

Módulo 05

La Capa de Enlace

(Pt. 4)



Redes de Computadoras
Depto. de Cs. e Ing. de la Comp.
Universidad Nacional del Sur



Copyright

- Copyright © 2010-2024 A. G. Stankevicius
- Se asegura la libertad para copiar, distribuir y modificar este documento de acuerdo a los términos de la **GNU Free Documentation License**, versión 1.2 o cualquiera posterior publicada por la Free Software Foundation, sin secciones invariantes ni textos de cubierta delantera o trasera
- Una copia de esta licencia está siempre disponible en la página <http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>
- La versión transparente de este documento puede ser obtenida de la siguiente dirección:

<http://cs.uns.edu.ar/~ags/teaching>

Contenidos

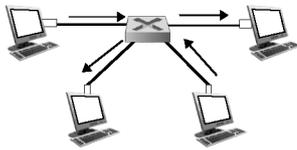
- Servicios provistos por la capa de enlace
- Protocolos de acceso múltiple
- Direcciones de red local y protocolo **ARP**
- Ethernet
- Hubs, bridges y switches
- Enlaces inalámbricos
- Virtualización de enlaces
- Datacenters

El switch Ethernet

- Un switch **Ethernet** implementa sólo hasta la capa de enlace
 - Tienen por objeto almacenar y hacer forwarding de tramas **Ethernet**
 - Al recibir una trama inspeccionan el encabezamiento y en base a la dirección **MAC** destino se deciden cómo resolver el forwarding
 - Posteriormente, hacen uso del protocolo **CSMA/CD** para acceder al segmento de red hacia el cuál hayan decidido hacer forward de la trama

Forwarding simultáneo

- El switch permite resolver múltiples forwardings en simultáneo
 - Cada nodo cuenta con un enlace dedicado que lo conecta con el switch
 - Por ende, es posible hacer forwarding de múltiples tramas siempre y cuando no colisionen entre sí



El switch ethernet

- Un switch **Ethernet** están diseñado para que funcione de manera absolutamente transparente
 - Las computadoras de la red en principio no tienen forma de detectar la presencia de estos dispositivos
- No necesitan ser configurado manualmente
 - Funcionan de manera “plug-and-play”
 - Son capaces de aprender la topología de la red de manera automática

Dominios de colisión

- La característica más interesante del switch es que permite aislar el tráfico de los distintos segmentos que interconecta
 - Cada segmento pasa a constituir un dominio de colisión independiente
 - Logra este comportamiento a partir de que no todo tráfico es capaz de atravesarlo, puesto que las tramas son filtradas cuidadosamente
 - La clave radica en que el tráfico local a un cierto segmento no sea propagado innecesariamente a los restantes segmentos

Resolución del forwarding

- ¿Cómo puede hacer un switch para determinar por cuál interfaz debe emitir una cierta trama?
 - Se trata de un problema de ruteo
 - Lamentablemente no se puede adoptar la misma solución implementada a nivel de capa de red, puesto que las direcciones **MAC** son planas
 - Esto es, inspeccionando la **MAC** no es posible determinar a qué segmento corresponde, mientras que a partir de una dirección **IP** si es posible determinar a qué red pertenece

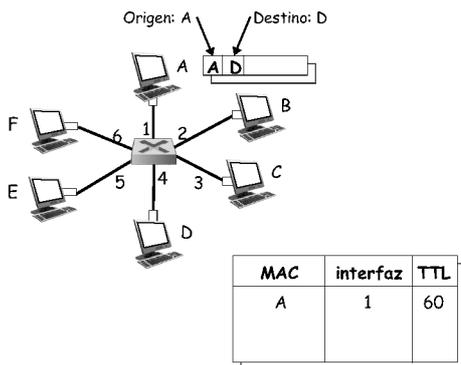
Auto aprendizaje

- El switch necesita conocer la topología
 - Puntualmente requiere acceder al listado de direcciones **MAC** presentes en cada segmento
- No obstante, el switch también debe operar de manera autónoma, sin requerir la intervención del administrador de la red
 - La solución adoptada consiste en permitir que el switch descubra la topología de la red a través de un mecanismo de auto aprendizaje

Auto aprendizaje

- Para aprender la topología de la red el switch construye dinámicamente una tabla
 - Cada entrada de la tabla registra el siguiente mapeo:
<Dirección MAC, Interfaz, TTL>
 - Las entradas desactualizadas son descartadas (el tiempo de vida suele ser 60 minutos)
 - El switch va aprendiendo cuáles direcciones **MAC** pueden ser alcanzadas a través de qué interfaz
 - Al recibir una nueva trama el switch registra en su tabla que ese emisor es alcanzable por esa interfaz

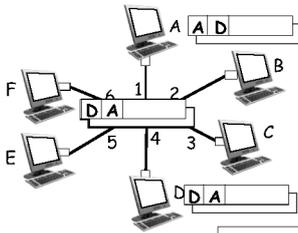
Auto aprendizaje



Filtrado y forwarding

- Algoritmo de filtrado y forwarding:
 - **Paso 1)** Al recibir una nueva trama se accede a la tabla del switch usando la **MAC** destino
 - **Paso 2a)** Si la **MAC** está presente en la tabla y además pertenece al segmento por el cual fue recibida, simplemente se descarta
 - **Paso 2b)** Si la **MAC** está presente en la tabla, pero no pertenece al segmento por el cual fue recibida, se la envía por la interfaz indicada en la tabla
 - **Paso 2c)** Si la **MAC** no está presente en la tabla, se la envía por todas las interfaces salvo la inicial

Filtrado y forwarding



MAC	interfaz	TTL
A	1	60
D	4	60

Filtrado y forwarding

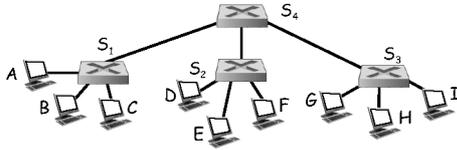
- Supongamos que **A** envía una trama a **D**:
 - En primer lugar el switch recibe por su interfaz 1 una trama de **A** destinada para **D**
 - Como recibe una trama de **A** por la interfaz 1, agrega a la tabla la entrada **<A, 1>**
 - Como no sabe en qué segmento está **D**, replica la trama por las restantes interfaces
 - **D** recibe la trama

Filtrado y forwarding

- Supongamos ahora que **D** responde con otra trama destinada para **A**
 - El switch recibe por su interfaz 4 una trama de **D** destinada para **A**
 - Como recibe una trama de **D** por la interfaz 4, agrega a la tabla la entrada **<D, 4>**
 - Usando la tabla determina exactamente en qué segmento se encuentra **A**, por lo que replica la trama sólo por la interfaz 1
 - **A** recibe la trama

Interconectando switches

- A su vez, los switches se pueden interconectar entre sí, formando una jerarquía:



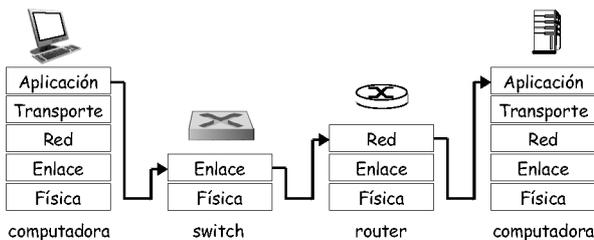
- Suponiendo que **A** le quiere enviar una trama a **G**, ¿cómo hace **S₁** para saber qué interfaz usar?

¡exactamente igual que antes!

Switches vs. Routers

- Switches y routers comparten algunas características, pero se distinguen en otras:
 - Se trata de dispositivos que primero almacenan los **PDU** que reciben para luego hacer forward
 - Los routers son dispositivos de la capa de red, mientras que los switches son dispositivos de la capa de enlace
 - Los routers mantienen tablas de forwarding e implementan algoritmos de ruteo, mientras que los switches mantienen tablas de switch e implementan aprendizaje automático de la topología de la red

Switches vs. Routers



Switches

● Aspectos destacables:

- La operación interna es más simple y requiere menos procesamiento por trama
- Las tablas del switch se construyen de manera autónoma, sin intervención del administrador

● Aspectos cuestionables:

- El tráfico de tipo broadcast atraviesa la separación de dominios de colisión
- No tolera que existan ciclos en la topología de red (el protocolo **STP** asegura conformar un árbol)

Routers

● Aspectos destacables:

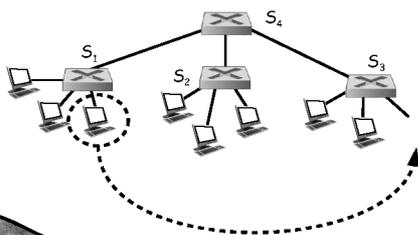
- Permite topologías de una complejidad arbitraria, los ciclos se evitan a través del campo **TTL** y de buenos protocolos de ruteo
- El tráfico de tipo broadcast no atraviesa la separación entre redes

● Aspectos cuestionables:

- El administrador debe configurar los parámetros del routers (de mínima su dirección **IP**)
- El costo de procesamiento por datagrama es superior

LAN Virtuales

- ¿Qué sucede si un usuario de una subred necesita conectarse al mismo dominio de colisión, pero con la salvedad de trabajar desde otra subred?



LAN Virtuales

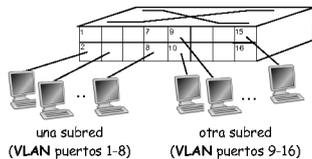
- La alternativa naïve sería que la totalidad de la red conforme un único dominio de colisión
 - Esto implica que la totalidad del tráfico broadcast de la capa de enlace recorra la totalidad de la red
- Naturalmente, esto puede comprometer la seguridad, la privacidad y la eficiencia de la red

LAN Virtuales

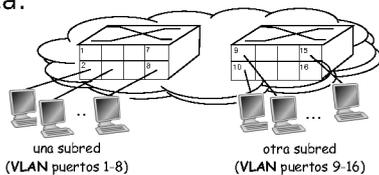
- Una solución más elegante consiste en hacer uso de redes **LAN** virtuales (**VLAN**)
- La idea es que la misma red física se particione en múltiples redes lógicas
- Este comportamiento puede ser alcanzado particionando en distintas **VLANs** a los puertos de los switches
 - Los puertos de un único switch físico se comportan como si fueran los puertos de múltiples switches lógicos independientes

VLAN basada en puertos

- Visión física:



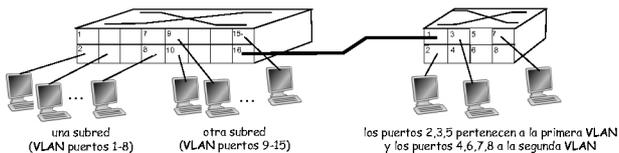
- Visión lógica:



VLAN basada en puertos

- El poder definir **VLANs** resulta muy práctico:
 - En primer lugar es posible aislar el tráfico de las distintas redes lógicas
 - La distribución de los puertos se puede realizar de forma dinámica
 - También es posible particionar en redes a partir de las direcciones físicas de los adaptadores
 - El forwarding entre redes lógicas se debe resolver de la manera usual a nivel de capa de red (es decir, haciendo uso de un router)

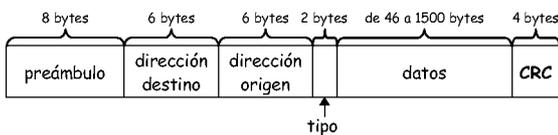
VLAN con múltiples switches



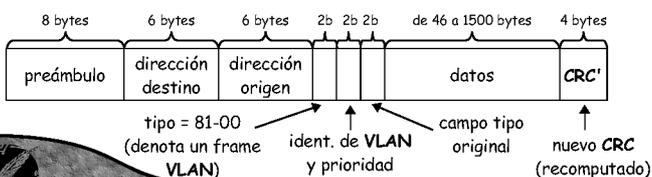
- También es posible definir una **VLAN** que abarque múltiples switches:
 - Se reserva un puerto especial en cada switch para vincular las redes virtuales
 - Hará falta incorporar un nuevo campo en las tramas

Trama ethernet para VLAN

- Trama ethernet convencional (**IEEE 802.3**):



- Trama ethernet para **VLAN (IEEE 802.3ac)**:



¿VLAN o VPN?

- La tecnología de **LAN** virtuales no debe confundirse con la tecnología **VPN** (Virtual Private Network)
 - Una **VLAN** modifica por software la topología de una red local
 - Una **VPN** esencialmente brinda conectividad a nivel de capa de enlace a través de un tunel punto a punto
- Un uso frecuente para las **VPNs** es el teletrabajo o bien escapar a limitaciones geográficas de acceso o bien de contenido (por caso, Netflix)

¿Preguntas?