

## Capa Enlace de Datos

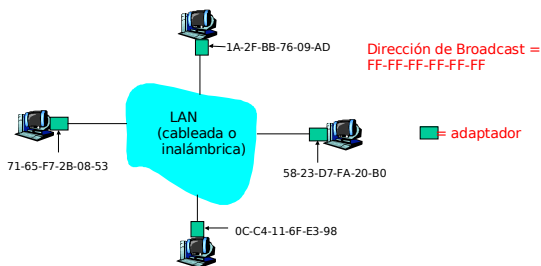
- 5.1 Introducción y servicios
- 5.2 Detección y corrección de errores
- 5.3 Protocolos de acceso múltiple
- 5.4 **Direccionamiento de capa enlace**
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Hubs y switches
- 5.7 PPP
- 5.8 Enlaces Virtuales: ATM y MPLS

## Direcciones MAC y ARP

- **Direcciones IP son de 32-bit:**
  - Son direcciones de la capa de red
  - Son usadas para conducir un datagrama a la subred destino
- **Dirección MAC (o LAN o física o Ethernet):**
  - Son usadas para conducir un datagrama a otra interfaz físicamente conectada (en la misma red)
  - Son de 48 bits (en mayoría de LANs) están grabadas en una ROM de la tarjeta adaptadora

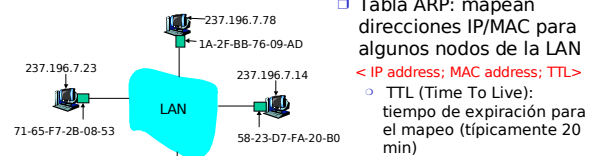
## Direcciones LANs y ARP

Cada adaptador de la LAN tiene una dirección única



## ARP: Address Resolution Protocol

Pregunta: cómo determinar la dirección MAC sabiendo la dirección IP?



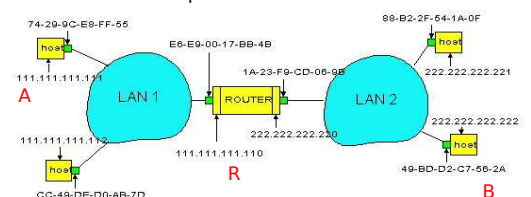
- Cada nodo IP (Host o Router) de la LAN tiene una tabla **ARP**
- Tabla ARP: mapean direcciones IP/MAC para algunos nodos de la LAN  
< IP address; MAC address; TTL >
  - TTL (Time To Live): tiempo de expiración para el mapeo (típicamente 20 min)

## Protocolo ARP: Dentro de la misma LAN (network)

- A quiere enviar un datagrama a B, y la dirección MAC de B no está en tabla ARP de A.
  - A **difunde (broadcasts)** un paquete consulta ARP, conteniendo la IP de B
  - Dirección destino MAC = FF-FF-FF-FF-FF-FF
  - Todas las máquinas de la LAN reciben la consulta ARP
- B recibe paquete ARP, y responde a A con su dirección MAC
  - La respuesta es enviada a la MAC de A (unicast)
- A **cachea (guarda)** el par IP-a-MAC en su tabla ARP hasta que la información envejece (times out)
  - La información expira a menos que sea refrescada
- ARP es “plug-and-play”:
  - Los nodos crean sus tablas de ARP sin intervención de la administradores

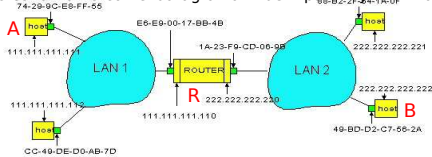
## Ruteo a otra LAN

Caminata: **envío de datagrama desde A a B vía R**  
asume que A conoce dirección IP de B



- En router R hay dos tablas ARP, una por cada interfaz (o por cada red LAN)

- A crea datagrama con fuente A y destino B
- A usa ARP para obtener la MAC de R para la interfaz 111.111.111.110
- A crea una trama enlace de datos con dirección MAC de r como destino, los datos de la trama contienen el datagrama IP de A a B
- El adaptador de A envía la trama
- El adaptador de R recibe la trama
- R saca el datagrama IP de la trama Ethernet, y ve que el destino es B
- R usa ARP para obtener la dirección MAC de B
- R crea la trama con el datagrama IP de A para B y lo envía a B



litos 5-7

## Capa Enlace de Datos

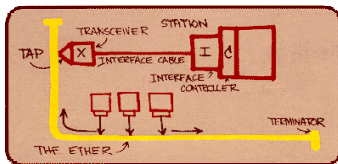
- 5.1 Introducción y servicios
- 5.2 Detección y corrección de errores
- 5.3 Protocolos de acceso múltiple
- 5.4 Direccionamiento de capa enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Hubs y switches
- 5.7 PPP
- 5.8 Enlaces Virtuales: ATM y MPLS

5: Capa Enlace de Datos 5-8

## Ethernet

Tecnología LAN cableada “dominante” :

- Barata!
- Más simple que y barata que LANs con token y ATM
- Avanza en velocidad: 10 Mbps – 10 Gbps

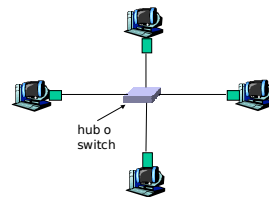


Primer borrador de Metcalfe

5: Capa Enlace de Datos 5-9

## Topología Estrella

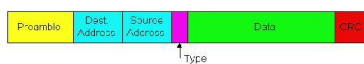
- En los 90 era común la topología Bus
- Hoy (2005) domina la topología estrella
- Elecciones de conexión: hub o switch



5: Capa Enlace de Datos 5-10

## Estructura de trama Ethernet

El adaptador transmisor encapsula el datagrama IP (u otro protocolo de red) en la **trama Ethernet**



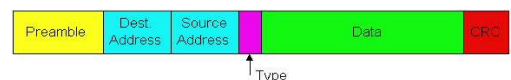
**Preámbulo:**

- 7 bytes con patrón 10101010 seguido por un byte con patrón 10101011
- Usado para sincronizar la frecuencia de reloj del receptor

5: Capa Enlace de Datos 5-11

## Estructura de Trama Ethernet

- **Direcciones:** 6 bytes
  - Si el adaptador recibe trama con dirección destino propia o dirección de broadcast (eg paquete ARP), éste pasa los datos de la trama al protocolo de capa de red
  - de otro modo, el adaptador descarta la trama.
- **Tipo:** indica el protocolo de capa superior (principalmente IP pero hay otros como Novell IPX y AppleTalk)
- **CRC:** chequeado en receptor, si un error es detectado, la trama es simplemente descartada.



5-12

## Servicio no confiable y sin conexión

- **Sin conexión:** No hay handshaking entre adaptadores Tx y Rx.
- **No confiable:** Receptor no envía acks o nacks al adaptador transmisor
  - Flujo de datagramas pasado a la capa de red puede tener vacíos
  - Los vacíos son llenados si la aplicación está usando TCP
  - De otra manera, si falta algún fragmento, IP no podrá reensamblar el datagrama y lo descarta. Si la ausencia es de un datagrama completo la aplicación notará el vacío.

## Ethernet usa CSMA/CD

- No hay ranuras
- **Sensa por portadora:** adaptador no transmite si otro adaptador lo está haciendo.
- **Detecta Colisiones:** adaptador transmisor aborta cuando éste detecta que otro adaptador está transmitiendo.
- **Acceso Aleatorio:** Antes de intentar una retransmisión el adaptador espera un tiempo aleatorio

## Algoritmo CSMA/CD de Ethernet

1. El adaptador recibe un datagrama de la capa de red y crea la trama
2. Si el adaptador sensa que el canal está libre, éste comienza a transmitir la trama. Si éste sensa canal ocupado, espera hasta que esté libre y transmite
3. Si el adaptador transmite la trama entera sin detectar colisión, se considera transmisión lograda !
4. Si el adaptador detecta otra transmisión mientras transmite, aborta y envía una señal de "taco"
5. Después de abortar, el adaptador entra en **backoff exponencial:** después de la m-ésima colisión, el adaptador elige un K aleatorio entre  $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$ . El adaptador espera K·512 periodos de bit y retorna la paso 2

## CSMA/CD de Ethernet (más)

**Señal de "taco":** asegura que todos los transmisores detecten la colisión; 48 bits

**Periodo de Bit:** .1 microsec en 10 Mbps Ethernet ; para K=1023, se esperará alrededor de 50 msec

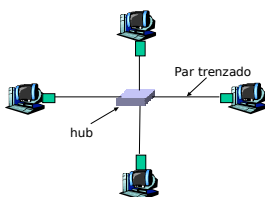
### **Backoff Exponencial:**

- **Meta:** retransmisiones intentan estimar la carga actual
  - Alta carga: espera aleatoria será mayor
- Primera colisión: elige K entre  $\{0, 1\}$ ; retardo es K· 512 periodos de bits
- Después de segunda colisión: elige K de  $\{0, 1, 2, 3\}$ ...
- Después de 10 colisiones, elige K de  $\{0, 1, 2, 3, 4, \dots, 1023\}$

La eficiencia es mucho mayor que ALOHA (ranurado o no)  
Revisar applet de java en sitio  
[http://wps.aw.com/aw\\_kurose\\_network\\_3/0,9212,1406348,-00.html](http://wps.aw.com/aw_kurose_network_3/0,9212,1406348,-00.html)

## 10BaseT y 100BaseT

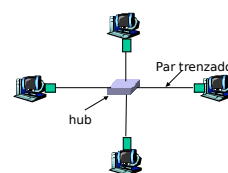
- Tasas de 10/100 Mbps; llamados "fast ethernet"
- **T** significa Twisted Pair (par trenzado)
- Nodos se conectan a un hub: "topología estrella"; 100 m es la distancia máxima entre nodo y hub.



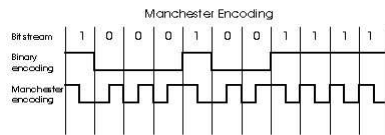
## Hubs

Hubs son esencialmente repetidores de capa física:

- Los bits que ingresan por un enlace salen por TODOS los otros
- No hay almacenamiento y reenvío
- No hay CSMA/CD en hub: el adaptador detecta la colisión



## Codificación Manchester



- ❑ Usado en 10BaseT
- ❑ Cada bit tiene una transición
- ❑ Permite que los relojes se sincronicen
  - no requiere reloj centralizado o global entre nodos!
- ❑ Esta es materia de la capa física!

## Gbit Ethernet

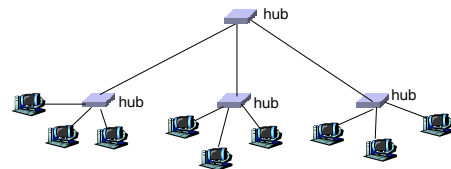
- ❑ Usa formato de trama Ethernet estándar
- ❑ Permite enlaces punto a punto y vía canales broadcast compartidos
- ❑ En modo compartido usa CSMA/CD; se requiere corta distancia entre nodos por eficiencia
- ❑ usa hubs, llamados aquí "distribuidores con buffer"
- ❑ Full-Duplex a 1 Gbps para enlaces punto a punto
- ❑ Ahora se cuenta con 10 Gbps !

## Capa Enlace de Datos

- ❑ 5.1 Introducción y servicios
- ❑ 5.2 Detección y corrección de errores
- ❑ 5.3 Protocolos de acceso múltiple
- ❑ 5.4 Direccionamiento de capa enlace
- ❑ 5.5 Ethernet
- ❑ 5.6 Hubs y switches
- ❑ 5.7 PPP
- ❑ 5.8 Enlaces Virtuales: ATM y MPLS

## Interconexión con hubs

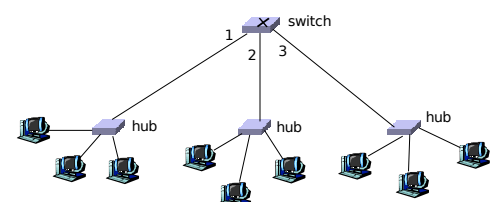
- ❑ Hub de Backbone interconecta segmentos LAN
- ❑ Extiende distancia máxima entre nodos
- ❑ Pero segmentos de colisión individuales se transforman en un gran dominio de colisión
- ❑ No se puede conectar 10BaseT y 100BaseT



## Switches

- ❑ **Dispositivo de capa enlace de datos**
  - Almacena y re-envía tramas Ethernet
  - Examina encabezados de tramas y **selectivamente** re-envía tramas basado en dirección MAC destino
  - Cuando debe re-enviar una trama, usa CSMA/CD para acceder al medio
- ❑ transparente
  - hosts no notan la presencia de switches
- ❑ plug-and-play, y aprenden solos
  - switches no requieren ser configurados

## Reenvío



- ¿Cómo determinar en qué segmento LAN enviar la trama?
- Similar a problema de ruteo ...

## Auto aprendizaje

- Cada switch tiene una **tabla de conmutación**
- Entradas de la tabla del switch:
  - (Dirección MAC, Interfaz, Marca de tiempo)
  - Entradas antiguas son descartadas (TTL ~60 min)
- switches **aprenden** qué hosts se encuentra en qué interfaz
  - Cuando una trama es recibida, el switch “aprende” la localización del Tx viendo el segmento LAN de llegada
  - Graba el par Tx/localización en tabal del switch

## Filtrado y re-envío

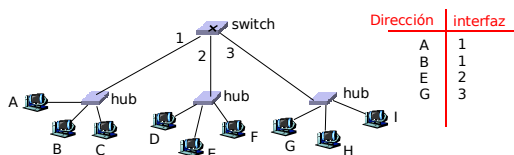
Cuando un switch recibe una trama:

Busca en tabla switch usando la dirección MAC destino  
**if** encuentra entrada para el destino  
**then**{  
     **if** destino está en segmento desde donde llegó trama  
         **then** descarte trama y refresca dirección origen  
     **else** re-envíe la trama a la interfaz indicada  
**}**  
**else** {  
     inunde  
     Registre dirección origen  
**}**

*Re-envíe en todas la interfaces excepto la de llegada*

## Ejemplo de Switches

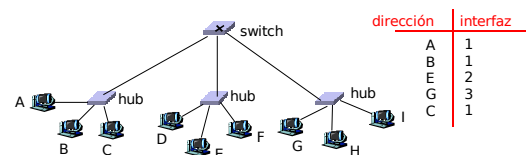
Supongamos que C envía una trama a D



- El switch recibe trama de C
  - Anota en tabla del bridge que C está en interfaz 1
  - Debido a que D no está en la tabla, el switch re-envía la trama a interfaces 2 y 3
- La trama es recibida por D

## Ejemplo de Switches

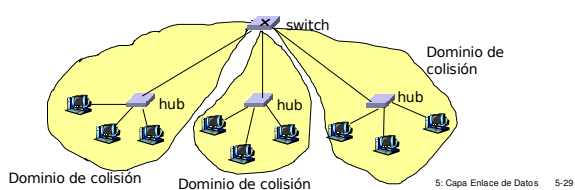
Supongamos que D responde a C con otra trama.



- El switch recibe la trama de D
  - Y anota en su tabla que D está en interfaz 2
  - Debido a que C ya está en la tabla, el switch re-envía la trama sólo por interfaz 1
- La trama es recibida por C

## Switch: Aislamiento de tráfico

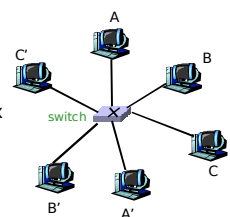
- El uso de un switch divide la subred en segmentos de LAN (para efectos de colisiones, por ejemplo)
- El switch **filtra** paquetes:
  - Las tramas de una mismo segmento de la LAN no son re-enviados normalmente a los otros segmentos
  - Los segmentos pasan a ser **dominios de colisión separados**



## Switches: accesos dedicados

- Switch con muchas interfaces
- Cada host tiene conexión directa al switch
- No hay colisiones; full duplex

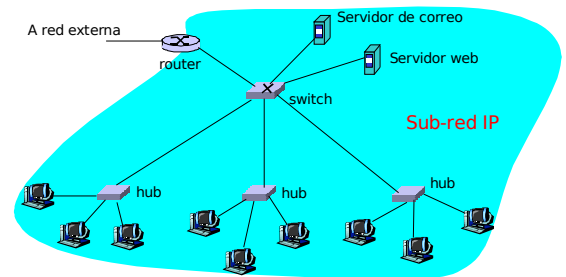
**Conmutación:** puede haber comunicación A-a-A' y B-a-B' simultáneamente, no hay colisiones



## Más sobre Switches

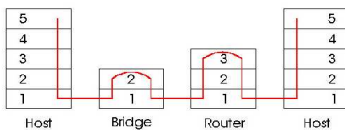
- **Conmutación cut-through (corte camino):**  
en estos switches las tramas son re-  
enviadas de la entrada a la salida sin  
almacenar el paquete completamente
  - Se logra una reducción de latencia  
(retardo)
- Hay switches con interfaces compartidas o  
dedicadas de 10/100/1000 Mbps.

## Redes Institucionales



## Switches vs. Routers

- Ambos son dispositivos de almacenamiento y re- envío
  - Routers son dispositivos de capa de red (examinan encabezados de capa de red)
  - switches son dispositivos de capa enlace de datos.
- routers mantienen tablas de ruteo, implementas los algoritmos de ruteo
- switches mantienen las tablas de switches, implementan filtrado y algoritmos de aprendizaje



## Resumen comparativo

	<u>hubs</u>	<u>routers</u>	<u>switches</u>
Aisla tráfico	no	Si	Si
plug & play	Si	no	Si
Ruteo óptimo	no	Si	no
cut through	Si	no	Si