

Capa de enlace

Álvaro González Sotillo

November 27, 2017

Contents

1	Introducción	1
2	Tramas	2
3	Control de flujo	2
4	Acceso al medio	3
5	Control de errores	4
6	Corrección de errores	8
7	Referencias	10

1 Introducción

1.1 La capa de enlace

- Es la capa 2 de la arquitectura OSI.
- Se encarga de conseguir que la comunicación de datos se produzca correctamente a través de un medio físico de transmisión.
- Para lograr que dos dispositivos adyacentes se comuniquen, se necesita un control del intercambio de datos: el control del enlace.
- La capa de enlace proporciona a la capa de Red un servicio de transporte de bits fiable (asegura que los bit se transmiten correctamente por el medio físico).
- El bloque de datos transmitido se denomina TRAMA.

1.2 Funciones de la capa de enlace

- Sincronización a nivel de trama.
- Control de flujo: las estaciones deben ponerse de acuerdo en el ritmo de transmisión de datos.
- Control de errores: los enlaces no son perfectos. Hay que controlar que no haya errores en la transmisión.

-
- Direccionamiento: si hay varios posibles destinos, es necesario identificar a quien va dirigida la trama.
 - Gestión del enlace:
 - Inicio de la transmisión
 - Mantenimiento de la transmisión
 - Finalización de la transmisión

1.3 MAC y LLC

- En la arquitectura IEEE 802, el nivel de enlace se divide en dos subcapas:
 - LLC: se encarga de las funciones comunes de la capa independientemente del medio físico usado
 - * Control de errores
 - * Direccionamiento
 - * Sus funciones han sido definidas por el subgrupo 802.2.
 - MAC: se encarga del acceso al medio (gestión del enlace)

2 Tramas

- Una trama es un bloque de bits agrupados que son enviados por la línea.
- El tamaño de la trama depende del tipo de red.
- Agrupar los bits en tramas facilita:
 - la detección y corrección de errores
 - la compartición del medio.
- Una trama se compone de tres partes
 - Información sobre la trama
 - Datos.
 - Redundancia.

3 Control de flujo

- Veremos el control de flujo cuando estudiemos TCP
- Algunos protocolos de nivel 2 lo soportan. No es el caso de Ethernet.

4 Acceso al medio

4.1 Clasificación general

- Medio repartido
 - **FDM**: multiplexación en frecuencias
 - * Cada vez menos usado: se puede infrautilizar el ancho de banda
 - **TDM**: multiplexación en tiempo
- Medio compartido
 - Sin colisiones
 - * Sondeo
 - * **Paso de testigo** (Token Bus)
 - Con colisiones
 - * **CSMA/CD** (Ethernet)
 - * **CSMA/CA** (Wifi)

4.2 FDM

- Se multiplexa el canal por frecuencia
- Cada canal se asigna a un nodo de la red
- Usado en:
 - Red telefónica (analógica)
 - Radio FM/AM
 - DSL

4.3 TDM

- Se multiplexa el canal por tiempo (*a la Round Robin*)
- Cada canal se asigna a un nodo de la red
- Más común en transmisiones digitales
 - GSM
 - **SONET**

4.4 Paso de testigo

- Cada nodo debe esperar a tener el turno de emisión
- El turno se utiliza, y se cede al siguiente por un *testigo*
 - Un mensaje especial que indica que no se quiere emitir más
 - Y señala el siguiente equipo que emitirá
- Ejemplos:
 - **Token Bus**

4.5 CSMA/CD

- *Carrier-sense multiple access with collision detection*
- Multiple access: Cualquiera puede emitir usando el mismo medio
- Carrier-sense: Antes de emitir, se comprueba que nadie más esté emitiendo
- Collision detection:
 - Durante la transmisión, detecto si otro también emite
 - Si se produce una colisión, dejo de emitir
 - Y espero un tiempo aleatorio para volver a intentarlo

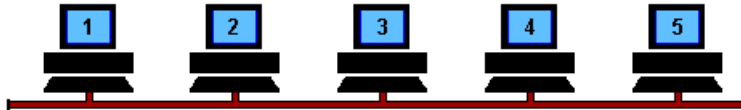


Figure 1: Animación de una colisión en un bus

4.6 CSMA/CA

- *Carrier-sense multiple access with collision avoidance*
- Similar a CSMA/CD
- Collision avoidance para evitar los **nodos ocultos**:
 - Antes de emitir los datos se envía un **RTS** (*request to send*)
 - * Es un mensaje pequeño, con poca probabilidad de colisión
 - Un nodo central recibe los RTS y determina quién recibe un **CTS** (*clear to send*)
 - El que recibe el CTS puede enviar sus datos sin problemas

5 Control de errores

- Consiste en enviar algunos bits añadidos a los datos con información que permita detectar o corregir los errores.
- El porcentaje de redundancia se calcula como

$$\frac{\text{bits de control}}{\text{bits totales}} \times 100$$

- Los errores pueden
 - Detectarse
 - Adicionalmente, corregirse

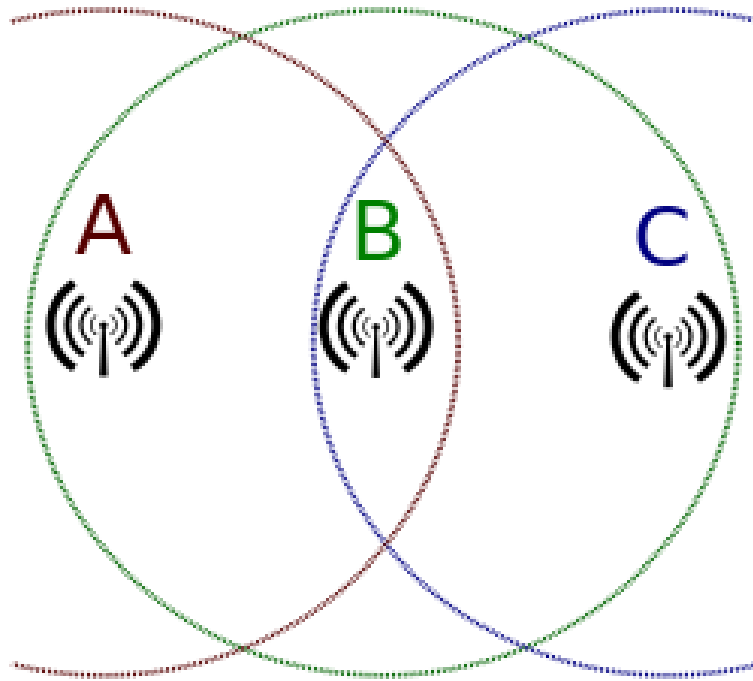


Figure 2: Los nodos de los extremos están ocultos entre sí, aunque el central detecta a los dos

5.1 Errores

- Un único bit
 - Más comunes en transmisión en paralelo
- Ráfagas de bits
 - Una interferencia actúa sobre los medios de transmisión
 - Perturban varios bits seguidos
 - Afectan más a comunicaciones en serie

5.2 Detección de errores

- ECO
 - El receptor envía una copia exacta de la información recibida al emisor.
 - El emisor confirma con otra trama que la información es correcta
- Paridad lineal. Se añade un bit extra, indicando si el número de bits con valor a 1 es par o impar.
 - 100100, con paridad par, se envía como 100100 0
 - 100100, con paridad impar, se envía como 100100 1
 - Problema: ¿Qué pasa si cambia un número **par** de bits?

5.2.1 Paridad de bloque

- Paridad de bloque. Se distribuyen los datos en una tabla y se calcula paridad por cada línea y columna.
 - Mensaje: 1100101 0110110 1011010 1001111 0111001 1100111 1010000, con paridad par
 - Se envía 1100101 0 0110110 0 1011010 0 1001111 1 0111001 0 1100111 1 1010000 0 1001000 0

	Datos	Paridad lineal
	1100101	0
	0110110	0
	1011010	0
	1001111	1
	0111001	0
	1100111	1
	1010000	0
Paridad de bloque	1001000	0

	Datos	Paridad lineal
	1100 0 01	0
	0110 1 10	0
	1011 0 10	0
	1001 1 11	1
	0111 0 01	0
	1100 1 11	1
	1010 0 00	0
Paridad de bloque	1001 0 00	0

	Datos	Paridad lineal
	1100 0 01	0
	0110 1 10	0
	1011 0 10	0
	1001 1 11	1
	0111 0 01	0
	1100 1 11	1
	1010 0 00	0
Paridad de bloque	0001 0 00	0

- Conclusión:
 - Si falla un bit, puedo arreglarlo
 - Si fallan dos bits, lo detecto
 - Si fallan más,
 - * Puedo no enterarme
 - * Puede parecer que ha fallado solo uno
 - * Puedo detectar el error

5.3 Actividad

- Calcular la paridad bidimensional del siguiente mensaje:
 - 1001101, 1111010, 1100110, 1110001, 1101001, 1110111, 0010111

5.4 Distancia de Hamming

- Cuando se produce un error, cambian algunos bits
- Según la codificación utilizada, no todas las combinaciones de 0s y 1s son posibles
 - Ejemplo: 4B/5B
- La **distancia de Hamming** de un código es la cantidad de bits que hay que cambiar en una combinación válida para llegar a otra combinación válida
- Cuanto mayor sea la distancia, más robusto es el código frente a errores
 - Si la distancia es d , se pueden detectar errores de hasta $d - 1$ bits.
 - Si la distancia es d , se pueden corregir errores de hasta $\lfloor (d - 1)/2 \rfloor$ bits.
- ¿Cuál es la distancia de Hamming de una transmisión con paridad?

5.5 CRC

- Al principio de la comunicación, emisor y receptor acuerdan un Polinomio Generador.
- Al iniciar la transmisión se añaden un número predeterminado de ceros a la información a enviar y se divide utilizando el polinomio generador.
- El receptor realiza nuevamente una división sobre los datos recibidos y si el resto es 0 indica que la trama se ha recibido sin errores.
- Finalmente se descartan los bits añadidos en el transmisor para quedarnos con el mensaje original.

5.5.1 ¿Por qué CRC?

- Hay versiones de CRC para diferentes longitudes de polinomio: CRC16, CRC32,...
- Los errores se producen típicamente a ráfagas
- Para un CRC de n bits
 - Se detectan todos los errores de ráfagas de menos de n bits incorrectos
 - Se detecta una fracción de las ráfagas más largas $(1 - 2^{-n})$

Longitud de crc	Porcentaje de detección de ráfagas mayores
8	99.609375
16	99.998474
32	99.999999767169

6 Corrección de errores

- La detección de errores es el primer paso
- Una vez detectado:
 - Se puede ignorar (las capas más altas deben arreglar el error)
 - Se puede corregir
- Ethernet no corrige errores, pero veremos algunas técnicas que pueden usar otras capas 2

6.1 Retransmisión

- Es el método de corrección más sencillo.
- Se detecta el error y se pide al emisor que vuelva a enviar la trama.
- Se tienen que memorizar las tramas enviadas hasta la recepción de un ACK que confirme que el envío de información fue exitosa.

6.2 Corrección: Código Hamming

- Codificación que permite la detección y la corrección de un bit
 - Su distancia de Hamming es 1
- Se incluyen bits de paridad de la siguiente forma:
 - Los bits de las posiciones $s = 2^{p-1}$ son de paridad: 1, 2, 4, 8...
 - El resto son de datos
 - El bit de la posición s se incluye en el bit de paridad p si la expresión de s en binario tiene a 1 el bit p

	p1	p2	d1	p3	d2	d3	d4	p4	d5	d6	d7
	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11
p1	x		x		x		x		x		x
p2		x	x			x	x			x	x
p3				x	x	x	x				
p4								x	x	x	x

6.2.1 Clasificación de códigos de Hamming

- La tabla anterior se puede hacer para cualquier longitud
- El ejemplo tiene 11 bits en total, 7 son de datos: Hamming(11,7)
- También es común el Hamming(7,4)

6.2.2 Ejemplo Hamming(11,7)

- Para transmitir 0110101

	p1	p2	d1	p3	d2	d3	d4	p4	d5	d6	d7
	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11
Datos			0		1	1	0		1	0	1
p1			0		1		0		1		1
p2			0			1	0			0	1
p3					1	1	0				
p4									1	0	1
Datos (con paridad):			0		1	1	0		1	0	1

- Para transmitir 0110101
- Se transmite 10001100101

	p1	p2	d1	p3	d2	d3	d4	p4	d5	d6	d7
	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11
Datos			0		1	1	0		1	0	1
p1	1		0		1		0		1		1
p2		0	0			1	0			0	1
p3				0	1	1	0				
p4								0	1	0	1
Datos (con paridad):	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1

6.2.3 Detección de un error con Hamming

- Se recibe 11001100101

	p1	p2	d1	p3	d2	d3	d4	p4	d5	d6	d7	Paridad
	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	
Recibida:	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	
p1	1		0		1		0		1		1	0
p2		1	0			1	0			0	1	1 (error)
p3				0	1	1	0					0
p4								0	1	0	1	0

- Hay un error, y se localiza en la posición 0010: s2 (p2)

6.2.4 Ejercicio

- Decide si las siguientes palabras de código Hamming son correctas. Si no son correctas, corrígelas.
 - 10001100101
 - 00100110010
 - 01110111001

6.2.5 ¿Y si hay más de 1 error?

- Su distancia de Hamming es 3, así que no se puede detectar

-
- En Hamming extendido se añade un bit de paridad adicional
 - Permite detectar errores de dos bits, pero no corregirlos

6.3 Ejercicio

- Calcula el porcentaje de redundancia de:
 - Tramas de 1000 bytes con crc32
 - Tramas de 100 bytes con crc16
 - Hamming (7,4)
 - Hamming (11,7)
 - Hamming (11,7) extendido
 - Paridad lineal: un bit de paridad cada 7 de datos
 - Paridad de bloque: un bit de paridad lineal cada 7 de datos, bloques de 49 bits de datos

7 Referencias

- Formatos:
 - [Transparencias](#)
 - [PDF](#)
- Creado con:
 - [Emacs](#)
 - [org-reveal](#)
 - [Latex](#)