones** (*carrier sensing*)
    - ✓El rendimiento baja cuando hay un uso intensivo de la red
  - Mediante un vale (***token***) que se pasa de un nodo a otro y da derecho a acceder a la red

Medio de interconexión conmutado..

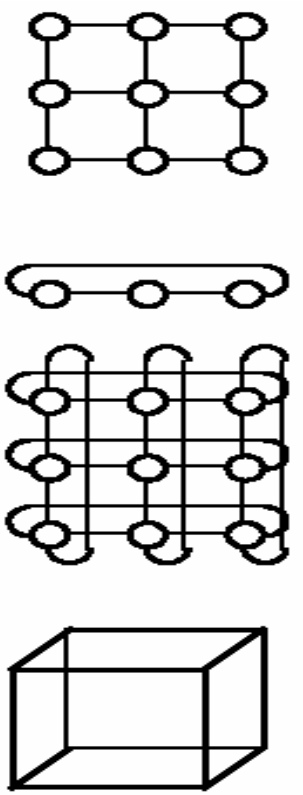
- Los conmutadores permiten **comunicación** directa (**punto a punto**) entre **varios pares de nodos a la vez**
  - **Mayor ancho de banda** que una red con un medio de interconexión compartido
  - **Interfaz** del nodo con la red **más sencillo**
  - Se consume **tiempo en los *switches*** pero **se ahorra** el tiempo del **arbitraje**
  - Buena **escalabilidad**

Medio de interconexión conmutado

- **Conmutadores** que eran tan grandes como un computador hoy pueden integrarse en un único chip =>
  - Están **reemplazando a los buses y las redes con un medio de interconexión compartido**
- Otros **nombres** para las redes *conmutadas*: *data switching exchanges, multistage interconnection netwoks, interface message processors (IMPs)*

Topologías de los conmutadores: clasificación..

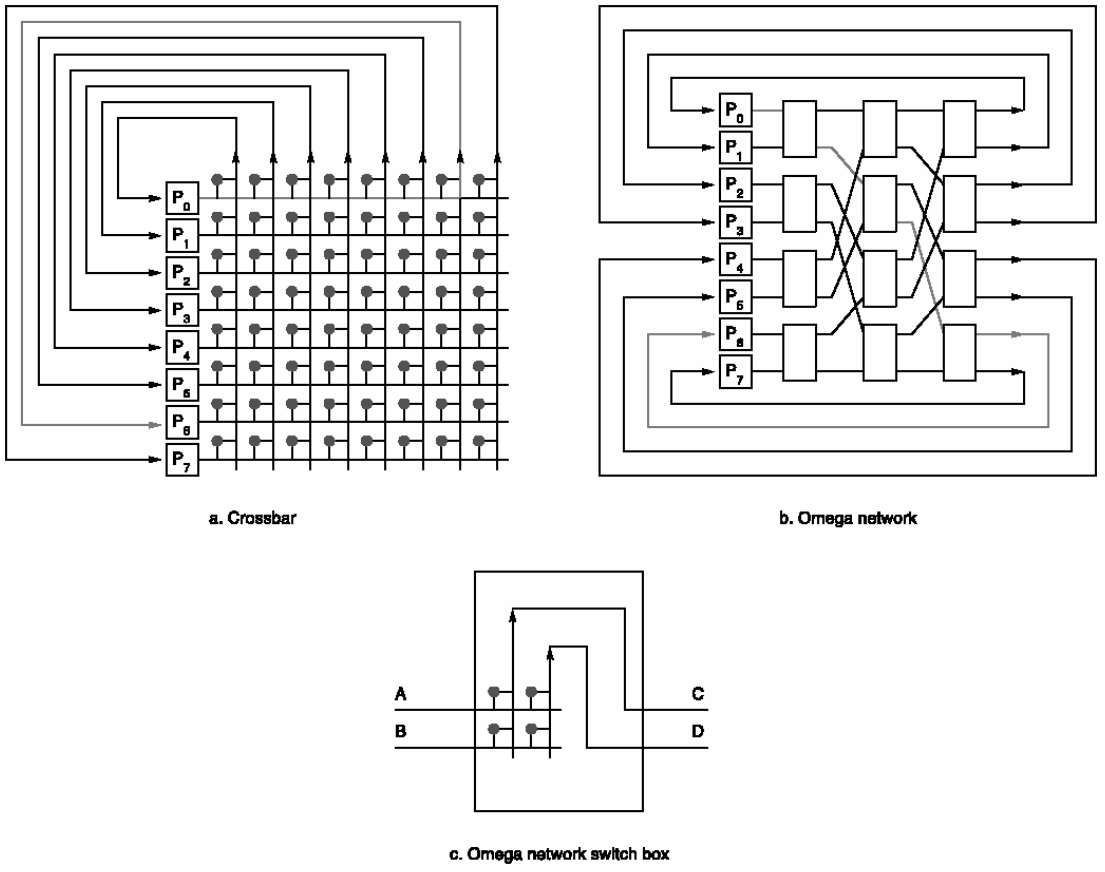
- **Estáticas (conmutador distribuido)**
  - Las **rutas** entre dispositivos son **fijas**
  - Hay **un pequeño conmutador en cada nodo**
  - Ejemplos: malla, anillo, toro, hipercubo



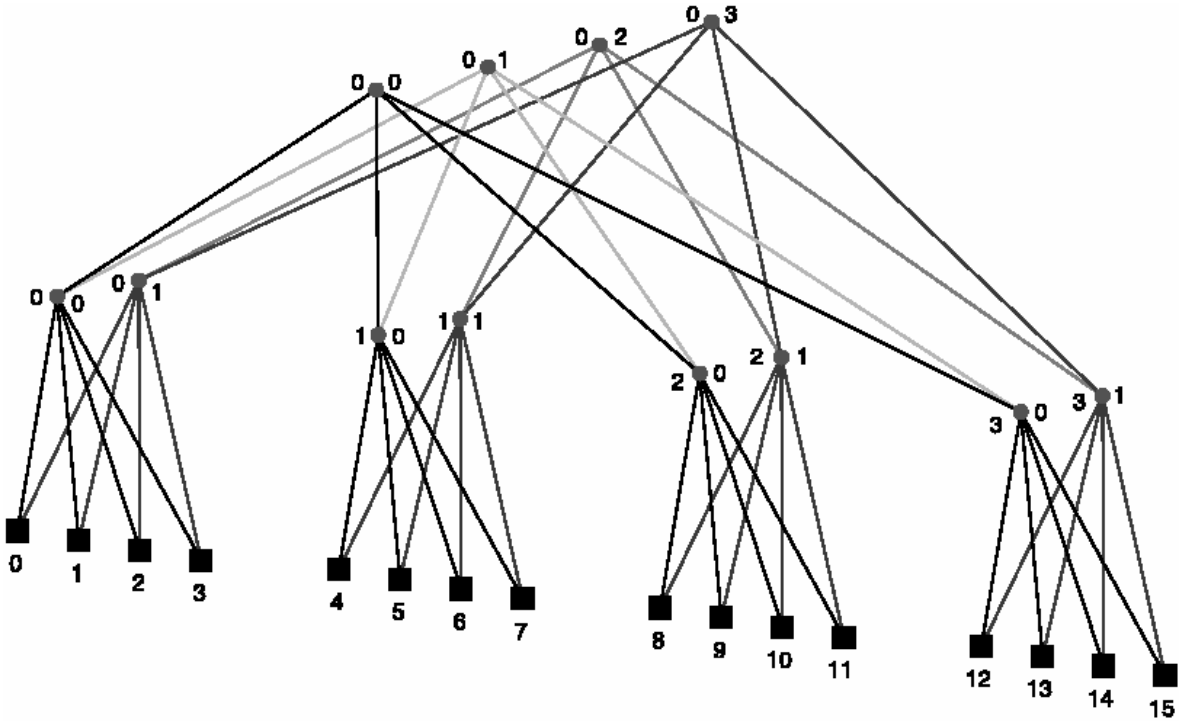
Topologías de los conmutadores: clasificación

- **Dinámicas (conmutador centralizado)**
  - Las **rutas** entre dispositivos son **reconfigurables** mediante el control de los **elementos de conmutación** de la red
  - Ejemplos: barras cruzadas, omega, árbol grueso (*fat tree*)

Red de barras cruzadas y omega



Ejemplo de árbol grueso



Principales características de los conmutadores..

- Con/sin **bloqueo**
  - En una red **con** bloqueo la **conexión simultánea de varios pares de nodos** (**disjuntos**) no es siempre posible
    - ✓Ejemplo, red **omega** (las conexiones P0-P6 y P1-P7 son imposibles a la vez)
  - Ejemplo red **sin** bloqueo: barras **cruzadas**
    - ✓No obstante hay conflicto si dos nodos quieren conectarse a la vez con un mismo destino

Principales características de los conmutadores

- **Grado**: número de enlaces de un nodo
- **Diámetro**: máximo número enlaces en un camino mínimo entre dos nodos
- **Distancia media** entre nodos
- **Bisección**: mínimo número de enlaces que atraviesa una división imaginaria de la red en dos partes con igual número de nodos (±1)
  - **Ancho de banda de la bisección**: la suma de los anchos de banda de esos enlaces

Conmutadores distribuidos y sus características

N nodos	Indicadores de coste		Indicadores de rendimiento		
Tipo	Grado	Nº. enlaces	Diámetro	Dist. media	Bisección
Anillo	2	N	N/2	N/4	2
Malla 2D	≤ 4	$2(N- N^{1/2})$	$2*(N^{1/2}-1)$	$2*N^{1/2}/3$	$N^{1/2}$
Toro 2D	4	2*N	$N^{1/2}$	$N^{1/2}/2$	$2*N^{1/2}$
Hipercubo nD	$n = \log_2 N$	n*N/2	n	n/2	N/2

Red de barras cruzadas vs. red multietapa (ej., red omega)

- **Mayor ancho de banda** por nodo
- **Latencia** (mínima para transferir un dato)
  - **Constante** en red de **barras cruzadas**
  - **O (log N)** en **red multietapa**
- **Coste**: proporcional al número de elementos de conmutación
  - $\mathbf{N^2}$ en topología de **barras cruzadas** =>
    - ✓ **Sólo** factible en **redes pequeñas**
  - $\mathbf{(N/2)*\log_2 N}$ en **red omega**
    - ✓ Factible en **redes mayores** pero con N grande el coste es elevado
      - Algunas **topologías estáticas** son **más escalables**

Conmutación de circuitos y conmutación de paquetes

- Conmutación de circuitos
  - **Antes de** iniciarse **la transmisión se establece un camino físico** entre el nodo fuente y el destino
- Conmutación de paquetes
  - **Motivación**: **no** tener reservado un **camino** que puede estar **desocupado** la mayor parte del tiempo
  - La información se divide en **paquetes o *frames***
  - Cada **paquete** incluye una **información de control** que permite que siga un **camino,** a través de los **nodos de conmutación de la red,** que termine en el nodo **destino**

Técnicas de conmutación de paquetes: datagrama y circuito virtual

- Función de los nodos de conmutación de la red
  - **Almacenan** el **paquete** y **lo colocan en cola sobre** una **línea** de **salida**
- **Datagramas**
  - Cada **nodo** de conmutación debe **decidir el mejor camino** a seguir por cada paquete (datagrama) que le llega
  - Los **paquetes** pueden ser **recibidos** por el nodo destino **en orden diferente** al de emisión
    - ✓ El software del nodo destino debe ordenarlos
- **Circuito virtual**
  - Se establece un **camino** que es **seguido por todos los paquetes** del mensaje

Comparación datagrama y circuito virtual..

- **Ventajas circuito virtual**
  - Los **paquetes llegan en orden**
  - **Mejor control de errores**
    - ✓Si **un paquete no llega** a un nodo del camino, éste puede solicitar su **retransmisión** al nodo anterior
  - Los **paquetes viajan más rápido** porque no hay que tomar una decisión de encaminamiento por cada paquete que llega a un nodo

Comparación datagrama y circuito virtual

- **Ventajas datagramas**
  - **No** existe una fase de **establecimiento de llamada** (la fase en que se establece el circuito virtual)
  - **Más flexibilidad**
    - ✓ Si hay **congestión** en una zona de la red, los paquetes pueden seguir **caminos alejados de la zona** de congestión
  - **Más seguridad**
    - ✓ **Si un nodo falla** los paquetes pueden encontrar un **camino que no pase por él**
      - En el caso de circuito virtual todos los caminos que atraviesan ese nodo fallarán

Elementos de conexión de redes

- ***Bridges* (puentes)**
  - **Conectan varias LAN**
  - Operan a nivel del protocolo Ethernet
  - **Más sencillos y baratos** que los *routers*
- ***Routers* (encaminadores)**
  - **Dispositivos con capacidad de procesamiento** que:
    - ✓ **Conectan varias redes similares o diferentes** (p. ej., varias LAN, dos WAN, una LAN y una WAN)
    - ✓ **Resuelven diferencias de direccionamiento** en las redes **para que la información pase de una red a otra siguiendo el camino adecuado para alcanzar el destino**
    - ✓ Operan al nivel del **protocolo Internet** (IP)
    - ✓ Generalmente, son **más lentos que los puentes**

7. Arquitecturas de protocolo

- **Transferencia información por la red**: en última instancia es una **transferencia entre aplicaciones**
- El programador de aplicaciones **no** debería **preocuparse por los detalles** de la red
  - Esto se consigue organizando en **capas** las **funciones de comunicación** a través de una red
  - El modo en que se organiza en capas un protocolo se denomina **arquitectura del protocolo**

Un modelo de tres capas..

- Comunicaciones ➔ **tres agentes**:
  - **Aplicaciones** (ej.: transferencia ficheros)
  - **Computadores** y **redes**
- Un modelo sencillo: organizar la transferencia de información en **tres capas**
  - Capa de aplicación
  - Capa de transporte
  - Capa de acceso a la red

Un modelo de tres capas..

- Capa de aplicación
  - Contiene un módulo distinto para cada tipo de aplicación (p. ej., un módulo para transferir ficheros)
- Capa de transporte
  - Se encarga de que el intercambio de datos sea **seguro**
  - Es una capa compartida por todas las aplicaciones

Un modelo de tres capas..

- Capa de acceso a la red
  - Se encarga del **intercambio de datos entre el computador y la red**
  - Las características de esta etapa dependen del tipo de red
  - Permite que el software que está por encima de esta capa funcione independientemente de las características concretas de la red

Un modelo de tres capas

- Cada computador tiene una **dirección de red**
- Cada **aplicación** en el computador tiene su propia **dirección** denominada **SAP** (*Service Access Point*)
- Ejemplo de comunicación:
  - La aplicación asociada al **SAP1 en** el computador **X** quiere **transmitir un mensaje a** la aplicación asociada al **SAP2** del computador **Y**
  - Cada capa recoge la **información de la capa superior** y le añade **información de control**
    - ✓ El resultado se denomina **PDU** (*Protocol Data Unit*)

Ejemplo de comunicación en el modelo de tres capas..

- La **aplicación** en X pasa el mensaje a la capa de transporte con información de control para que lo envíe al SAP2 de Y
- La **capa de transporte en X**:
  - ✓Posiblemente, fracciona el mensaje en unidades más pequeñas
  - ✓**Añade** información de **control** a cada unidad (crea PDU de transporte). Por **ejemplo**:
    - **SAP destino, código de detección de error**

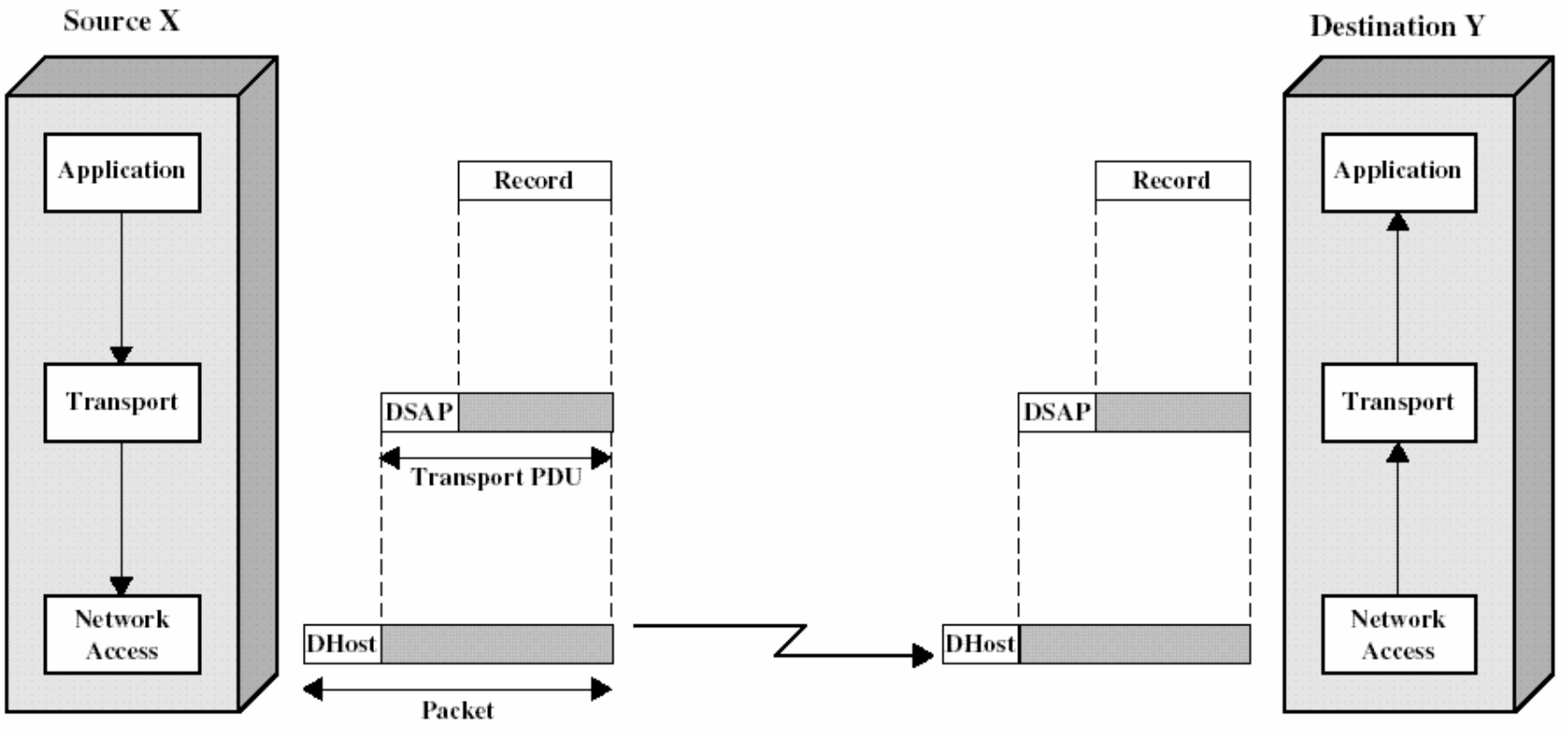
Ejemplo de comunicación en el modelo de tres capas..

- La **capa de acceso a la red en X**
  - ✓Recibe PDU de transporte
  - ✓Le añade una cabecera con información de control (crea PDU de red). Por ejemplo:
    - Dirección del computador destino
  - ✓Envía a la red la PDU de acceso a la red
  - ✓(Obsérvese que esta capa no necesita conocer la dirección del SAP destino)

Ejemplo de comunicación en el modelo de tres capas

- La **capa de acceso a la red en Y**:
  - ✓ Recibe la PDU de red, le **elimina** su cabecera
    - Lo que queda es una PDU de transporte que es enviada a la capa de transporte
- La **capa de transporte en Y**:
  - ✓ Examina el código de detección de error y el SAP destino
  - ✓ **Elimina** la **información de control** para obtener el mensaje que debe enviarse al SAP destino
  - ✓ Si no ha habido error, **envía el mensaje a la aplicación** asociada al SAP2 (el SAP destino)

Esquema de comunicación en el modelo de tres capas



Arquitectura de protocolos TCP/IP

- *Transmission Control Protocol / Internet Protocol*
- Permite que computadores de **redes diferentes** se comuniquen de modo **fiable y eficiente**
- No hay un modelo oficial TCP/IP pero se pueden distinguir **cinco capas: aplicación, transporte, internet, acceso a la red y física**
  - El uso estricto de todas las capas no es obligatorio
    - ✓ Por ejemplo, hay protocolos de aplicación que operan directamente en la capa internet

Capas protocolos TCP/IP..

- **Aplicación**
  - Entre los **protocolos** de esta capa mencionaremos:
    - ✓ **HTTP**: (***Hyper Text Transport Protocol***): Protocolo que permite transmitir páginas web
      - **Página web = documento hipermedia** (texto + imágenes + enlaces +...) escrito **en HTML** (***Hyper Text*** *Markup* ***Language***)
      - El **conjunto de servidores que emplean el protocolo HTTP** es lo que se denomina ***World Wide Web*** (WWW)
    - ✓ **SMTP** (*Simple* ***Mail Transfer*** *Protocol*): recurso básico de **correo electrónico**
    - ✓ **FTP** (***File Transfer*** *Protocol*): para **transferencia de archivos**
    - ✓ **Telnet**: permite **conectarse a un computador remoto** y ejecutar programas y comandos en él

Capas protocolos TCP/IP..

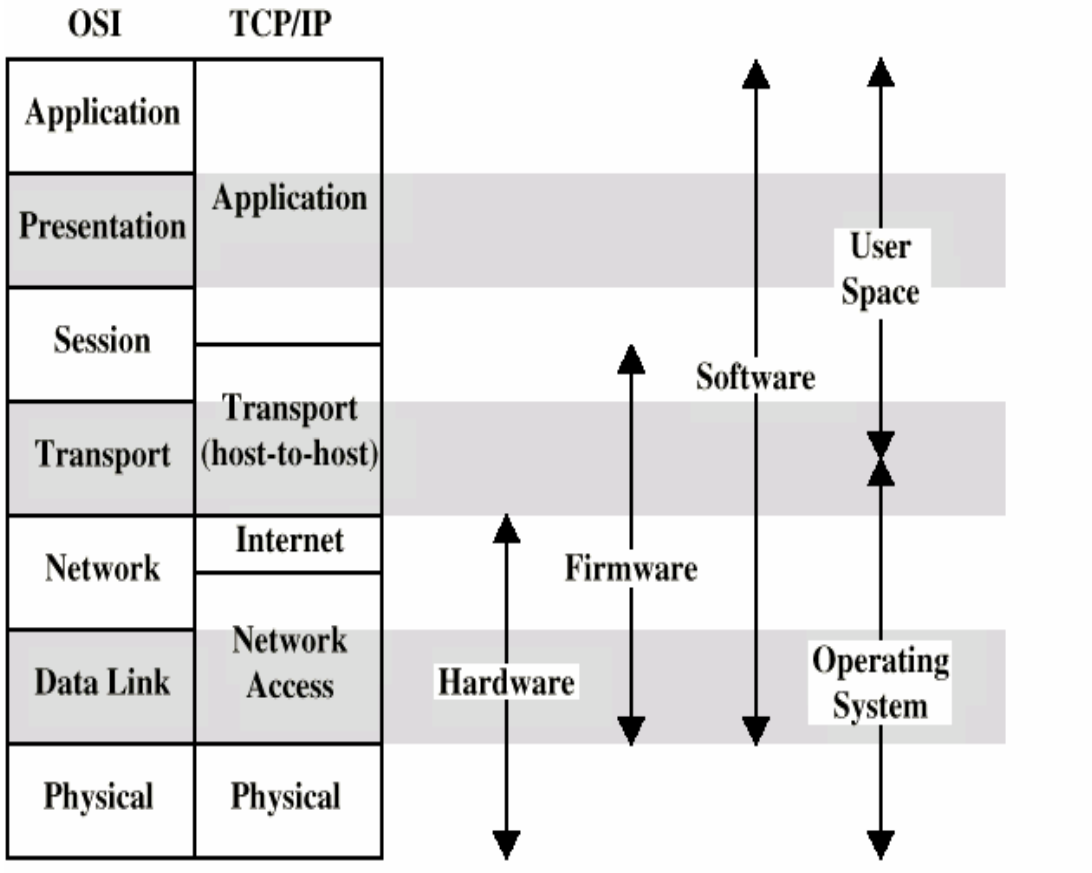
- **Transporte**
  - Suele seguir el protocolo **TCP**
- **Internet**
  - Protocolo **IP**
  - Ofrece servicios de **encaminamiento a través de varias redes**
    - ✓ Se implementa **en los sistemas finales y en los encaminadores** (*routers*)

Capas protocolos TCP/IP

- De **acceso a la red**
  - Responsable del **intercambio de datos entre el sistema final y la red**
- **Física**
  - **Interfaz física** entre los **nodos** y la **red** de interconexión
    - ✓Características del medio de transmisión, naturaleza de las señales, velocidad de los datos...

Modelo OSI

- *Open Systems Interconnect*
- Pretende ser el marco de referencia para el desarrollo de protocolos estándares



Bibliografía

- Patterson D. A. and J. L. Hennessy [2002]: *Organización y diseño de computadores, La interfaz hardware/software.* McGraw-Hill. Madrid

- Stallings, W. [1997]: *Comunicaciones y Redes de Computadores*. 5ª edición. Madrid: Prentice Hall Iberia.