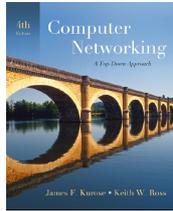


Introducción a las Redes de Computadoras

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, 4th edition.
Jim Kurose, Keith Ross
Addison-Wesley, July 2007.

Cap. 4: Capa de red

Objetivos del capítulo:

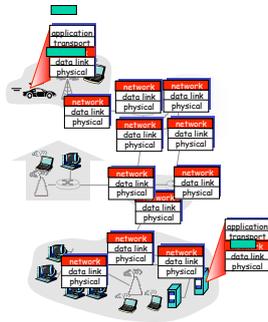
- comprender los principios que sustentan los servicios de capa de red:
 - modelos de servicios de capa de red
 - forwarding (reenvío) vs. routing (enrutamiento)
 - como funciona un router
 - routing (selección del camino o path selection)
 - escalabilidad
 - tópicos avanzados: IPv6, movilidad
- implementación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

Cap. 4: Capa de red

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> 4.1 Introducción | <input type="checkbox"/> 4.5 Algoritmos de enrutamiento |
| <input type="checkbox"/> 4.2 circuitos virtuales y datagramas | <input type="radio"/> Link state |
| <input type="checkbox"/> 4.3 dentro de un router | <input type="radio"/> Distance Vector |
| <input type="checkbox"/> 4.4 IP: Internet Protocol | <input type="radio"/> Enrutamiento jerárquico |
| <input type="radio"/> formato de datagramas | <input type="checkbox"/> 4.6 Enrutamiento en Internet |
| <input type="radio"/> direccionamiento IPv4 | <input type="radio"/> RIP |
| <input type="radio"/> ICMP | <input type="radio"/> OSPF |
| <input type="radio"/> IPv6 | <input type="radio"/> BGP |
| | <input type="checkbox"/> 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



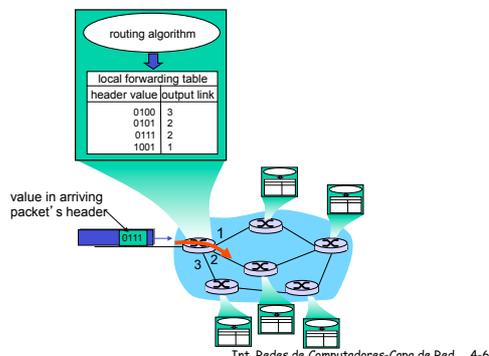
Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-4

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

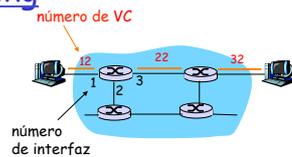


Tabla de forwarding en el router "nor-oeste":

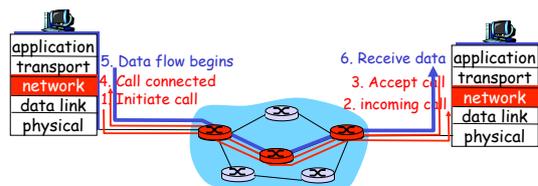
Incoming interface	Incoming VC #	Outgoing interface	Outgoing VC #
1	12	3	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...

Los routers mantienen información de estado de las conexiones!

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

Circuitos Virtuales: protocolos de señalización

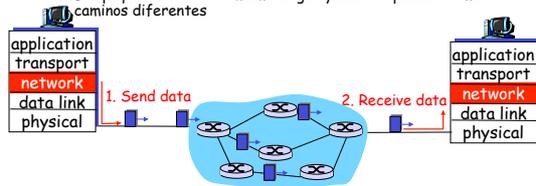
- Usados para establecer, mantener y dar de baja los VCs
- usados en ATM, frame-relay, X.25
- "no se utilizan en Internet"
 - RSVP, MPLS...



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} ~ 4 mil millones de entradas posibles

Destination Address Range	Link Interface
11001000 00010111 00010000 00000000 through 11001000 00010111 00010111 11111111	0
11001000 00010111 00011000 00000000 through 11001000 00010111 00011000 11111111	1
11001000 00010111 00011001 00000000 through 11001000 00010111 00011111 11111111	2
otherwise	3

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

Longest prefix matching

Prefix Match	Link Interface
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

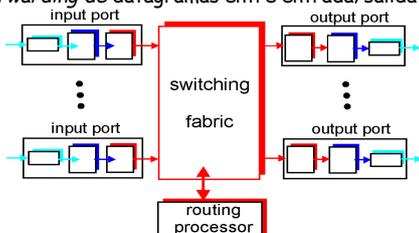
- 4.1 Introducción
- 4.2 circuitos virtuales y datagramas
- 4.3 dentro de un router
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - formato de datagramas
 - direccionamiento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de enrutamiento
 - Link state
 - Distance Vector
 - Enrutamiento jerárquico
- 4.6 Enrutamiento en Internet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

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

Arquitectura del Router

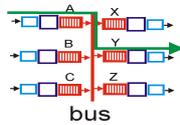
Dos funciones fundamentales:

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



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

Commutación 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

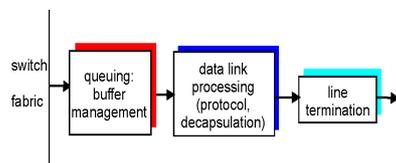
Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-25

Commutación 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

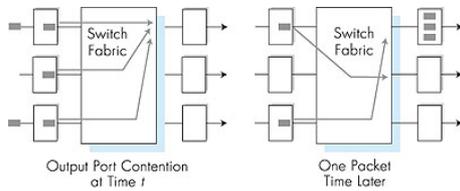
Puertos de Salida



- **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

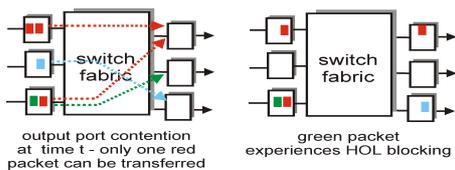
Tamaño del buffer?

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

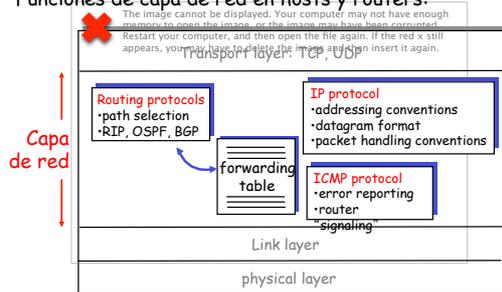
Cap. 4: Capa de red

- 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:



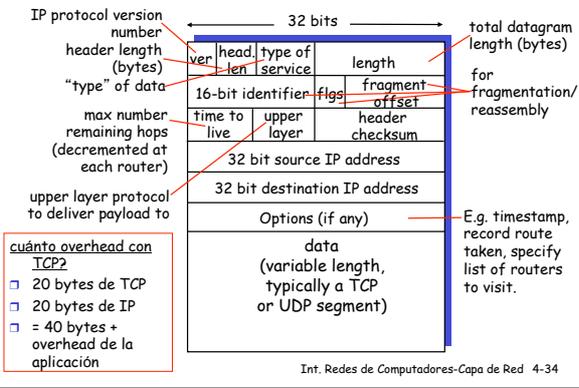
Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-32

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

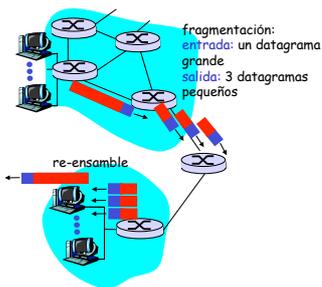
Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-33

Formato del datagrama IP



Fragmentación & Re-ensamblado

- los enlaces tienen un tamaño máximo de la unidad de transmisión: MTU
 - enlaces diferentes, MTUs diferentes
- los datagramas IP muy grandes pueden ser fragmentados en la red
 - un datagrama se transforma en muchos datagramas
 - "re-ensamble" en el destino
 - se usan bits del cabezal IP para identificar y ordenar los fragmentos



Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-35

Fragmentación & Re-ensamblado

Ejemplo

- datagrama de 4000 bytes
- MTU = 1500 bytes

1480 bytes en campo de datos

offset = 1480/8

length	ID	fragflag	offset
=4000	=x	=0	=0

un datagrama grande se transforma en muchos datagramas más pequeños

length	ID	fragflag	offset
=1500	=x	=1	=0

length	ID	fragflag	offset
=1500	=x	=1	=185

length	ID	fragflag	offset
=1040	=x	=0	=370

Int. Redes de Computadores-Capa de Red 4-36
