

upna UNIVERSIDAD PÙBLICA NAVARRA ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
Área de Ingeniería Telemática

Conmutación de paquetes

Area de Ingeniería Telemática
<http://www.tlm.unavarra.es>

Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios
3º Ingeniería de Telecomunicación

Basados parcialmente en el material docente de Laurie Brown sobre el libro de William Stallings (Data and Computer Communications)

upna UNIVERSIDAD PÙBLICA NAVARRA ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
Área de Ingeniería Telemática

Temario

1. Introducción
2. Arquitecturas, protocolos y estándares
3. **Conmutación de paquetes**
4. Conmutación de circuitos
5. Tecnologías
6. Control de acceso al medio en redes de área local
7. Servicios de Internet

upna UNIVERSIDAD PÙBLICA NAVARRA ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
Área de Ingeniería Telemática

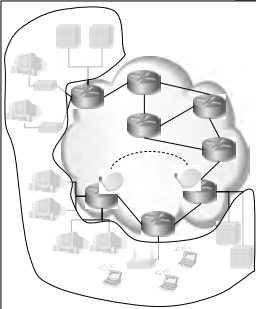
Paradigmas de conmutación

upna

ARQUITECTURA DE REDES.
 Área de Ingeniería Informática

Núcleo de la red

- Interconexión de conmutadores
- ¿Cómo se transfieren los datos por la red?
 - **Comutación de circuitos**
 - **Comutación de paquetes**



upna

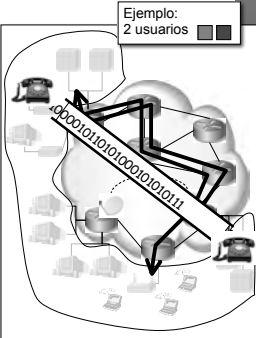
ARQUITECTURA DE REDES.
 Área de Ingeniería Informática

Núcleo de la red

Comutación de circuitos

- Tres fases: Establecimiento, Transferencia y Desconexión
- RTT en el establecimiento (...)
- Comunicación transparente (...)
- Reserva de recursos:
 - Recursos "extremo-a-extremo"
 - Ancho de banda, capacidad en los conmutadores
 - Recursos (camino) dedicados: no se comparten aunque no se usen
 - Garantías de calidad
- Ineficiente
 - Capacidad del canal dedicada durante la vida del "circuito"
 - Si no se envían datos la capacidad se desperdicia

Ejemplo:
2 usuarios

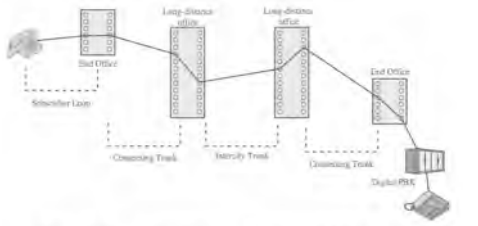


upna

ARQUITECTURA DE REDES.
 Área de Ingeniería Informática

Comutación de circuitos

Caso típico: red telefónica conmutada



Más en profundidad más adelante

upna

Núcleo de la red

Commutación de circuitos

- ¿ Cómo emplean el mismo medio de transmisión al mismo tiempo ?
- Técnicas de multiplexación
- Ej:
 - Frequency Division Multiplexing (FDM) (...)

Ejemplo: 2 usuarios

upna

Núcleo de la red

Commutación de circuitos

- ¿ Cómo emplean el mismo medio de transmisión al mismo tiempo ?
- Técnicas de multiplexación
- Ej:
 - Time Division Multiplexing (TDM) (...)

Ejemplo: 2 usuarios

upna

Núcleo de la red

Commutación de paquetes

- La información se divide en bloques (...)
- Datos + información de control (...)
- Cada paquete contiene información para llegar al destino
- No se reservan recursos

Ejemplo: 2 usuarios

upna

ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación

Núcleo de la red

Comutación de paquetes

- Enlaces compartidos por paquetes de diferentes comunicaciones
- Conversión de velocidad
- *Store-and-forward*
- Cada paquete usa toda la capacidad del enlace...

upna

ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación

Núcleo de la red

Comutación de paquetes

- ...pero puede tener que esperar a que otros se envíen antes

- Multiplexación estadística
 - Mejor aprovechamiento de recursos
 - Dimensionamiento más complicado

upna

ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación

Multiplexación estadística

Ejemplo

- Cada usuario:
 - 100 Kbps cuando está activo
 - Activos un 10% del tiempo
- Conn. Paquetes:
 - Supongamos $N=35$ usuarios
 - ¿Cuál es la probabilidad de que más de 10 usuarios transmitan a la vez? (...)
- Conn. Circuitos:
 - 10 usuarios

upna

ARQUITECTURA DE REDES.
 Área de Ingeniería Informática

Conmutación de paquetes

Circuitos virtuales

- Se establece un camino extremo a extremo
- Los paquetes siguen el camino establecido
- Orientado a conexión

Figure 18.18 Packet Switching: Virtual-Circuit Approach

upna

ARQUITECTURA DE REDES.
 Área de Ingeniería Informática

Conmutación de paquetes

Datagramas

- Cada nodo toma la decisión de encaminamiento para cada datagrama
- Sin conexión

Figure 18.19 Packet Switching: Datagram Approach

upna

ARQUITECTURA DE REDES.
 Área de Ingeniería Informática

Circuitos virtuales y datagramas

- **Circuitos virtuales**
 - La red puede proporcionar entrega en orden y control de errores
 - Los paquetes se reenvían más rápido (hay que pensar menos por cada paquete)
 - Menos fiabilidad de la red (es más difícil adaptarse a que caiga un enlace)
- **Datagramas**
 - No hay establecimiento de circuito (más rápido)
 - Más flexible
 - Más fiable

upna
ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
Área de Ingeniería Telemática

Retardos

upna
ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
Área de Ingeniería Telemática

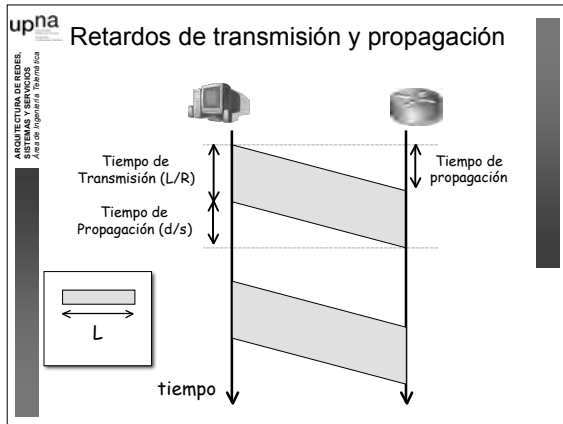
Retardo de transmisión

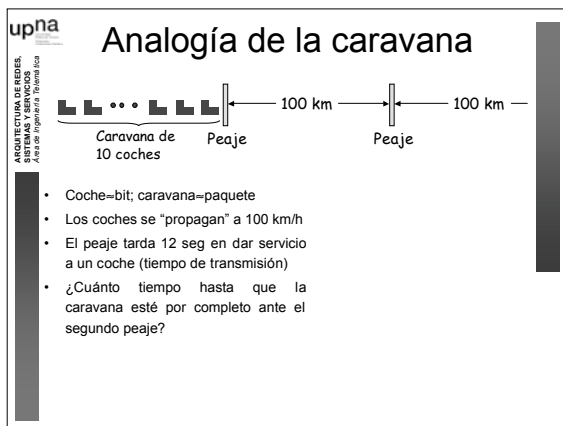
- Tiempo que tarda el transmisor en colocar los bits en el canal
- Bits por segundo (...)
- Ejemplo:
 - Longitud del paquete $L = 1.500 \text{ Bytes} = 12.000 \text{ bits}$
 - Tasa de transmisión $R = 57.600 \text{ bps}$ ($T_b = 17.36 \mu\text{seg}$)
 - Tiempo de transmisión $= L/R = 12.000 \text{ bits} / 57.600 \text{ bps} \approx 208 \text{ mseg}$

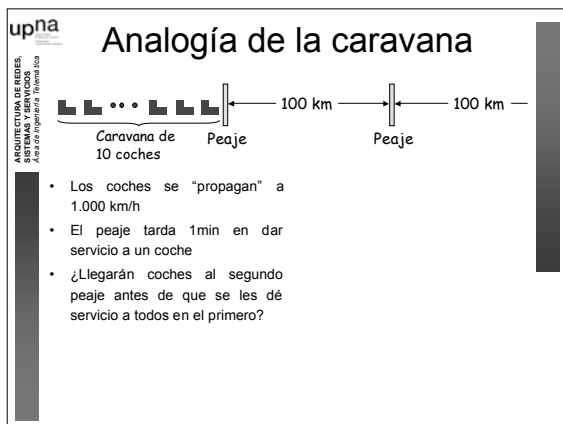
upna
ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
Área de Ingeniería Telemática

Retardo de propagación

- Tiempo que tarda la señal en llegar al otro extremo del sistema de transmisión (...)
- Ejemplo:
 - Longitud del enlace físico $d = 2.000 \text{ Km}$
 - Velocidad de propagación en el medio $s = 200.000 \text{ Km/seg}$
 - Retardo de propagación $= d/s = 2 \times 10^6 \text{ m} / (2 \times 10^8 \text{ m/seg}) = 10 \text{ mseg}$
- La velocidad de transmisión y la velocidad de propagación son conceptos muy diferentes







upna

ARQUITECTURA DE REDES.
 Ingeniería de Redes y Comunicaciones
 Área de Ingeniería Telemática

Store-and-forward

- El paquete completo debe llegar al conmutador de paquetes antes de que lo pueda retransmitir (. . .)

upna

ARQUITECTURA DE REDES.
 Ingeniería de Redes y Comunicaciones
 Área de Ingeniería Telemática

Tiempo de procesamiento

- El conmutador debe tomar una decisión para cada paquete, la cual lleva tiempo (t_r)

upna

ARQUITECTURA DE REDES.
 Ingeniería de Redes y Comunicaciones
 Área de Ingeniería Telemática

Retardo en cola

- Los paquetes pueden llegar al router a una velocidad mayor que la capacidad del enlace de salida
- El router los almacena en memoria hasta poder enviarlos
- Esperan en una *cola*
- Si no queda espacio en memoria para almacenar un paquete, normalmente éste se pierde (*drop-tail policy*)

upna

ARQUITECTURA DE REDES.
 Ingeniería de Computadores y Telemática

Retardo en cola

- R = tasa de transmisión
- L = longitud del paquete
- λ = tasa media de llegadas por segundo
- $I > 1$?
- ¿ Llegadas periódicas ?
- ¿ Llegadas en ráfagas ?

- Llegan λ paquetes por segundo
- Llegan λL bps

Intensidad del tráfico:

upna

ARQUITECTURA DE REDES.
 Ingeniería de Computadores y Telemática

Retardos

- d_{proc} = tiempo de procesado
 - Unos microsegundos
- d_{cola} = retardo en cola
 - Depende de la congestión
- d_{trans} = retardo transmisión
 - $= L/R$, significativo en enlaces de baja velocidad
- d_{prop} = retardo propagación
 - De unos microseg a centenares de mseg

upna

ARQUITECTURA DE REDES.
 Ingeniería de Computadores y Telemática

Ejemplo

- Conmutación de circuitos

upna ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
Área de Ingeniería Telemática

¿Circuitos o paquetes?

upna ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
Área de Ingeniería Telemática

¿Circuitos o Paquetes?

- Las prestaciones dependen de varios factores
- Muchas otras características:

upna ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
Área de Ingeniería Telemática

Tiempos

The diagram illustrates three transmission scenarios: (a) Circuitos, where a single path is established for the entire duration of the communication; (b) Circuitos virtuales, where a dedicated path is established for each packet; and (c) Paquetes, where multiple packets share the network, leading to contention and delay. Labels include 'Circuito virtual', 'Paquetes', 'Circuito físico', 'Circuito lógico', 'Paquete', 'Circuito', 'Circuito virtual', and 'Paquetes'.

Circuitos Circuitos virtuales Paquetes

upna
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE NAVARRA

ARQUITECTURA DE REDES.
Área de Ingeniería Telemática

Implementaciones reales

- Conmutación de circuitos:
 - Red Telefónica Básica (RTB)
 - Red Digital de Servicios Integrados (RDSI)
- Conmutación de paquetes (circuitos virtuales)
 - X.25
 - Frame Relay (conmutación de paquetes asociada a RDSI)
 - ATM
- Conmutación de paquetes (datagramas)
 - IP, IPX, CLNP

upna
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE NAVARRA

ARQUITECTURA DE REDES.
Área de Ingeniería Telemática

Problemas de redes de circuitos

- **Encaminamiento**
 - Cuando se pide a la red establecer una llamada
 - A partir de la dirección de destino decidir por dónde reservar enlaces desde el origen al destino.
- **Bloqueo**
 - Si en algún punto la llamada necesita recursos no disponibles: no se establecerá y el usuario no recibe servicio.
 - Diseñar las redes de circuitos para que el bloqueo no se produzca o tenga una probabilidad baja

upna
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE NAVARRA

ARQUITECTURA DE REDES.
Área de Ingeniería Telemática

Problemas de redes de paquetes

- **Encaminamiento**
 - Por cada paquete que debe reenviar un nodo debe decidir por qué camino reenviarlo (a que vecino entregárselo)
- **Bloqueo:** No hay, la red acepta todos los paquetes.

Nuevos problemas:

- **Transporte fiable**
 - ¿Qué pasa si un paquete no se entrega?
- **Control de flujo**
 - ¿Qué pasa si llega un paquete a un destino que está muy ocupado para aceptarlo?
- **Congestión**
 - ¿Qué pasa si la red está aceptando demasiados paquetes y el retardo de entrega crece demasiado?

upna
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE NAVARRA

**ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática**

Transporte fiable

- Los paquetes pueden perderse:
 - Errores físicos de transmisión (checksums y códigos redundantes)
 - Buffers llenos
- ¿Es responsabilidad de la red de paquetes recuperar el paquete? Opciones:
 - Garantizar entrega
 - No garantizar entrega: dejar que recupere las pérdidas otro nivel (extremos de la red)

upna
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE NAVARRA

**ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática**

Transporte fiable

Técnicas para lograr transporte fiable

- Detección de errores:
- Detección de pérdidas:
- Realimentación hacia el emisor
- Reenvío

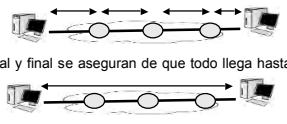
upna
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE NAVARRA

**ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática**

Transporte fiable

¿Quién es el emisor y el receptor?

- En cada salto
 - En cada salto me aseguro que todo llega hasta el otro lado?
- Extremo a extremo
 - Los extremos inicial y final se aseguran de que todo llega hasta la salida
- Fuera de la red
 - La red no ofrece el servicio de entrega fiable pero los niveles superiores pueden hacerlo
- ¿Cuál es mejor?
- ¿Cuál de estos usa Internet?
- Más adelante en detalle



upna
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE NAVARRA

**ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática**

Control de flujo

- En un enlace con un emisor y un receptor
 - El enlace puede ser capaz de aceptar datos a cierta velocidad
 - El receptor puede ser capaz de consumir los datos a menos velocidad
- Control de flujo: mecanismos para que el emisor no sature al receptor
- Realimentación hacia el emisor: listo/nolisto, indicación de espacio, ventanas deslizantes
- Esto es conocido de Transmisión de Datos, control de flujo en el nivel de enlace

upna
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE NAVARRA

**ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática**

Control de flujo

- Y en el nivel de red? Dos aproximaciones
 - Lazo abierto (*Open loop*)
 - Negociación previa con la red de qué es lo que voy a mandar (más típica de circuitos virtuales)
 - Lazo cerrado (*Closed loop*)
 - Realimentación desde el receptor que controle la velocidad de envío del emisor
 - Mismas técnicas que en el nivel de enlace pero hechas extremo a extremo o nodo a nodo.

- Que hace Internet?
 - Tercera opción: no resuelve el problema, que lo resuelva otro nivel

upna
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE NAVARRA

**ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática**

Control de congestión

- Uno de los problemas más difíciles de redes de datos
- La red no es capaz de cursar tanto tráfico
- Sería el equivalente al bloqueo pero como se aceptan todos los paquetes no podemos detectarlo
- En esas condiciones se pierden paquetes
 - Provoca retransmisiones
 - Que generan más tráfico
 - El tiempo de entrega crece y se producen más pérdidas lo que provoca más retransmisiones... la eficiencia tiende a cero
- Se resolvería si las fuentes se controlan y no envían demasiado deprisa
- Pero ¿cómo pueden saber que las pérdidas son debidas a congestión?

upna

ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicaciones
 Área de Ingeniería Telemática

Control de congestión

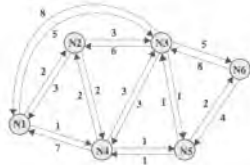
- Aproximaciones para resolverlo
 - Control de congestión asistido por la red
 - Control de congestión extremo a extremo
- ¿Qué hace Internet?

upna

ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicaciones
 Área de Ingeniería Telemática

Encaminamiento

- Encontrar el camino para la información que va al destino D
- Problema matemático de encontrar caminos en un grafo



```

    graph LR
      N1((N1)) ---|2| N2((N2))
      N1 ---|3| N3((N3))
      N2 ---|3| N4((N4))
      N2 ---|6| N5((N5))
      N3 ---|2| N4
      N3 ---|3| N5
      N4 ---|1| N5
      N4 ---|1| N6((N6))
      N5 ---|5| N6
      N6 ---|4| N5
  
```


- ¿Es suficiente con eso? Miremos en más detalle

upna

ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicaciones
 Área de Ingeniería Telemática

Encaminamiento

- Llega a la red una llamada (encaminamiento de circuitos)
- Hay que buscar camino para llegar hasta el destino
- Un ente central decide el camino
- Le dice a cada nodo qué recursos debe reservar para la llamada
- El ente central conoce toda la red y puede decidir
- Tiene que tomar tantas decisiones por segundo como llamadas se produzcan
 - ¡ No escala !
- Podría ser aceptable para conmutación de circuitos
- El problema es cómo comunicar a cada centralita con el que toma las decisiones
 - ¡ Porque es el mismo problema !




upna

ARQUITECTURA DE REDES.
Área de Ingeniería Telemática

Encaminamiento

- En conmutación de datagramas hay una decisión de encaminamiento por cada paquete
- No da tiempo a usar un ente central
- El encaminamiento tiene que decidirse en cada nodo
 - ¿Puedo conseguir que todos los nodos conozcan toda la red?
 - ¿Puedo tomar la decisión de por dónde enviar sin conocer toda la red?
- Más difícil que en conmutación de circuitos
- ¿Y en redes de circuitos virtuales?



upna

ARQUITECTURA DE REDES.
Área de Ingeniería Telemática

Más difícil todavía

- Hasta ahora (enrutamiento, congestión...) consideraban a todos los paquetes iguales
- Se puede tener en cuenta que los paquetes tengan diferentes tratamientos
 - A la hora de descartar paquetes en los nodos si la memoria escasea
 - A la hora de informar con control de congestión a unas u otras fuentes de que no envíen tanto
 - A la hora de decidir si un circuito virtual puede o no puede establecerse
 - ...
- Según los paquetes pertenezcan a una clase
 - Por su dirección de origen (¿dar mas prioridad a los que paguen más? ¿Network neutrality?)
 - Por la aplicación de usuario a la que pertenezcan (¿las aplicaciones de voz tengan preferencia sobre las descargas de grandes ficheros?)
 - ...
- Añadir a las arquitecturas anteriores calidad de servicio
En general ya es bastante difícil que funcionen sin calidad de servicio, estos son temas más de investigación

upna

ARQUITECTURA DE REDES.
Área de Ingeniería Telemática

Próxima clase

Redes de área local

- Lecturas
 - [Stallings] 15.1-15.3
 - [Kurose05] 5.5
