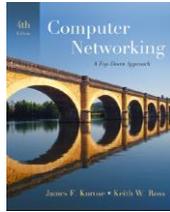


# Introducción a las Redes de Computadoras

## Capítulo 4 Capa de Red



Nota acerca de las transparencias del curso:

Estas transparencias están basadas en el sitio web que acompaña el libro, y han sido modificadas por los docentes del curso.

All material copyright 1996-2007  
J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved

*Computer Networking:  
A Top Down Approach,  
4<sup>th</sup> edition.  
Jim Kurose, Keith Ross  
Addison-Wesley, July  
2007.*

---

---

---

---

---

---

---

---

## Cap. 4: Capa de red

### Objetivos del capítulo:

- comprender los principios que sustentan los servicios de capa de red:
  - modelos de servicios de capa de red
  - forwarding (reenvío) vs. routing (enrutamiento)
  - como funciona un router
  - routing (selección del camino o path selection)
  - escalabilidad
  - tópicos avanzados: IPv6, movilidad
- implementación en la Internet

---

---

---

---

---

---

---

---

## Cap. 4: Capa de red

- 4.1 Introducción
- 4.2 circuitos virtuales y datagramas
- 4.3 dentro de un router
- 4.4 IP: Internet Protocol
  - formato de datagramas
  - direccionamiento IPv4
  - ICMP
  - IPv6
- 4.5 Algoritmos de enrutamiento
  - Link state
  - Distance Vector
  - Enrutamiento jerárquico
- 4.6 Enrutamiento en Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast y multicast

---

---

---

---

---

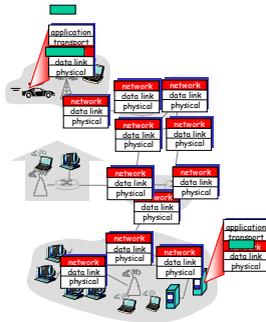
---

---

---

## Capa de Red

- transporte de segmentos desde host emisor a receptor
- el emisor encapsula segmentos en datagramas
- el receptor entrega segmentos a la capa de transporte
- Protocolos de capa de red *deben* estar presentes en cada host y router
- Los routers examinan el cabezal de todos los datagramas IP que reciben



Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-4

---

---

---

---

---

---

---

---

## Dos funciones clave de la Capa de Red

- *forwarding*: mover paquetes entre puertos de entrada y salida del router
  - *enrutamiento*: determinar la ruta de los paquetes desde origen a destino
    - *algoritmos de enrutamiento*
- analogía:**
- *enrutamiento*: proceso de planificación del viaje (p. ej. en avión) desde la salida a la llegada
  - *forwarding*: proceso de pasar por cada punto de intercambio (p. ej. cambio de puertas en aeropuerto)

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-5

---

---

---

---

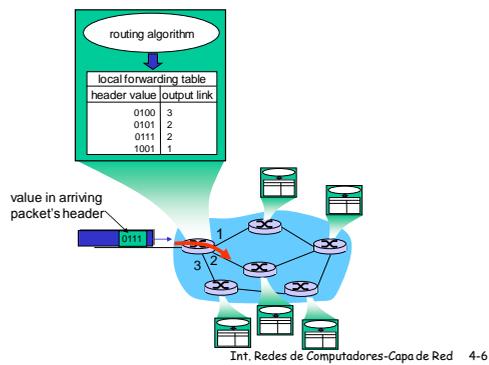
---

---

---

---

## Interacción entre routing & forwarding



Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-6

---

---

---

---

---

---

---

---

## Establecimiento de la conexión

- 3a funcionalidad importante en *algunas* tecnologías de red:
  - ATM, frame relay, X.25
- antes de iniciar el flujo de datagramas, los extremos (hosts) y los routers intervinientes deben establecer una conexión virtual
  - routers están implicados
- servicio de conexión de capa de red vs. capa de transporte:
  - red: entre hosts (involucra routers cuando se establecen VCs)
  - transporte: entre dos procesos

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-7

---

---

---

---

---

---

---

---

## Modelo de Servicio de Red

P: Cual es el *modelo de servicio* del "canal" que transporta los datagramas del trasmisor al receptor?

### Ejemplo de servicios para datagramas individuales:

- entrega garantizada
- entrega garantizada con un retardo menos a 40 miliseg.

### Ejemplo de servicios para un flujo de datagramas:

- entrega de datagramas en orden
- ancho de banda mínimo garantizado
- restricciones en la variación del retardo (*jitter*)

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-8

---

---

---

---

---

---

---

---

## Modelos de Servicios de Red:

| Network Architecture | Service Model | Guarantees ?       |      |       |        | Congestion feedback    |
|----------------------|---------------|--------------------|------|-------|--------|------------------------|
|                      |               | Bandwidth          | Loss | Order | Timing |                        |
| Internet             | best effort   | none               | no   | no    | no     | no (inferred via loss) |
| ATM                  | CBR           | constant rate      | yes  | yes   | yes    | no congestion          |
| ATM                  | VBR           | guaranteed rate    | yes  | yes   | yes    | no congestion          |
| ATM                  | ABR           | guaranteed minimum | no   | yes   | no     | yes                    |
| ATM                  | UBR           | none               | no   | yes   | no     | no                     |

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-9

---

---

---

---

---

---

---

---

## Cap. 4: Capa de red

- 4.1 Introducción
- 4.2 circuitos virtuales y datagramas
- 4.3 dentro de un router
- 4.4 IP: Internet Protocol
  - formato de datagramas
  - direccionamiento IPv4
  - ICMP
  - IPv6
- 4.5 Algoritmos de enrutamiento
  - Link state
  - Distance Vector
  - Enrutamiento jerárquico
- 4.6 Enrutamiento en Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast y multicast

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-10

---

---

---

---

---

---

---

---

## Servicios de Capa de Red orientados y no-orientados a conexión

- datagramas: servicio no-orientado a conexión
- circuitos virtuales (VC): servicio orientado a conexión
- análogo a los servicios de capa de transporte, pero:
  - **servicio:** host-a-host
  - **no se puede elegir:** la red provee uno u el otro
  - **implementación:** en el "core" de la red

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-11

---

---

---

---

---

---

---

---

## Circuitos Virtuales

"el camino de extremo a extremo se comporta como un circuito telefónico"

- tiene en cuenta parámetros de performance
- la red es responsable a lo largo del camino

- establecimiento de llamada antes del flujo de datos
- cada paquete tiene un identificador de VC (no la dirección del host de destino)
- cada router en el camino mantiene el estado de cada conexión
- se pueden *asignar* recursos de routers y enlaces (ancho de banda, buffers) para cada VC (recursos dedicados = servicio predecible)

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-12

---

---

---

---

---

---

---

---

## Implementación de VCs

un VC consiste de:

1. camino (path) de fuente a destino
  2. número de VC, uno por cada enlace a lo largo del camino
  3. entradas en las tablas de forwarding de los routers a lo largo del camino: cross-conexiones
- los paquetes de un VC usan el número que lo identifica (en lugar de la dirección de destino)
  - el número del VC puede cambiar en cada enlace.
    - los números de VC tienen alcance local
    - el nuevo número de VC sale de la tabla de forwarding

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-13

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tabla de forwarding

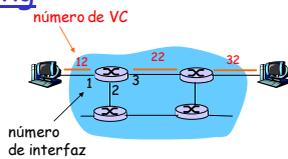


Tabla de forwarding en el router "nor-oeste":

| Incoming interface | Incoming VC # | Outgoing interface | Outgoing VC # |
|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
| 1                  | 12            | 3                  | 22            |
| 2                  | 63            | 1                  | 18            |
| 3                  | 7             | 2                  | 17            |
| 1                  | 97            | 3                  | 87            |
| ...                | ...           | ...                | ...           |

Los routers mantienen información de estado de las conexiones!

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-14

---

---

---

---

---

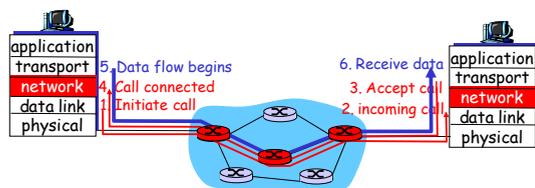
---

---

---

## Circuitos Virtuales: protocolos de señalización

- Usados para establecer, mantener y dar de baja los VCs
- usados en ATM, frame-relay, X.25
- "no se utilizan en Internet"
  - RSVP, MPLS...



Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-15

---

---

---

---

---

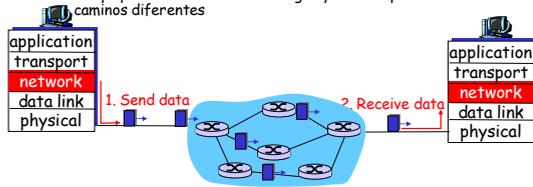
---

---

---

## Redes de datagramas

- no existe procedimiento de establecimiento de conexión en capa de red
- routers: no mantienen estado de conexiones extremo a extremo
  - no existe en concepto de "conexión" a nivel de red
- los paquetes son encaminados utilizando la dirección de host destino
  - Los paquetes entre un mismo origen y destino pueden tomar caminos diferentes



Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-16

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tabla de forwarding

$2^{32} \sim 4$  mil millones de entradas posibles

| <u>Destination Address Range</u>  | <u>Link Interface</u> |
|---|-----------------------|
| 11001000 00010111 00010000 00000000<br>through<br>11001000 00010111 00010111 11111111 | 0                     |
| 11001000 00010111 00011000 00000000<br>through<br>11001000 00010111 00011000 11111111 | 1                     |
| 11001000 00010111 00011001 00000000<br>through<br>11001000 00010111 00011111 11111111 | 2                     |
| otherwise   | 3                     |

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-17

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Longest prefix matching

| <u>Prefix Match</u>        | <u>Link Interface</u> |
|----------------------------|-----------------------|
| 11001000 00010111 00010    | 0                     |
| 11001000 00010111 00011000 | 1                     |
| 11001000 00010111 00011    | 2                     |
| otherwise                  | 3                     |

### Examples

DA: 11001000 00010111 00010110 10100001 cuál interfaz?

DA: 11001000 00010111 00011000 10101010 cuál interfaz?

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-18

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Datagramas o VCs: por qué?

### Internet (datagramas)

- intercambio de datos entre computadores
  - servicio "elástico", sin requerimientos estrictos de tiempo
- end systems "inteligentes" (computadores)
  - adaptables, control de flujo y recuperación ante errores
  - red simple, "borde" complejo
- muchos tipos de enlaces
  - características diferentes
  - servicio uniforme

### ATM (VC)

- evolución desde la telefonía
- conversación entre seres humanos:
  - reqs. de tiempo estrictos, se necesita un servicio confiable
  - y garantizado
- end systems "tontos"
  - teléfonos
  - complejidad en la red

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-19

---

---

---

---

---

---

---

---

## Cap. 4: Capa de red

- 4.1 Introducción
- 4.2 circuitos virtuales y datagramas
- 4.3 dentro de un router
- 4.4 IP: Internet Protocol
  - formato de datagramas
  - direccionamiento IPv4
  - ICMP
  - IPv6
- 4.5 Algoritmos de enrutamiento
  - Link state
  - Distance Vector
  - Enrutamiento jerárquico
- 4.6 Enrutamiento en Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast y multicast

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-20

---

---

---

---

---

---

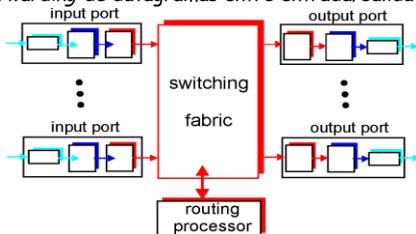
---

---

## Arquitectura del Router

Dos funciones fundamentales:

- ejecutar los algoritmos/protocolos de routing (RIP, OSPF, BGP)
- *forwarding* de datagramas entre entrada/salida



Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-21

---

---

---

---

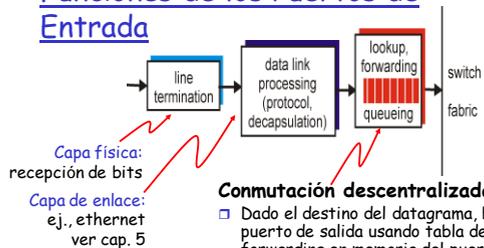
---

---

---

---

## Funciones de los Puertos de Entrada



### Conmutación descentralizada:

- Dado el destino del datagrama, buscar puerto de salida usando tabla de forwarding en memoria del puerto de entrada
- objetivo: completar procesamiento de entrada a 'velocidad de línea'
- queuing (encolamiento): si los datagramas llegan más rápido que la tasa de forwarding hacia el "switch fabric"

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-22

---

---

---

---

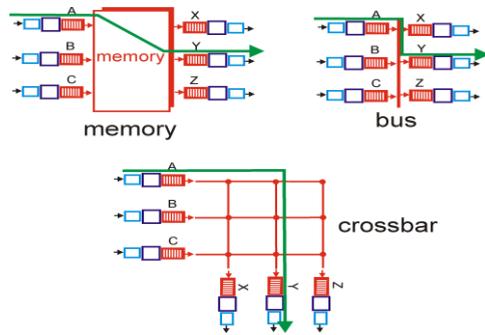
---

---

---

---

## Tipos de switching fabrics (matrices de conmutación)



Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-23

---

---

---

---

---

---

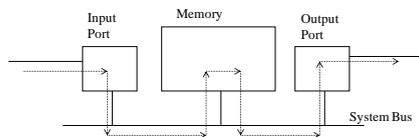
---

---

## Conmutación en memoria

### Routers de primera generación :

- computador tradicional con conmutación controlada directamente por la CPU
- los paquetes se copian a la memoria del sistema
- velocidad limitada por el ancho de banda de memoria (2 accesos al bus por datagrama)



Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-24

---

---

---

---

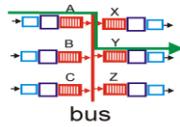
---

---

---

---

## Conmutación en el bus



- el datagrama se copia del puerto de entrada al de salida por el bus compartido
- **bus contention**: velocidad de conmutación limitada por el ancho de banda del bus
- Ejemplo: 32 Gbps bus, Cisco 5600: velocidad suficiente para routers de acceso y empresariales

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-25

---

---

---

---

---

---

---

---

## Conmutación con una red de interconexión

- supera las limitaciones de ancho de banda del bus
- redes de Banyan y otras inicialmente desarrolladas para interconexión de sistemas multiprocesadores
- diseño avanzado: fragmentación de datagramas en celdas de tamaño fijo, que se conmutan en la matriz
- Ej. Cisco 12000: conmuta 60 Gbps a través de la red de interconexión

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-26

---

---

---

---

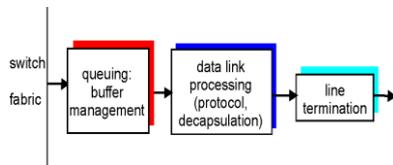
---

---

---

---

## Puertos de Salida



- **buffering** (almacenamiento) requerido cuando los datagramas llegan desde la matriz más rápido que la tasa de transmisión
- **disciplina de scheduling** (despacho) elige datagramas en la cola para ser transmitidos

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-27

---

---

---

---

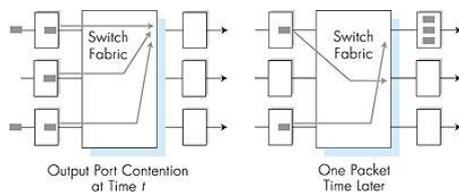
---

---

---

---

## Colas en Puertos de Salida



- **buffering** (almacenamiento) requerido cuando los datagramas llegan desde la matriz más rápido que la tasa de transmisión
- **pueden existir retardos y pérdidas debido a overflow del buffer del puerto de salida!**

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-28

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tamaño del buffer?

- regla de uso, RFC 3439: "buffering" promedio igual al producto del RTT típico (digamos 250 msec) por la capacidad del enlace  $C$ 
  - ej.,  $C = 10$  Gps:  $\text{buffer} = 2.5$  Gbit
  - asume relativamente pocos flujos TCP
- Recomendaciones recientes: con  $N$  flujos, el buffer debe ser  $\frac{\text{RTT} \cdot C}{\sqrt{N}}$ 
  - asume  $N$  grande

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-29

---

---

---

---

---

---

---

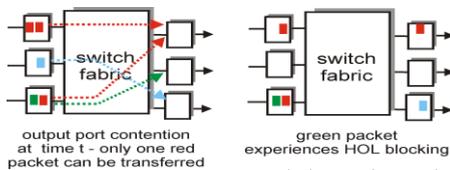
---

---

---

## Colas en Puerto de Entrada

- si la matriz es más lenta que la combinación de los puertos de entrada  $\rightarrow$  se produce encolamiento
- **bloqueo Head-of-the-Line (HOL)**: datagrama encolado al frente impide progresar al resto de la cola
- **pueden existir retardos y pérdidas debido a overflow del buffer del puerto de entrada!**



Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-30

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Cap. 4: Capa de red

- 4.1 Introducción
- 4.2 circuitos virtuales y datagramas
- 4.3 dentro de un router
- 4.4 IP: Internet Protocol
  - formato de datagramas
  - direccionamiento IPv4
  - ICMP
  - IPv6
- 4.5 Algoritmos de enrutamiento
  - Link state
  - Distance Vector
  - Enrutamiento jerárquico
- 4.6 Enrutamiento en Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast y multicast

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-31

---

---

---

---

---

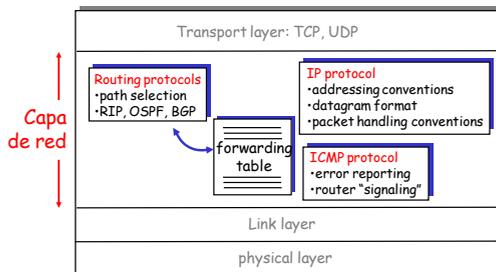
---

---

---

## La Capa de Red en Internet

Funciones de capa de red en hosts y routers:



Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-32

---

---

---

---

---

---

---

---

## Cap. 4: Capa de red

- 4.1 Introducción
- 4.2 circuitos virtuales y datagramas
- 4.3 dentro de un router
- 4.4 IP: Internet Protocol
  - formato de datagramas
  - direccionamiento IPv4
  - ICMP
  - IPv6
- 4.5 Algoritmos de enrutamiento
  - Link state
  - Distance Vector
  - Enrutamiento jerárquico
- 4.6 Enrutamiento en Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast y multicast

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-33

---

---

---

---

---

---

---

---

