

Módulo 05

La Capa de Enlace

(Pt. 1)



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



Copyright

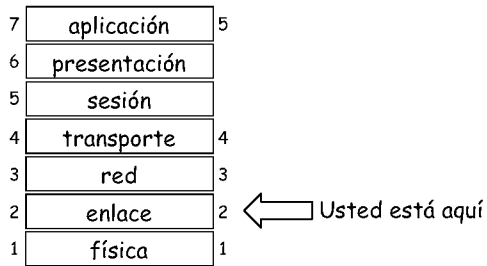
- Copyright © 2010-2024 A. G. Stankevicius
- Se asegura la libertad para copiar, distribuir y modificar este documento de acuerdo a los términos de la **GNU Free Documentation License**, versión 1.2 o cualquiera posterior publicada por la Free Software Foundation, sin secciones invariantes ni textos 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

ISO/OSI - TCP/IP

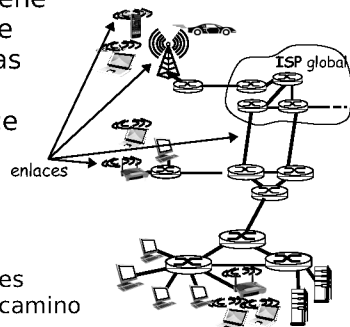


Un poco de terminología

- A nivel de capa de enlace no es necesario distinguir entre computadoras y routers
 - Denominaremos genéricamente nodo a cualquier dispositivo de la red (incluso bridges y switches)
- El canal de comunicación conectando un conjunto de nodos se denomina enlace
 - Enlaces cableados
 - Enlaces inalámbricos
- El **PDU** (Protocol Data Unit) de esta capa se denomina usualmente trama

Capa de enlace

- La capa de enlace tiene la responsabilidad de transferir datagramas de un nodo a otro a través de un enlace
 - Los datagramas son encapsulados dentro de las tramas
 - Una multiplicidad heterogénea de enlaces conforman un mismo camino



Protocolo de enlace

- Los datagramas son transferidos usando los distintos protocolos de enlace que figuran a lo largo de un camino de origen a destino:
 - Por caso, **Ethernet** en el primer enlace, **Frame Relay** en el enlace intermedio y **IEEE 802.11** en el último enlace
- Cada protocolo de enlace brinda un conjunto particular de funcionalidades
 - Por ejemplo, algunos (no todos) aseguran la transferencia segura de datos

Otra car analogy más...

- Los autores consideran que en este punto corresponde apelar a otra car analogy
- Se desea viajar a la ciudad de Ushuaia:
 - Primero viajamos a la ciudad de Buenos Aires, por caso usando algún ómnibus o quizás en auto
 - Luego, tomamos un avión desde allí a Ushuaia
- Evidentemente los servicios provistos en los distintos tramos (enlaces) dependerán del medio de transporte (protocolo de enlace)

Servicios de la capa

- Entramado y acceso físico al enlace:
 - Los datagramas se encapsulan dentro de tramas, las que se delimitan mediante un encabezado y un terminador
 - Si el medio físico del enlace es compartido por varios nodos, también se arbitra el acceso al mismo
 - Se usan direcciones físicas en el encabezado de las tramas para identificar el origen y el destino
 - ¡No confundir la dirección física con la dirección **IP**!

Servicios de la capa

• Transmisión confiable de datos:

- Los mecanismos utilizados en la capa de enlace son exactamente los mismo que repasamos al abordar la capa de transporte
- Este servicio no es requerido en los enlaces de alta calidad que presentan muy baja probabilidad de error (por caso, fibra óptica, algunos tipos de par trenzado)
- En cambio, en los enlaces inalámbricos se registran altas tasas de error en la transmisión de datos
- ¿Tendrá sentido replicar esta funcionalidad en la capa de enlace?

Servicios de la capa

• Control de flujo:

- Gestión del ritmo de envío entre nodos adyacentes al enviar y recibir información

• Detección de errores:

- Los errores se producen por la atenuación de las señales, el ruido de fondo, etc.
- El receptor es el encargado de detectar que se produjo un error
- Informa al emisor que debe retransmitir o descartar la trama en cuestión

Servicios de la capa

• Corrección de errores:

- En ocasiones el receptor puede no sólo detectar que se produjo un error sino que además puede contar con la suficiente información como para corregir los bits en error sin depender de una retransmisión de la trama en error

• Comunicación unidireccional y bidireccional:

- En los enlaces unidireccionales ambos extremos pueden emitir datos siempre y cuando no lo hagan al mismo tiempo

¿Dónde se implementa?

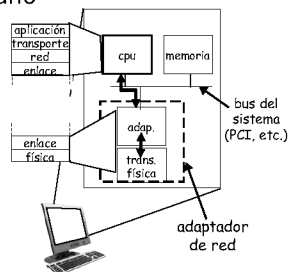
- La capa de enlace se implementa en absolutamente todos los dispositivos

→ Cada dispositivo cuenta con uno o más adaptadores de red

→ El adaptador implementa tanto la capa de enlace como la física

→ También se conectan al bus del sistema

→ Combina hardware, software e incluso firmware



Emisor y receptor

- Emisor y receptor interactúan en sincronía a fin de proveer los servicios de la capa de enlace

- El emisor debe:

→ Encapsular los datagramas en las tramas

→ Agregar los bits necesarios para el control de errores, control de flujo, transmisión confiable de datos, etc.

- El receptor debe:

→ Verificar los bits de error, de control de flujo, etc.

→ Extraer el datagrama y entregarlo a la capa de arriba

Detección de errores

- La detección de errores consiste esencialmente en reconocer si un patrón de bits guarda su forma original o bien ha sido alterado

→ A tal efecto se incorporan al dato un conjunto de bits redundantes denominados bits de código

→ Si se disponen de suficiente cantidad de bits de código es posible intentar no sólo detectar el error sino también conocer dónde se produjo a fin de poder corregirlo, evitando la retransmisión

- La detección no es infalible

Detección y corrección

- Se han ensayada un conjunto bastante diverso de códigos detectores y correctores de errores:
 - **Paridad**: sólo detecta errores simples
 - **Hamming básico**: detecta y corrige errores simples, o bien sólo detecta errores simples y dobles
 - **Hamming extendido**: detecta hasta errores dobles y corrige simples, o bien detecta hasta errores triples
 - **VRC**: detecta errores en burst hasta un límite
 - **CRC**: detecta errores en burst de una longitud menor o igual al grado del polinomio generador

Distancia mínima

- Se denomina distancia mínima a la cantidad de bits que se deben modificar en un patrón denotando un código válido para obtener otro código válido
- La distancia mínima de un código se relaciona directamente con su capacidad para detectar y para corregir errores
 - Si **D** es la distancia mínima de un código, **d** su capacidad de detectar errores y **c** la de corregir, se verifica que $D > d + c$ y que $d \geq c$

Tipos de enlaces

- Enlaces tipo punto-a-punto:
 - El protocolo **PPP** de acceso a internet por teléfono convencional
 - Los enlaces punto-a-punto de la mayoría de las variantes de **Ethernet** de alta velocidad
- Enlaces tipo broadcast:
 - **Ethernet** histórico
 - El protocolo **HFC** de acceso a internet por cable (**TV**)
 - El protocolo **IEEE 802.11** de lo que llamamos **WiFi**

Protocolo de acceso múltiple

- El protocolo de acceso múltiple se utiliza para poder hacer uso de los canales compartidos propios de los enlaces de tipo broadcast
 - En este tipo de canal, si dos o más nodos transmiten en simultáneo se produce una interferencia
 - Ante una interferencia, todo lo que se está transmitiendo se vuelve ininteligible
 - En otras palabras, sólo un nodo por vez puede hacer uso del canal de forma libre de interferencias

Protocolo de acceso múltiple

- Se basa en un algoritmo distribuido el cual determina cómo compartir el canal
 - La clave está en determinar cómo hacer una distribución de manera efectiva
 - Esto es, el protocolo debe definir cuándo puede transmitir cada nodo
 - Debemos tener en cuenta que toda comunicación relativa a cómo compartir el canal también tiene que hacer uso de propio canal

Protocolo ideal

- Para un canal compartido el cual cuenta con un ancho de banda **R**:
 - Cuando un nodo solo desee transmitir, debe poder hacerlo a la tasa **R**
 - Cuando **M** nodos deseen transmitir, cada uno debe poder hacerlo a una tasa promedio de R / M
 - Debe ser totalmente descentralizado
 - Es decir, no debe depender de un nodo especial para coordinar las transmisiones, o de un reloj compartido
 - Por último, debe ser simple

Taxonomía de protocolos MAC

- Los protocolos **MAC** (Medium Access Control) se clasifican en tres grandes grupos
- En primer lugar están los protocolos que particionan el canal compartido
 - La idea central es dividir el canal compartido en partes más pequeñas (por caso, frecuencias, ranuras o slots de tiempo, códigos, etc.)
 - Luego, se asigna una parte del canal a cada nodo para que haga un uso exclusivo de la misma



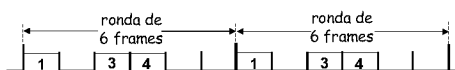
Taxonomía de protocolos MAC

- Otra alternativa es organizar los accesos de manera aleatoria
 - El canal no se divide en partes, pero se anticipa que se van a producir colisiones
 - Existe un mecanismo puntual para recuperarse de esta situación
- Finalmente, otra opción es “tomar turnos” a la hora de acceder al medio compartido
 - La idea es coordinar de manera precisa el acceso al medio a fin de evitar colisiones



MAC vía TDMA

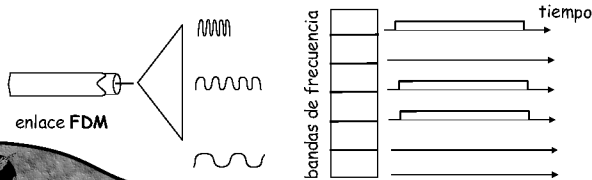
- La organización **TDMA** (Time Division Multiple Access) particiona el canal compartido entre los distintos nodos
 - El canal es accedido periódicamente, en rondas
 - Los nodos reciben una porción fija y predeterminada de tiempo en cada ronda
 - Las porciones que no sean usadas en una cierta ronda terminan siendo desperdiciadas



MAC vía FDMA

- La organización **FDMA** (Frequency Division Multiple Access)

- El espectro disponible es particionado en canales
- Cada estación recibe un determinado canal fijo
- Los canales asignados a nodos sin datos para transmitir serán desperdiciados



Protocolos de acceso aleatorio

- Otra posibilidad es organizar los accesos al medio compartido de manera aleatoria:

- Cuando un nodo tenga datos para enviar hará uso de la totalidad del ancho de banda **R** del canal
- Los nodos no necesitan coordinarse entre sí de manera anticipada
- Si dos o más nodos transmiten a la vez, se produce una colisión

Protocolos de acceso aleatorio

- El protocolo de acceso al medio aleatorio debe resolver dos cuestiones:

- ¿Cómo detectar que se produjo una colisión?
- ¿Cómo se recupera de una colisión?

- Actualmente existen diversos protocolos **MAC** que siguen esta política:

- **ALOHA** con slots
- **ALOHA** puro
- La familia **CSMA**, **CSMA/CD** y **CSMA/CA**

¿Preguntas?
