

Capa de Enlace

La capa de enlace tiene dos responsabilidades muy importantes:

Framing y Control de Acceso



1

FRAMING:

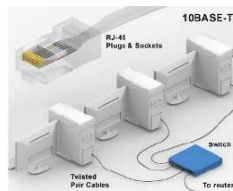
Significa definir la estructura de los campos de los frames o tramas. Todos los dispositivos que participan en una red deben conocer el formato de los frames para poder enviar o recibir información.

CONTROL DE ACCESO:

Es la lógica que permite compartir un medio de transmisión. De esta forma, múltiples dispositivos pueden acceder a un bus compartido, o al mismo canal de transmisión/recepción de datos.

La topología lógica de la red es determinada por el mecanismo de control de acceso al medio (media access control).

Ethernet	>>	BUS
FDDI	>>	Anillo



2

1

DIRECCIONAMIENTO:

A diferencia del direccionamiento lógico o de capa de red, el direccionamiento de capa de enlace solo permite direccionar los frames dentro de la misma red.

DIRECCIONAMIENTO MAC

La **dirección MAC** (siglas en inglés de *media access control*; en español "control de acceso al medio") es un identificador de 48 bits (6 bloques hexadecimales) que corresponde de forma única a una tarjeta o dispositivo de red. Se conoce también como **dirección física**, es única para cada dispositivo. Está determinada y configurada por el IEEE y el fabricante (los primeros 24 bits) utilizando el **organizationally unique identifier**. La mayoría de los protocolos que trabajan en la capa 2 del modelo OSI usan una de las tres numeraciones manejadas por el IEEE: MAC-48, EUI-48, y EUI-64, las cuales han sido diseñadas para ser identificadores globalmente únicos.

No todos los protocolos de comunicación usan direcciones MAC, y no todos los protocolos requieren identificadores globalmente únicos

Por ejemplo, una dirección MAC podría ser **F0:E1:D2:C3:B4:A5**.

3

CONTROL DE FLUJO

Los mecanismos de control de flujo permiten administrar la velocidad de transmisión de estaciones remotas. No todas las estaciones tienen las mismas características de performance y utilización por lo que es necesario contar con un mecanismo de control de flujo.

La IEEE ha subdividido la capa de enlace en dos subcapas:

LLC (Logical Link Control)
MAC (Media Access Control)

LLC: Permite múltiples comunicaciones por un mismo medio (IEEE 802.2)

MAC: administra los protocolos de acceso al medio

Los protocolos que utilizan MAC son :

Ethernet
Token Ring
FDDI

Algunos protocolos utilizan direcciones de capa de enlace, que no respetan el formato de las direcciones MAC, por ejemplo : Frame Relay, ATM o PPP

4

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO (MAC)

ALOHA: Cuando el emisor quiere transmitir una trama, simplemente la emite. No se preocupa por si el canal está libre. Una vez transmitido se pone a la escucha esperando recibir confirmación de que la información ha sido recibida correctamente por el destinatario (CRC). Si la confirmación no llega en un tiempo razonable preestablecido, el emisor supone que ha ocurrido un error y retransmite.

CSMA/CA: Carrier sense multiple access/ Collision Avoidance, se basa en evitar las colisiones en lugar de detectarlas, generando una señal de reserva de canal. Si la reserva es exitosa, se asume que la portadora está disponible. Este es el mecanismo de acceso principal de las redes LAN Wireless (IEEE802.11).

CSMA/CD: Las estaciones antes de transmitir, deberían detectar si el canal ya estaba en uso (es decir si había portadora), en cuyo caso esperarían a que la estación activa cesara de transmitir. Además cada estación, mientras transmitiera, estaría continuamente monitoreando el medio físico por si producía alguna colisión, en cuyo caso pararía y transmitiría más tarde. CSMA/CD es un mecanismo de acceso al medio de tipo probabilístico. Esto significa que, bajo condiciones aprobadas, existe una probabilidad muy alta de que una estación determinada pueda transmitir, sin embargo, físicamente es posible utilizar una configuración estrella, como se observa en la actualidad con el protocolo Ethernet.

5

Códigos para tratamiento de errores

<https://www.youtube.com/watch?v=XSj0DeKrDMs>

Códigos polinómicos o de redundancia cíclica (CRC)

Añadir r bits al mensaje de k bits, de forma tal que el polinomio resultante, $T(x)$ correspondiente a los $k+r$ bits, sea divisible por $G(x)$

El receptor verifica si $T(x)$ es divisible por $G(x)$, si no lo es, hay un error en la transmisión

• Emisor (algoritmo a seguir):

- Añadir r bits 0 al extremo de menor orden del mensaje.
- El polinomio correspondiente será $X^r \cdot M(x)$
- Dividir (módulo 2) $X^r \cdot M(x)$ entre $G(x)$: $X^r \cdot M(x) / G(x) = C(x) + R(x) / G(x)$
- $C(x)$ es el cociente y $R(x)$ el resto
- Restar a $x^r \cdot M(x)$ el valor del resto $R(x)$
- (esto es equivalente a añadir al mensaje original $M(x)$ el resto $R(x)$)

6

$$T(x) = X^r \cdot M(x) - R(x)$$

-Se obtiene así $T(x)$, cuyos coeficientes (unos o ceros) sustituyen el mensaje a transmitir. $T(x)$ es siempre divisible por $G(x)$

Receptor:

- Recibe el mensaje $T'(x)$ del emisor
- Divide $T'(x)$ entre $G(x)$
- Si el resto es cero, el mensaje ha llegado correctamente ($T'(x) = T(x)$)
- Si el resto no es cero, el mensaje ha llegado con error y hay que pedir una retransmisión ($T'(x) \neq T(x)$)

7

ETHERNET

El método de acceso al medio que utiliza Ethernet se determina por el protocolo CSMA/CD.

Características:

- .-Fácil de implementar
- .-Económico
- .-Sencillo de entender
- .-Efectivo
- .-Se adaptó a las necesidades actuales de mayores velocidades y mayor volumen de información.

Cuando se produce un acceso múltiple (dos dispositivos transmitiendo al mismo tiempo) ocurre una colisión. La colisión no es un error de transmisión, sino un fenómeno esperado por el algoritmo de MAC. La presencia de mas estaciones o de tráfico más frecuentes causa que la cantidad de colisiones sea más frecuente.

8

4

COLISIONES

La colisión se detecta al comparar lo que se transmite con lo que se recibe, cuando no coinciden ambas señales .

Al detectar la colisión ambos dispositivos cesan de transmitir, enviando una señal llamada jamming, que sirve para indicar a los demás que no interpreten lo transmitido como datos válidos. Y que esperen un tiempo aleatorio antes de volver a transmitir.

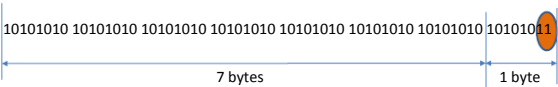
La primera vez intentarán volver a transmitir aleatoriamente dentro de un intervalo de tiempo. Si al volver a intentarlo una colisión ocurre nuevamente, entonces repiten el mismo proceso, pero el tiempo aleatorio que esperarán será el doble que el anterior. Minimizando la posibilidad de que ambas estaciones vuelvan a colisionar. Si volviera a ocurrir una colisión, el intervalo volverá a duplicarse.

El proceso se puede repetir hasta 16 veces como máximo. Si un dispositivo agota las 16 posibilidades, el protocolo especifica que se debe desistir y reportar a las capas superiores que ocurrió un error de transmisión.

9

Estructura de la trama de 802.3 Ethernet

Pre-ambulo	Delimitador de inicio de trama	MAC de destino	MAC de origen	802.1Q Etiqueta (opcional)	Ethertype (Ethernet II) o longitud (IEEE 802.3)	Payload	Secuencia de comprobación (32-bit CRC)	Inter Packet Gap
7 Bytes 10101010...	1 Byte 10101011	6 Byte	6 Bytes	(4 Bytes)	2 Bytes	De 46 (o 42) hasta 1500 Bytes	4 Bytes	12 bytes
64–1522 Bytes								
72–1530 Bytes								
84–1542 Bytes								



10

Campos de la trama Ethernet						
?	1	6	6	2	46-1500	4
Preámbulo	Inicio de delimitador de trama	Dirección Destino	Dirección Origen	Tipo	Datos	Secuencia de verificación de trama

Formato de la Trama Ethernet

•**Preámbulo:** Patrón de unos y ceros que indica a las estaciones receptoras que una trama es Ethernet o IEEE 802.3. La trama Ethernet incluye un byte adicional que es el equivalente al campo Inicio de Trama (SOF) de la trama IEEE 802.3.

•**Inicio de trama (SOF):** Byte delimitador de IEEE 802.3 que finaliza con dos bits 1 consecutivos, y que sirve para sincronizar las porciones de recepción de trama de todas las estaciones de la red. Este campo se especifica explícitamente en Ethernet.

11

•**Direcciones** destino y origen: Incluye las direcciones físicas (MAC) únicas de la máquina que envía la trama y de la máquina destino. La dirección origen siempre es una dirección única, mientras que la de destino puede ser de:

BROADCAST UNICO O UNICAST
BROADCAST MULTIPLE O MULTICAST
BROADCAST

•**Tipo (Ethernet II):** Especifica el protocolo de capa superior que recibe los datos una vez que se ha completado el procesamiento Ethernet.

O

•**Longitud (IEEE 802.3):**Indica la cantidad de bytes de datos que sigue a este campo.

•**Datos:** Incluye los datos enviados en la trama. En las especificación IEEE 802.3, si los datos no son suficientes para completar una trama mínima de 64 bytes, se insertan bytes de relleno hasta completar ese tamaño (tamaño mínimo de trama). Por su parte, las especificaciones Ethernet versión 2 no especifican ningún relleno, Ethernet espera por lo menos 46 bytes de datos.

.

12

•**Secuencia de verificación de trama (FCS):** Contiene un valor de verificación CRC (Control de Redundancia Cíclica) de 4 bytes, creado por el dispositivo emisor y recalculado por el dispositivo receptor para verificar la existencia de tramas dañadas. Cuando un paquete es recibido por el destinatario adecuado, les retira la cabecera de Ethernet y el checksum de verificación de la trama, comprueba que los datos corresponden a un mensaje IP y entonces lo pasa a dicho protocolo para que lo procese. El tamaño máximo de los paquetes en las redes Ethernet es de 1500 bytes.

•**Gap entre frames:** El gap de final de trama son 12 bytes vacíos con el objetivo de espaciado entre tramas. (falta en la 2da. gráfica)

13

Tecnología y velocidad de Ethernet

Hace ya mucho tiempo que Ethernet consiguió situarse como el principal protocolo del nivel de enlace. Ethernet 10Base2 consiguió, ya en la década de los 90s, una gran aceptación en el sector. Hoy por hoy, 10Base2 se considera como una "tecnología de legado" respecto a 100BaseT. Hoy los fabricantes ya han desarrollado adaptadores capaces de trabajar tanto con la tecnología 10baseT como la 100BaseT y esto ayuda a una mejor adaptación y transición.

Las tecnologías Ethernet que existen se diferencian en estos conceptos:

Velocidad de transmisión

- Velocidad a la que transmite la tecnología.

Tipo de cable

- Tecnología del nivel físico que usa la tecnología.

Longitud máxima

- Distancia máxima que puede haber entre dos nodos adyacentes (sin estaciones repetidoras).

Topología

- Determina la forma física de la red. Bus si se usan conectores T (hoy sólo usados con las tecnologías más antiguas) y estrella si se usan hubs (estrella de difusión) o [switches](#) (estrella conmutada).

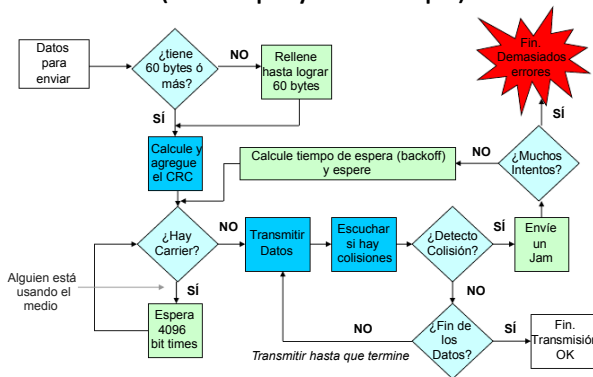
14

A continuación se especifican los anteriores conceptos en las tecnologías Ethernet más importantes:

Tecnología	Velocidad de transmisión	Tipo de cable	Distancia máxima	Topología
10Base2	10 Mbit/s	Coaxial	185 m	Bus (Conector T)
10BaseT	10 Mbit/s	Par Trenzado	100 m	Estrella (Hub o Switch)
10BaseF	10 Mbit/s	Fibra óptica	2000 m	Estrella (Hub o Switch)
100BaseT4	100 Mbit/s	Par Trenzado (categoría 3UTP)	100 m	Estrella. Half Duplex (hub) y Full Duplex (switch)
100BaseTX	100 Mbit/s	Par Trenzado (categoría 5UTP)	100 m	Estrella. Half Duplex (hub) y Full Duplex (switch)
100BaseFX	100 Mbit/s	Fibra óptica	2000 m	No permite el uso de hubs
1000BaseT	1000 Mbit/s	4 pares trenzado (categoría 5e ó 6UTP)	100 m	Estrella. Full Duplex (switch)
1000BaseSX	1000 Mbit/s	Fibra óptica (multimodo)	550 m	Estrella. Full Duplex (switch)
1000BaseLX	1000 Mbit/s	Fibra óptica (monomodo)	5000 m	Estrella. Full Duplex (switch)

15

Transmisión de frames (10Mbps y 100Mbps)



16

• Definición: Slot Time

Es al menos el doble del tiempo que tarda un pulso electrónico (OSI Layer 1 - Physical) en recorrer la longitud de la distancia teórica máxima entre dos nodos. En las redes CSMA / CD, como Ethernet, hay un límite superior en la adquisición del medio, un límite en la longitud de un fragmento de paquete generado por una colisión y el cuanto espera para la retransmisión. [1]
Dado que el tiempo de ejecución de un pulso nunca excederá el tiempo de ranura (el tiempo teórico máximo para que una trama viaje por una red), la NIC espera un mínimo de tiempo de ranura antes de retransmitir después de que ocurrió una colisión, para permitir cualquier pulso que se inició en ese momento que se solicitó a la NIC en espera que enviara para llegar a todos los demás nodos. Al permitir que el pulso llegue a la NIC en espera, se produce una colisión local (es decir, mientras se sigue enviando) en lugar de que se produzca una colisión tardía (después de que el envío haya finalizado o no). Al hacer que la colisión ocurra en la NIC (local) y no en el cable (tarde), la implementación de CSMA / CD recupere la situación retransmitiendo más tarde.

Speed	Slot time ^[3]	Time Interval	Distancia Recorrida (aprox)
10 Mbit/s	512 bit times	51.2 microseconds	15400 metros
100 Mbit/s	512 bit times	5.12 microseconds	1540 metros
1 Gbit/s ^[4]	4096 bit times	4.096microseconds	1200 metros

17

Slot time y el diámetro de la red

- La máxima longitud de los cables en una red Ethernet (es decir, el máximo diámetro) y el slot time están muy relacionados:
 - En 10 Mbps sobre cable coaxial, las señales pueden viajar aproximadamente 7600 metros durante un slot time (el límite de 100 m en 10Base-T se debe a las características de calidad y no al RTT , tiempo en regresar al emisor)
 - En 100 Mbps las señales operan 10 veces más rápido que en 10Mbps, lo que significa que el tiempo de cada bit es diez veces más corto. En este caso el máximo diámetro de la red es de unos 760 metros.
 - Si en Gigabit Ethernet se utilizara un slot time de 512 bit times, el máximo diámetro de la red sería de unos 20 metros cuando opera en modo half duplex. Allí se mantiene el tamaño mínimo del frame en 512 bits (64 bytes) y se extiende el slot time a 4096 bit times (carrier extension)

<http://www.arcesio.net>

18

Adquisición del canal

- En 10 Mbps y 100 Mbps, cuando una tarjeta ha logrado enviar 512 bits (sin contar el preámbulo) sin que se dé una colisión se dice que dicha estación ha adquirido el canal.
- El tiempo para transmitir 512 bits se conoce como el slot time del canal Ethernet (en Gigabit Ethernet el slot time es extendido a 4096 bit times - 512 byte times-)
- Las tarjetas de red ethernet deben poder monitorear las condiciones del canal compartido.
- Además, las condiciones de los elementos que componen el medio físico (cables, transceivers, hubs) deben ser las apropiadas, de tal forma que cualquier estación detecte una colisión dentro del tiempo adecuado: un slot time del canal.
- Las colisiones tardías son síntomas de problemas (full-half, NEXT malo, segmento demasiado extenso).

<http://www.arcesio.net>

19

Extendiendo los segmentos Ethernet con "hubs"

- Los Hubs permiten tener varios puertos Ethernet y "expandir" Ethernet
- Hay dos tipos de hubs
 - Hubs Repetidores
 - Hubs de conmutación de paquetes (switches)
- Todos los repetidores y los segmentos en una LAN Ethernet deben cumplir con las restricciones de Round Trip Timing
- Cada puerto de un switch opera como una LAN Ethernet diferente (las restricciones de Round Trip Timing se terminan en el puerto del switch)
- Los repetidores permiten tener una LAN Ethernet con varias docenas de estaciones. Los switches permiten enlazar un amplio número de la LAN's Ethernet, siendo capaz de soportar miles de estaciones.

<http://www.arcesio.net>

20

10

Ethernet full duplex

- En full duplex el dispositivo puede enviar y recibir datos simultáneamente (en teoría ofrece el doble de ancho de banda).
- En full duplex:
 - No se comparte el segmento físico: sólo se interconectan dos dispositivos.
 - Las dos estaciones deben ser capaces y estar configuradas para trabajar en full duplex.
 - El medio debe tener trayectorias independientes para transmitir y recibir datos que operen de manera simultánea (no se utiliza CSMA/CD, aunque se respeta el IFG)
- 10BaseT, 10Base-FL, 100BaseTX, 100BaseFX, 1000Base-SX, 1000Base-LX, 1000Base-CX y 1000Base-T pueden usar full duplex
- En fibra óptica, los enlaces full duplex pueden ser más largos que en half duplex.
- ¡No existen repetidores full duplex!

<http://www.arcesio.net>

21

Ethernet full duplex

- Full duplex se utiliza para enlaces entre switches o entre switch y servidor. Se puede utilizar también en un enlace a un equipo de un usuario.
- Debe asegurarse que las dos estaciones estén configuradas para full duplex. Si una estación está full duplex y la otra half duplex se pueden presentar problemas de colisiones tardías.
- Cuando un segmento físico utiliza full duplex, el protocolo CSMA/CD queda deshabilitado y las restricciones de RTT desaparecen permitiendo utilizar mayores longitudes en los cables de F.O. Por ejemplo en 100Base-FX, que está limitado a 412 m en half duplex puede llegar hasta 2 Km en full duplex. En fibra monomodo puede llegar a los 20 Km.
- El aumento de longitud del cable en full duplex NO aplica para cable de cobre.

<http://www.arcesio.net>

22

11

Control de flujo en Ethernet

- Full duplex exige un mecanismo de control de flujo entre las estaciones (una estación puede enviar una mayor cantidad de datos que lo que la otra puede guardar en el buffer de su interface de red)
- El suplemento 802.3x (ethernet full duplex), de marzo de 1997, incluye una especificación de un mecanismo de control de acceso al medio (MAC) opcional que permite, entre otras cosas, enviar un mensaje para control del flujo llamado *PAUSE*.
- Los frames de control MAC se identifican porque el valor de tipo es 0x8808.
- Estos frames tienen códigos de operación (opcodes) en el campo de datos. El tamaño de estos frames se fija al mínimo establecido en el estándar (es decir 46 bytes de carga útil).
- El opcode está en los dos primeros bytes del campo de datos.

<http://www.arcesio.net>

23

La operación PAUSE en Ethernet Full Duplex

- El sistema PAUSE de control de flujo sobre un enlace full duplex está definido en el suplemento 802.3x y utiliza los frames de control MAC para transportar los comandos PAUSE.
 - El opcode para el comando PAUSE es 0x0001.
 - Sólo las estaciones configuradas para operación full duplex pueden enviar frames PAUSE.
 - Los frames que envían el comando PAUSE llevan como dirección MAC destino 01:80:c2:00:00:01 (una dirección multicast). Esta dirección ha sido reservada para los frames PAUSE.
 - Además del opcode, el comando PAUSE lleva en dos bytes el tiempo que se desea se haga la pausa. El tiempo de pausa es medido en unidades de 512 bit times (esta unidad la denominan “quanta”)

<http://www.arcesio.net>

24

Ethernet opera con un sistema de entrega de datos del mejor esfuerzo

- NO se garantiza la entrega de datos confiables
 - Para mantener la complejidad y el costo en un nivel razonable
- Los canales están diseñados para que entreguen los datos bien, pero pueden ocurrir errores
 - Ruido electromagnético
 - Un canal sobrecargado puede llevar a 16 colisiones consecutivas de la misma interface obligándola a descartar el frame.
- Ningún sistema LAN es perfecto.
 - Los protocolos de alto nivel, como TCP, son los que aseguran que los datos son recibidos correctamente en el otro computador

<http://www.arcesio.net>

25



¿Cómo funciona el protocolo ARP?

1. "Correo" quiere enviar información a "DNS" a través de la red Ethernet
2. "Correo" envía un paquete con dirección destino broadcast (FF:FF:FF:FF:FF:FF) preguntando: ¿La estación con dirección IP 168.176.1.50 podría decirme cuál es su dirección MAC? (ARP request)
3. Como el ARP request tiene dirección broadcast todas las interfaces recibirán la solicitud, pero sólo responderá el "DNS" (porque él tiene la dirección 168.176.1.50) informándole su dirección MAC.
4. Al recibir "Correo" la dirección MAC, puede iniciar su envío de información entre los protocolos de alto nivel

<http://www.arcesio.net>

26

Bibliografía

- .- Computer Networks. AS Tanenbaum. ED. Prentice-Hall.1990. ISBN 0-13-166836-6
- .- Data and computer Communications. W. Stallings. Ed. Prentice Hall 1997

http://www.ie.tec.ac.cr/acotoc/CISCO/R&S%20CCNA1/R&S_CCNA1_ITN_Chapter5_Ethernet.pdf

<https://sites.google.com/site/sabyrodriguezgamez/unidad-iv/4-2-trama-de-ethernet>