



Subcapa de control de acceso al medio (Parte I)

- Asignación estática de canal en LANs y MANs
- Asignación dinámica de canal en LANs y MANs
- Protocolos de acceso múltiple
- Protocolos libres de colisiones
- Protocolos de contención limitada
- Protocolos de acceso múltiple por división de longitud de onda



UNIVERSIDAD
NEBRIJA



Subcapa de control de acceso al medio (Parte II)

- Protocolos de LANs inalámbricas
- Ethernet (802.3)
- Control lógico de enlace (LLC)
- LANs inalámbricas (802.11)
- MANs Inalámbricas (802.16)
- Bluetooth, Zigbee, 4G
- Conmutación en la capa de enlace de datos



UNIVERSIDAD
NEBRIJA

Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Canales de difusión:**
 - Control de acceso al medio (MAC): subcapa de la capa de enlace de datos que incluye un protocolo para determinar quién sigue en un canal multiacceso
 - Especialmente importante en la redes LAN, basada principalmente en redes multiacceso, WAN suele utilizar redes punto a punto excepto en satélite



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Asignación estática de canal en LANs y MANs:**
 - Existe la posibilidad de compartir un canal utilizando Multiplexación por División en Frecuencia (FDM) estática
 - N usuarios utilizan un ancho de banda que se divide en N
 - Como cada usuario tiene su parte del ancho de banda no hay interferencia entre usuarios
 - Útil para redes con una cantidad pequeña y fija de usuarios
 - Si hay mucho usuarios y variables, la asignación de un ancho de banda fijo hace desperdiciar parte del ancho de banda total (cuando hay menos de N usuarios) o denegar el servicio (cuando existen más de N usuarios)
 - El rendimiento pobre de FDM estática se puede modelar mediante el cálculo del retardo medio



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Asignación estática de canal en LANs y MANs:**
 - El rendimiento pobre de FDM estática se puede modelar mediante el cálculo del retardo medio

$$T = \frac{1}{\mu C - \lambda}$$

C capacidad del canal en bps

λ tasa de llegada de trama en tramas por segundo

$1/\mu$ bits por trama

- Ejemplo: un canal de 500Mbps con una longitud media de trama de $1/\mu=10000$ bits y una tasa de llegada de trama $\lambda=1000$ trama/s tendrá un retardo medio de $T=20,4\mu s$



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Asignación estática de canal en LANs y MANs:**
 - Si dividimos el canal en N subcanales independientes la capacidad se reducirá en N y la tasa de llegada de tramas en cada canal también:

$$T = \frac{1}{\mu C/N - \lambda/N}$$

- Ejemplo: un canal de 500Mbps con una longitud media de trama de $1/\mu=10000$ bits y una tasa de llegada de trama $\lambda=1000$ trama/s, dividido entre 10 usuarios tendrá un retardo medio por canal de $T=200,4\mu s$
- Como se puede comprobar los métodos de asignación del canal estáticos no son eficientes



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Asignación dinámica de canal en LANs y MANs:**
 - Definiciones clave:
 - Modelo de estación: N estaciones/terminales independientes que generan tramas para transmisión. La probabilidad de que una trama se genere en un intervalo de longitud Δt es $\lambda\Delta t$.
 - Con la generación de una trama la estación se bloquea hasta que la trama se transmita con éxito
 - Supuesto de canal único: Sólo hay un canal disponible para todas las comunicaciones
 - Supuesto de colisión: Si se transmiten de forma simultánea se genera un evento colisión que altera las tramas generando errores
 - Se asume que las estaciones pueden detectar colisiones
 - Las colisiones son la única fuente de error



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Asignación dinámica de canal en LANs y MANs:**
 - Definiciones clave:
 - Tiempo continuo: La transmisión de una trama puede comenzar en cualquier momento. No hay reloj que divida el tiempo en intervalos discretos
 - Tiempo ranurado: El tiempo se divide en ranuras (slots). Las transmisiones comienzan siempre al inicio de una ranura
 - Los estados de una ranura son: inactiva, transmisión con éxito o colisión
 - Detección de portadora: Las estaciones pueden saber si el canal está en uso antes de intentar transmitir. Si está en uso no se utilizará hasta que quede liberado
 - Sin detección de portadora: Sólo transmiten y comprueban si lo transmitido tuvo éxito o no



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de acceso múltiple:**
 - ALOHA puro: permite que los usuarios transmitan cuando tienen datos por enviar (no detecta portadora)
 - Asume colisiones y tramas dañadas
 - El usuario puede detectar si las tramas se han corrompido o no escuchando el canal
 - Para satélite el retardo medio suele ser de cientos de milisegundos antes de saber si la transmisión tuvo éxito o no
 - Si la trama se ha dañado el emisor esperará un tiempo aleatorio antes de volver a enviarla de nuevo
 - Es importante que el tiempo sea aleatorio para que las tramas no vuelvan a colisionar de manera síncrona
 - Los canales que asumen conflictos se denominan de contención



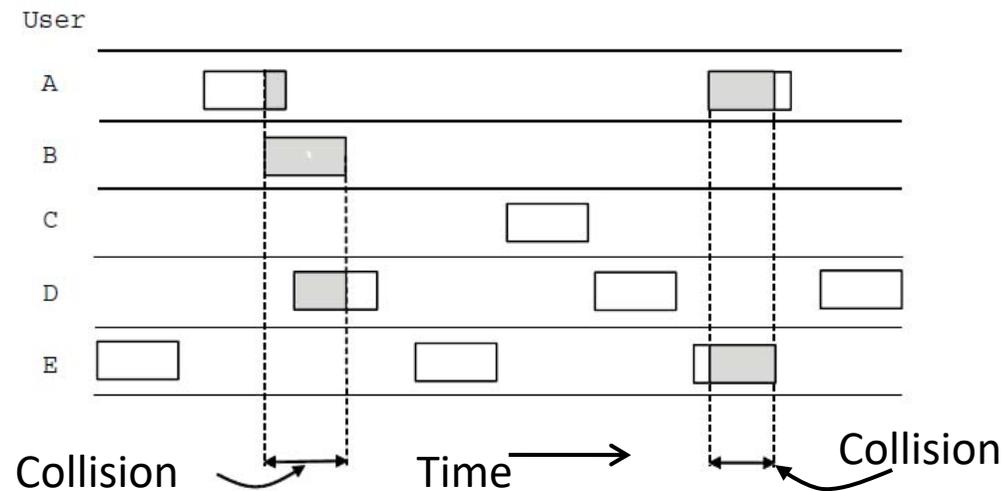
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de acceso múltiple:**
 - ALOHA puro:
 - Las tramas del sistema ALOHA tienen un tamaño uniforme
 - Es importante recordar que cuando se produce una colisión se dañan ambas tramas
 - Tiempo de trama: tiempo necesario para transmitir una trama de dimensiones estándar
 - Midiendo la velocidad (throughput) entre el tiempo de trama podemos establecer una medida de rendimiento del canal
 - En ALOHA puro el máximo rendimiento que se puede alcanzar es del 18% (esperable por el gran número de colisiones y retransmisiones que se pueden producir)



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de acceso múltiple:**
 - ALOHA puro:



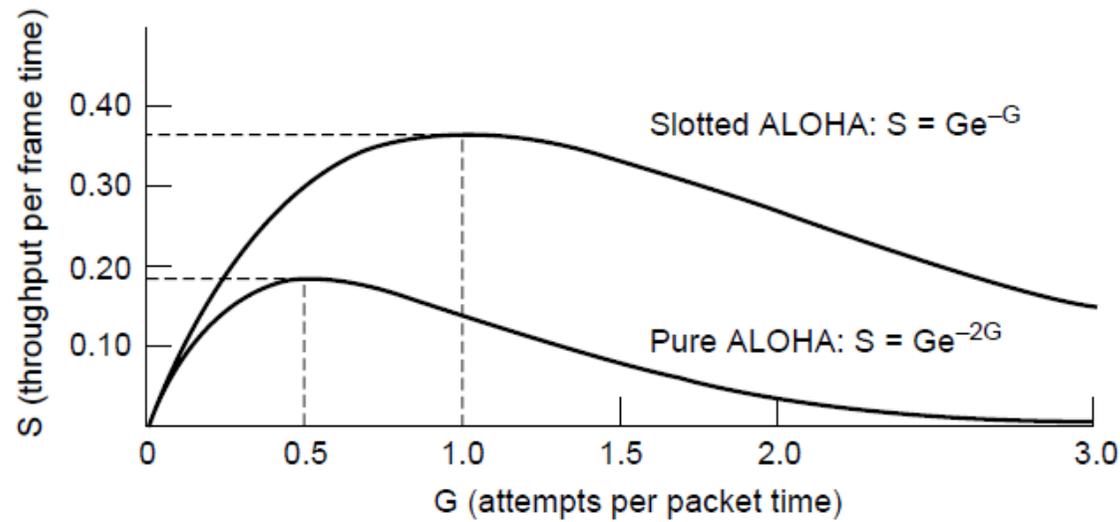
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de acceso múltiple:**
 - ALOHA ranurado:
 - Propone dividir el tiempo en intervalos discretos correspondientes a tramas diferentes (no detecta portadora)
 - Una estación especial actúa de reloj para sincronizar el comienzo del intervalo
 - El hecho de dividir el tiempo en ranuras evita colisiones y con ello retransmisiones
 - El máximo rendimiento es del 37%



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de acceso múltiple:**
 - ALOHA puro vs ranurado:



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de acceso múltiple:**
 - Protocolos de detección de portadora:
 - Acceso Múltiple con Detección de Portadora (CSMA):
 - Primero escucha el canal para saber si otra está transmitiendo en ese momento
 - Si el canal está ocupado espera hasta que se desocupa
 - Si está inactivo transmite la trama
 - Si se produce una colisión la estación espera una cantidad de aleatoria de tiempo y comienza de nuevo
 - Se denomina protocolo persistente-1 porque la estación transmite con una probabilidad 1 cuando el canal está inactivo



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de acceso múltiple:**
 - Protocolos de detección de portadora:
 - Acceso Múltiple con Detección de Portadora (CSMA):
 - Por el retardo de propagación puede que la señal portadora de la primera no llegue a la segunda y empiece a transmitir generando colisiones y empeorando el rendimiento
 - Existen otras variantes como el CSMA no persistente, en la que si el canal está ocupado no se intentan transmitir en el instante en el que queda libre, se espera un tiempo aleatorio y se vuelve a escuchar otra vez.
 - Reduce colisiones pero aumenta el retardo



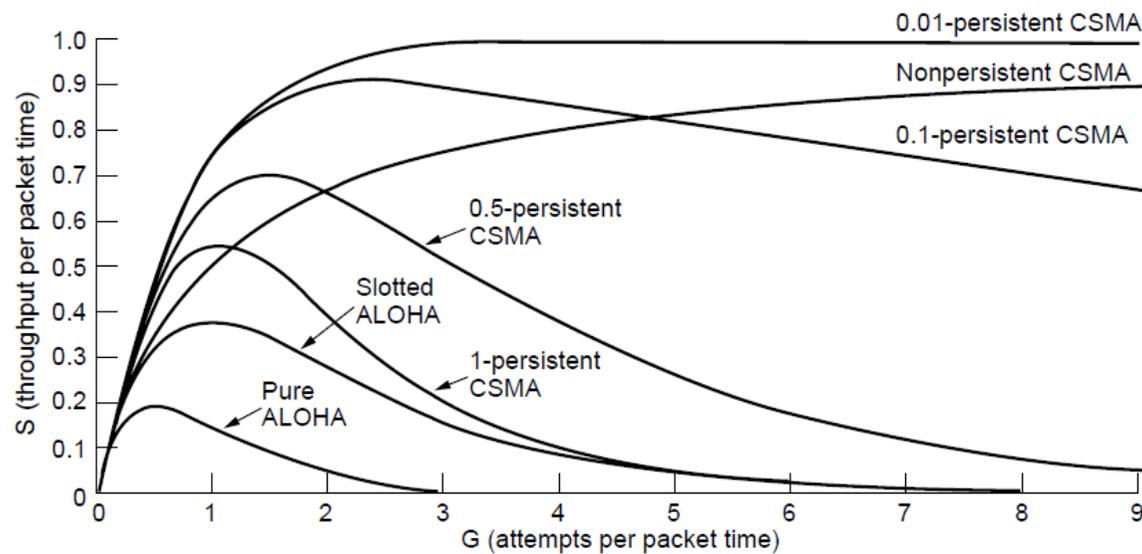
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de acceso múltiple:**
 - Protocolos de detección de portadora:
 - Acceso Múltiple con Detección de Portadora (CSMA):
 - Una solución de compromiso entre retardo y colisiones es el CSMA persistente-p
 - Se fija una probabilidad de transmisión p para el caso de retransmisiones o detección de canal ocupado. Cuanto menor es la probabilidad de transmisión menor es el número de colisiones pero mayor el retardo



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- Protocolos de acceso múltiple:



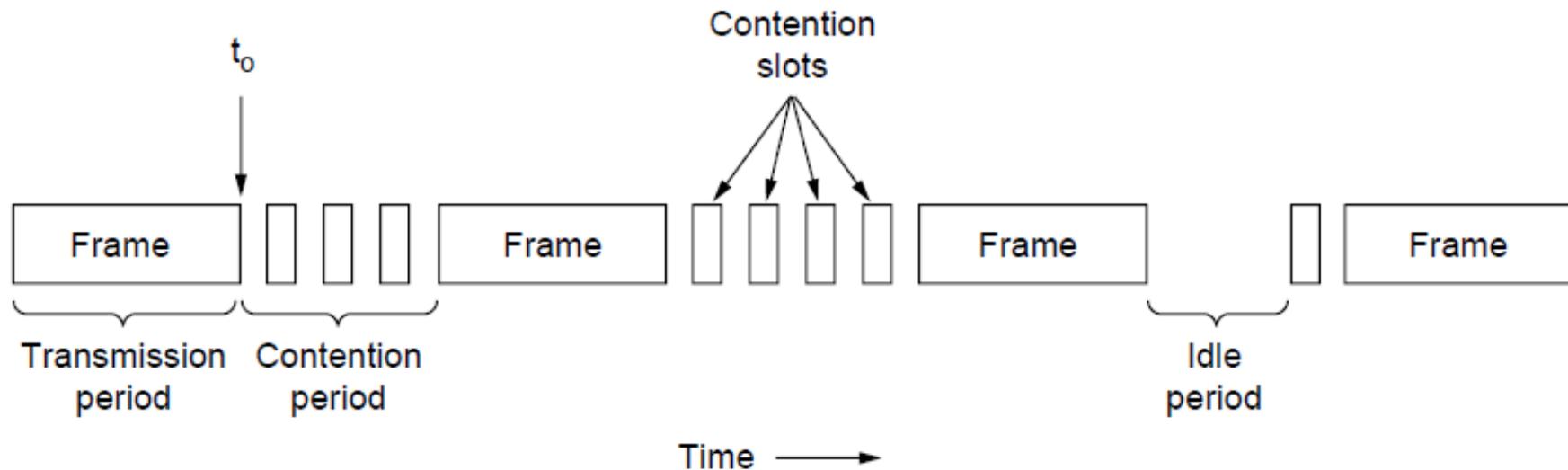
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de acceso múltiple:**
 - CSMA/CD: CSMA con detección de colisiones
 - Utilizado en LAN Ethernet
 - Se define t_0 es el tiempo en el que una estación ha terminado de transmitir una trama
 - Si dos estaciones transmiten de forma simultánea se produce una colisión que se detectará porque la potencia de la señal (amplitud o anchura del pulso será diferente entre la señal transmitida y la recibida)
 - Cuando se detecta una colisión se interrumpe la transmisión y se espera un tiempo aleatorio para volver a transmitir
 - El tiempo mínimo que se requiere para detectar una colisión es 2τ , siendo τ el periodo de propagación del pulso



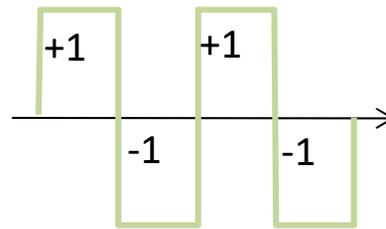
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de acceso múltiple:**
 - CSMA/CD: CSMA con detección de colisiones



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de acceso múltiple:**
 - CSMA/CD: CSMA con detección de colisiones
 - El proceso de detección de colisiones es analógico y dependerá de la codificación de la señal a transmitir
 - Pregunta: ¿Por qué codificar con 0V no es recomendable?



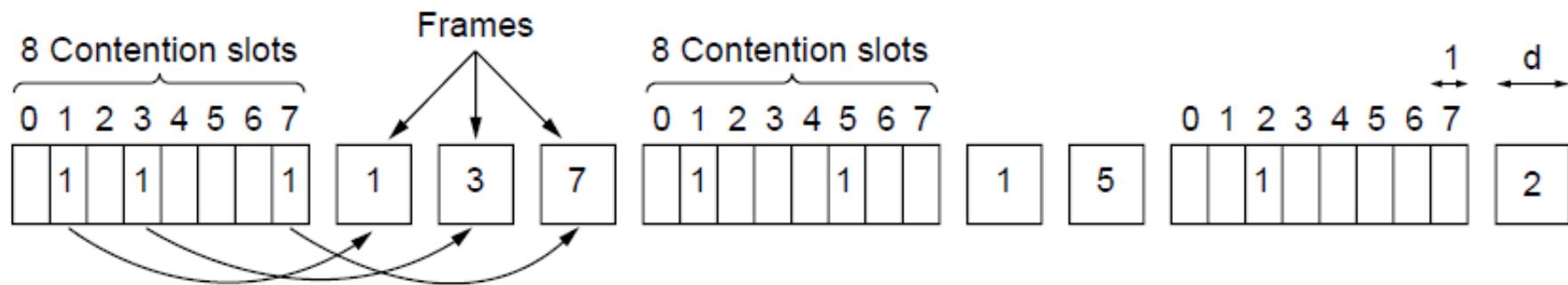
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos libres de colisiones:**
 - Protocolo de mapa de bits: Cada periodo de contención consiste en N ranuras.
 - Si la estación 0 tiene una trama por enviar transmite durante la ranura 0. Si la estación 1 lo desea, puede transmitir durante la ranura 1 y así sucesivamente.
 - Una vez que han pasado las N ranuras cada estación sabe qué estaciones quieren transmitir.
 - Las estaciones empiezan a transmitir en orden numérico
 - Cuando finaliza la lista de transmisiones se inicia de nuevo el proceso



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos libres de colisiones:**
 - Protocolo de mapa de bits



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos libres de colisiones:**
 - Protocolo de conteo descendente binario: La estación que quiera utilizar el canal difunde su dirección como una cadena binaria de bits
 - Asume que todas las estaciones recibirán las direcciones de manera prácticamente instantánea.
 - Normalmente, para aumentar la eficiencia se suele utilizar el primer campo de una trama para no desperdiciar la eficiencia en la transmisión
 - Actualmente no se utiliza



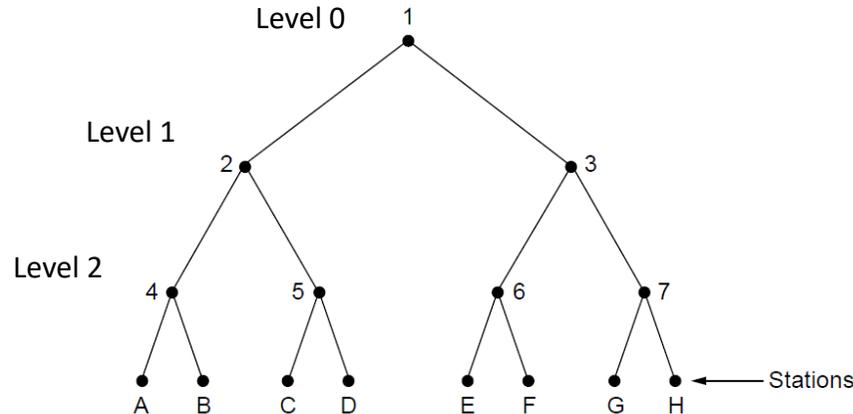
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de contención limitada:**
 - Tratan de proponer una solución de compromiso entre bajo retardo y alta eficiencia del canal
 - Se basan en la idea de que cada estación tiene una probabilidad de adquisición del canal diferente
 - Protocolo de recorrido de árbol adaptable:
 - Se consideran las estaciones como hojas de un árbol binario
 - En la primera ranura de contención se permite que todas las estaciones intenten adquirir el canal
 - Si hay colisión durante la siguiente ranura sólo podrán competir las estaciones que queden bajo el segundo nodo
 - Si hay colisión competirán las estaciones bajo el cuarto nodo



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de contención limitada:**
 - Protocolo de recorrido de árbol adaptable:
 - El recorrido de los diferentes nodos se puede optimizar mediante diferentes tipos de algoritmos en función del número de colisiones y la carga que se detecte



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de acceso múltiple por división de longitud de onda:**
 - WDMA (Acceso Múltiple por División de Longitud de Onda-Fibra óptica): Se divide el espectro en canales para permitir múltiples transmisiones al mismo tiempo.
 - Se asignan dos canales a cada estación:
 - Canal estrecho de control y señalización
 - Canal ancho para transmisión de datos
 - Cada canal se divide en grupos de ranuras de tiempo m ranuras para control y $n+1$ para datos
 - Todos los canales tienen un único reloj global



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de acceso múltiple por división de longitud de onda:**
 - **WDMA (Acceso Múltiple por División de Longitud de Onda):** Se divide el espectro en canales para permitir múltiples transmisiones al mismo tiempo.
 - Soporta los siguientes tipos de tráfico:
 - Tráfico orientado a la conexión con tasa de datos constante
 - Tráfico orientado a la conexión con tasa de datos variable
 - Tráfico de datagramas
 - Cada estación dispone de dos receptores y dos emisores:
 - Un receptor y un emisor de longitud de onda fija para escuchar el control
 - Un receptor y un emisor sintonizable para seleccionar canal a escuchar
 - Se utiliza ampliamente, existen otras variantes como el DWDM-denso



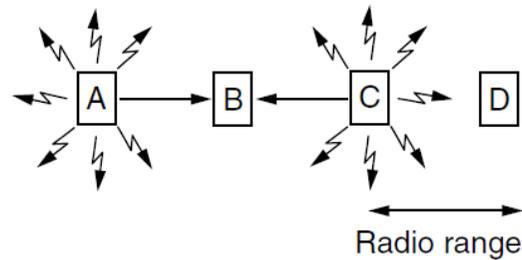
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de LANs inalámbricas:**
 - Problema de estación oculta: una estación no puede detectar a un competidor potencial por el medio ya que el competidor está demasiado lejos
 - Problema de estación expuesta: una transmisión causa una mala recepción en otro nodo
 - Antes de iniciar una transmisión la estación necesita saber si hay actividad o no alrededor del receptor. En un sistema radiado pueden ocurrir transmisiones simultáneas para destinos diferentes estando fuera del alcance entre sí

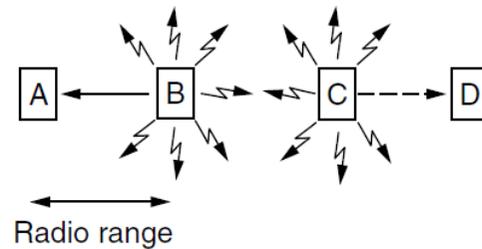


Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de LANs inalámbricas:**
 - Problema de estación oculta



- Problema de estación expuesta



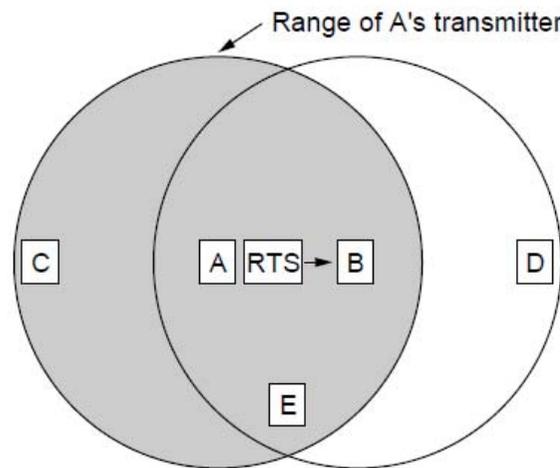
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de LANs inalámbricas:**
 - MACA (Acceso Múltiple con Prevención de Colisiones):
 - El emisor estimula al receptor a enviar una trama corta
 - Si las estaciones cercanas la detectan, evitan transmitir
 - *A* comienza por enviar una trama RTS (solicitud de envío) a *B*
 - *B* contesta con una trama CTS (libre para envío)
 - Una vez que *A* recibe la trama CTS comienza a transmitir
 - Cualquier estación que escuche o bien la trama RTS o bien la trama CTS permanecerá en silencio durante el tiempo suficiente para que se permita la transmisión de la trama sin conflicto (las tramas CTS y RTS contienen la longitud de las tramas a transmitir)
 - Existen versiones mejoradas que permiten que se intercambie información sobre congestión entre estaciones (MACAW)

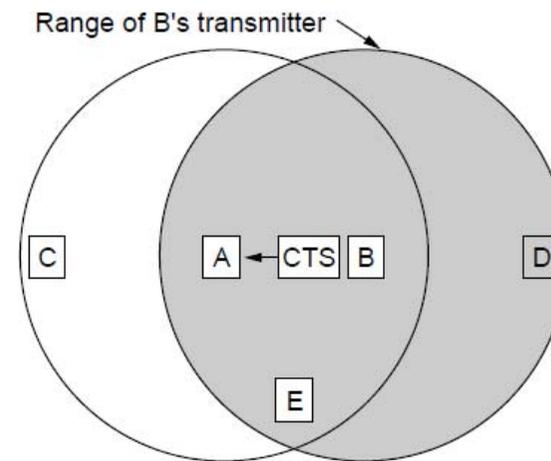


Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Protocolos de LANs inalámbricas:**
 - MACA (Acceso Múltiple con Prevención de Colisiones)



A sends RTS to B; C and E hear and defer for CTS



B replies with CTS; D and E hear and defer for data



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Ethernet:**
 - IEEE 802: LAN y MAN
 - IEEE 802.3: Ethernet
 - IEEE 802.11: LAN Inalámbrica
 - IEEE 802.15: Bluetooth
 - IEEE 802.16: MAN Inalámbrica
 - IEEE 802.3 e IEEE 802.11 tienen la misma subcapa de control IEEE 802.2, lo cual permite que se comparta una interfaz con la capa de red



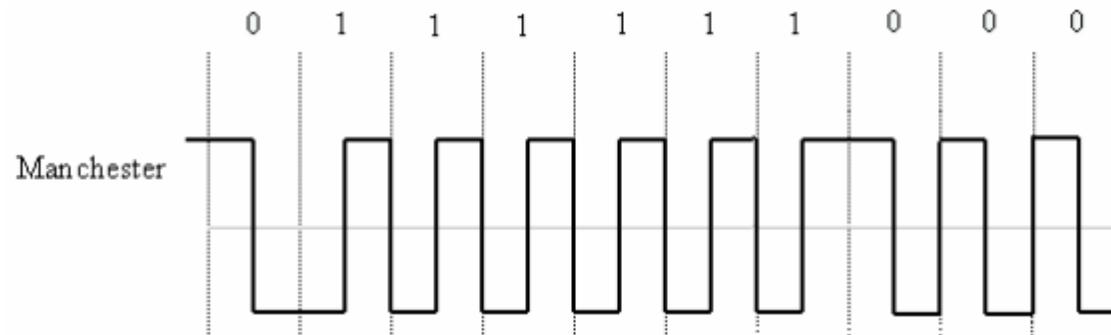
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Ethernet:**
 - Medios de transmisión más comunes:
 - A BASE-T, donde A es un número que indica la velocidad en banda base, la T indica que utiliza par trenzado
 - A BASE-F, la F indica que utiliza fibra óptica. Utiliza repetidores cada unos 2,5km
 - Codificación:
 - Manchester: el periodo se divide en dos intervalos iguales.
 - '1' lógico: voltaje alto durante el primer intervalo y bajo en el segundo
 - '0' lógico: voltaje bajo durante el primer intervalo y alto en el segundo
 - Facilita el sincronismo, pero requiere el doble de ancho de banda



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- Ethernet:
 - Codificación:
 - Manchester



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Ethernet:**
 - Codificación:
 - Manchester diferencial: el periodo se divide en dos intervalos iguales, con transición a mitad del intervalo.
 - '1' lógico: ausencia de transición al inicio del intervalo
 - '0' lógico: presencia de transición al inicio del intervalo
 - Todos los sistemas Ethernet utilizan codificación Manchester con señal +0,85V y -0,85V



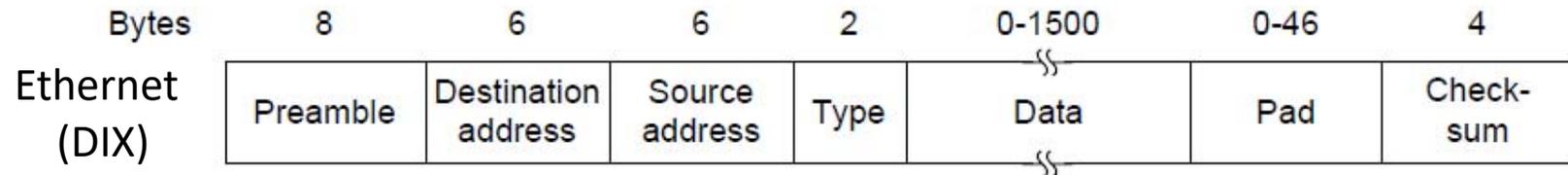
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Ethernet:**
 - Subcapa MAC:
 - Preámbulo de 8 bytes con el patrón ('10101010') para sincronización
 - Direcciones de destino y de origen de 2 y 6 bytes
 - Direcciones multidifusión: se envía a un grupo seleccionado de estaciones Ethernet
 - Direcciones difusión: se envía a todas las estaciones de Ethernet
 - Tipo: especifica qué proceso utilizará la trama
 - Datos: hasta 1500 bytes.
 - Relleno: hasta 46 bytes, se utiliza porque con menos de 64 bytes las tramas son tramas basura. Establecer una longitud de trama fija ayuda a reducir el número de colisiones



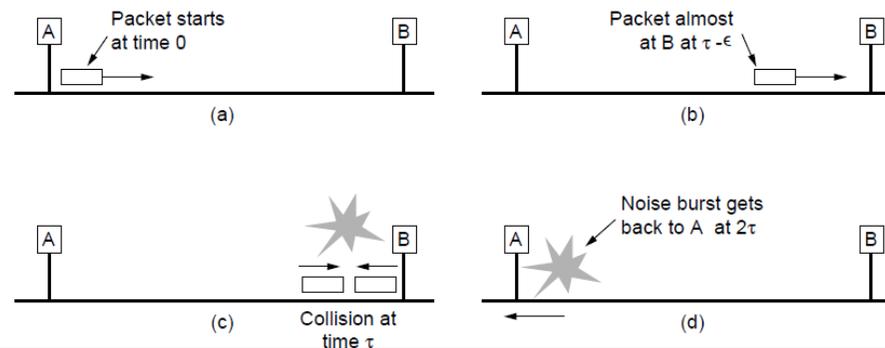
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Ethernet:**
 - Subcapa MAC



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- Ethernet:
 - Subcapa MAC:
 - Suma de verificación: se utiliza una verificación de redundancia cíclica que sólo detecta errores, no corrige
 - CSMA/CD no proporciona confirmación de recepción, ya que las colisiones no son la única fuente de error (puede existir otro tipo de ruido en el canal)



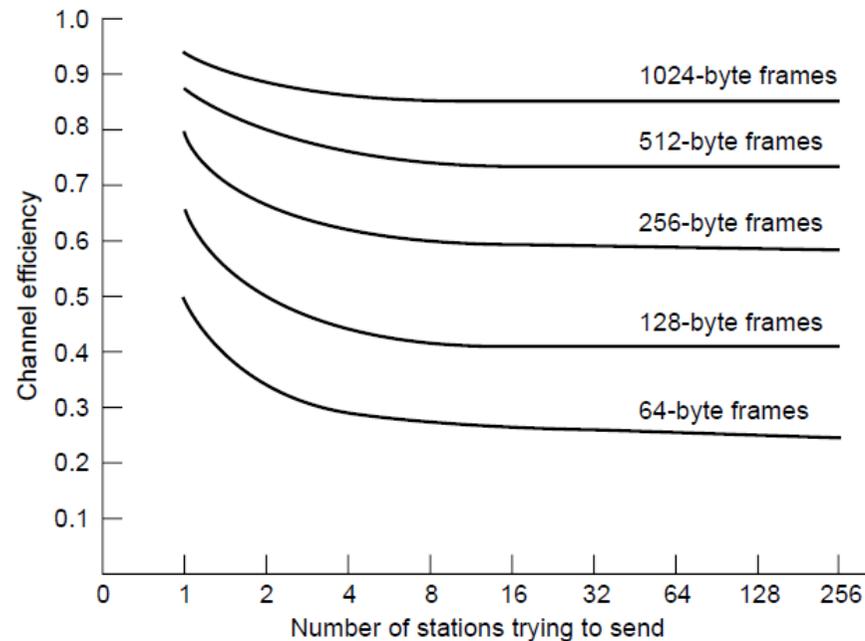
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Ethernet:**
 - Algoritmo de retroceso exponencial binario:
 - Tras una colisión cada estación espera 0 o 1 tiempos de ranura
 - Si se produce otra colisión se escoge aleatoriamente entre 0,1,2 o 3 tiempos de ranura
 - Si las colisiones persisten se escoge una ranura al azar entre 0 y 7
 - Así sucesivamente en una progresión entre 0 y 2^i-1 (retroceso exponencial binario)
 - Eficiencia:
 - Aumenta con la longitud de las tramas (ya que hay mayor proporción de datos por cabeceras y colas), pero se reduce con el número de estaciones a transmitir (ya que aumenta la probabilidad de colisiones)



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- Ethernet:



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Ethernet:**
 - Ethernet conmutada: Se basa en los switch que contienen una matriz de alta velocidad y tarjetas con diversos conectores.
 - Cuando se envía una trama la tarjeta revisa si se destina a otras estaciones conectadas a la misma tarjeta.
 - Si es así la trama se copia
 - Si no es así la trama se envía mediante la matriz a la tarjeta de la estación de destino
 - Las colisiones entre tarjetas se gestionan mediante CSMA/CD
 - Las retransmisiones utilizan el algoritmo de retroceso exponencial binario
 - Algunas tarjetas integran búfers en la entrada de cada puerto, por lo que pueden almacenar en RAM las tramas recibidas



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Ethernet:**
 - Gigabit Ethernet (802.3z):
 - Dos modos de funcionamiento:
 - Dúplex total: dispone de un conmutador central conectado y un búfer en el que se almacenan todas las tramas. El emisor no detecta si alguien utiliza el canal. No utiliza, por tanto, CSMA/CD
 - Semidúplex: Se conecta a un concentrador (no un conmutador). El concentrador no dispone de búfer. Es necesario un protocolo de detección de colisiones CSMA/CD
 - Medios de transmisión:
 - 1000Base-SX (fibra multimodo), 1000Base-LX (fibra óptica), 1000Base-CX (STP), 1000Base-T (UTP)



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Ethernet:**
 - Gigabit Ethernet (802.3z):
 - Codificación:
 - Manchester requiere mucho ancho de banda, se sustituye por 8B/10B

Name	Cable	Max. segment	Advantages
1000Base-SX	Fiber optics	550 m	Multimode fiber (50, 62.5 microns)
1000Base-LX	Fiber optics	5000 m	Single (10 μ) or multimode (50, 62.5 μ)
1000Base-CX	2 Pairs of STP	25 m	Shielded twisted pair
1000Base-T	4 Pairs of UTP	100 m	Standard category 5 UTP

Name	Cable	Max. segment	Advantages
10GBase-SR	Fiber optics	Up to 300 m	Multimode fiber (0.85 μ)
10GBase-LR	Fiber optics	10 km	Single-mode fiber (1.3 μ)
10GBase-ER	Fiber optics	40 km	Single-mode fiber (1.5 μ)
10GBase-CX4	4 Pairs of twinax	15 m	Twinaxial copper
10GBase-T	4 Pairs of UTP	100 m	Category 6a UTP



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Control lógico de enlace (LLC):**
 - Funcionamiento
 - La capa de red pasa un paquete al LLC
 - La subcapa LLC agrega un encabezado que contiene los número de secuencia y confirmación de recepción
 - El encabezado también contiene el punto de acceso destino y el punto de acceso origen
 - El paquete y el encabezado LLC constituyen los datos de la trama que genera la subcapa MAC
 - Opciones de servicio:
 - No confiable de datagramas
 - Datagramas sin confirmación de recepción
 - Servicio confiable orientado a la conexión



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- LANs Inalámbricas (802.11):
 - Capa física
 - Infrarrojos: Transmisión difusa, no requiere visión directa. No puede atravesar paredes. $BW < 2\text{Mbps}$
 - FHSS: Radio de corto alcance. Se basa en saltos de frecuencia en función de los resultados de un generador pseudoaleatorio. Utilizado para conexiones entre edificios. $BW < 1\text{MHz}$
 - DSSS: Radio de corto alcance. Utiliza modulaciones por desplazamiento de fase. $BW < 2\text{Mbps}$
 - OFDM: Divide las señales en bandas más estrechas para mayor inmunidad a la interferencia. Utiliza modulaciones de fase. $BW > 50\text{Mbps}$
 - MIMO: Múltiples antenas para entradas y salidas en 802.11n. $BW > 100\text{Mbps}$



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **LANs Inalámbricas (802.11):**
 - Subcapa MAC
 - Debido a los problemas de estación oculta y estación expuesta no puede utilizar CSMA/CD
 - Presenta dos modos de funcionamiento alternativos: DCF (Función de coordinación distribuida) y PCF (Función de coordinación puntual)
 - DCF: no utiliza ningún tipo de control central
 - CSMA/CA (CSMA con evitación de colisiones): cuando desea transmitir detecta el canal o se recurre al protocolo MACAW
 - PCF: utiliza una estación base para controlar la actividad de su celda
 - Cada nodo debe asociarse a un punto de acceso (estación base) antes de enviar o recibir información a la red
 - Cada punto de acceso tiene un número de canal asignado de 85MHz de BW



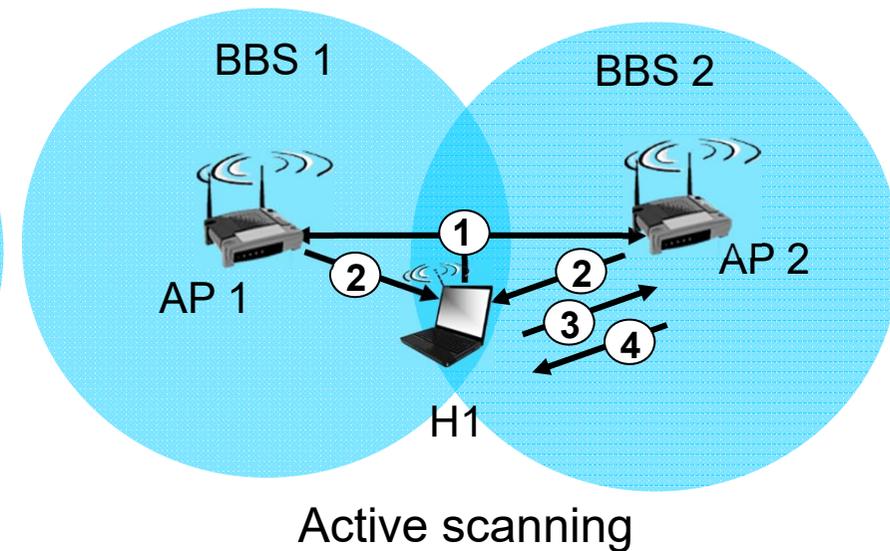
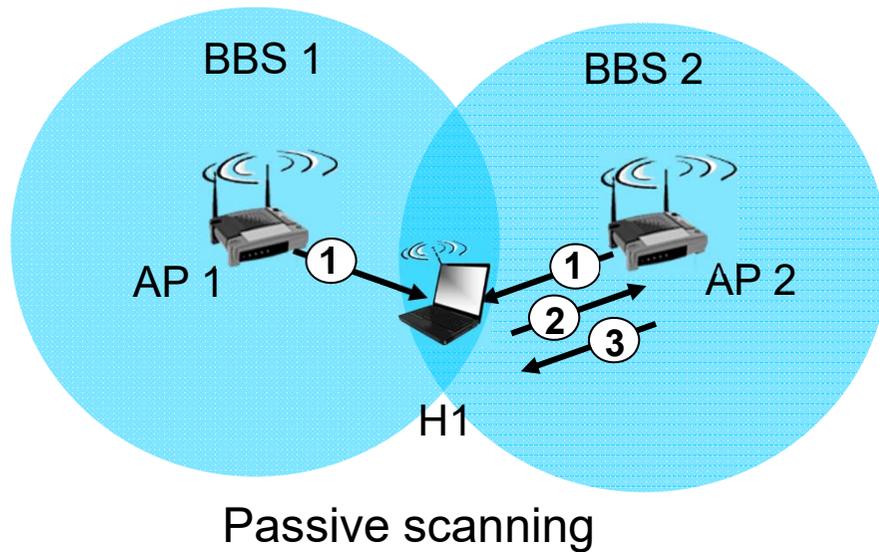
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **LANs Inalámbricas (802.11):**
 - Subcapa MAC
 - La fragmentación incrementa la velocidad real de transporte ya que evita la retransmisión de fragmentos erróneos
 - Trama de beacon (trama guía): realiza difusión de manera periódica. La trama contiene parámetros de sistema como secuencias de salto, tiempos de permanencia, sincronización, etc.
 - Las estaciones deben suscribirse al servicio de sondeo para recibir la trama y poder asegurar un mínimo de calidad de servicio.
 - Con el fin de aumentar las baterías de los portátiles se pueden almacenar las estaciones base que se encuentran en hibernación para no enviarles tramas hasta que despierten
 - Los protocolos PCF y DCF coexisten dentro de una misma red definiendo diferentes intervalos de tiempo entre tramas



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- LANs Inalámbricas (802.11):
 - Subcapa MAC



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- LANs Inalámbricas (802.11):
 - Subcapa MAC
 - SIFS (Espaciado corto entre tramas): se define como el intervalo más corto de tiempo que permite a las distintas partes un diálogo
 - Después de un intervalo SIFS sólo una estación debe responder
 - PIFS (Espaciado entre tramas PCF): si una trama falla la estación base puede enviar una trama de beacon después de este tiempo.
 - DIFS (Espaciado entre tramas DCF): si la estación base no transmite nada después de este periodo cualquier otra estación intentará adquirir el canal
 - EIFS (Espaciado entre tramas extendido): si una estación ha recibido una trama errónea o desconocida utiliza transmite después de este periodo para informar de los problemas.



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **LANs Inalámbricas (802.11):**
 - Subcapa MAC
 - Encabezado de la trama:
 - Versión del protocolo: varias versiones pueden convivir
 - Tipo: datos, control o administración
 - Subtipo: por ejemplo RTS o CTS
 - A DS / De DS: indica si la trama va o viene del sistema de distribución
 - MF: Indica si existen varios fragmentos
 - Retransmisión: indica si es la primera vez que se envía la trama o si se envió anteriormente
 - Energía: para indicar si el receptor está o no en hibernación
 - W: indica si el cuerpo de la trama está codificado con el algoritmo WEP (privacidad inalámbrica equivalente)



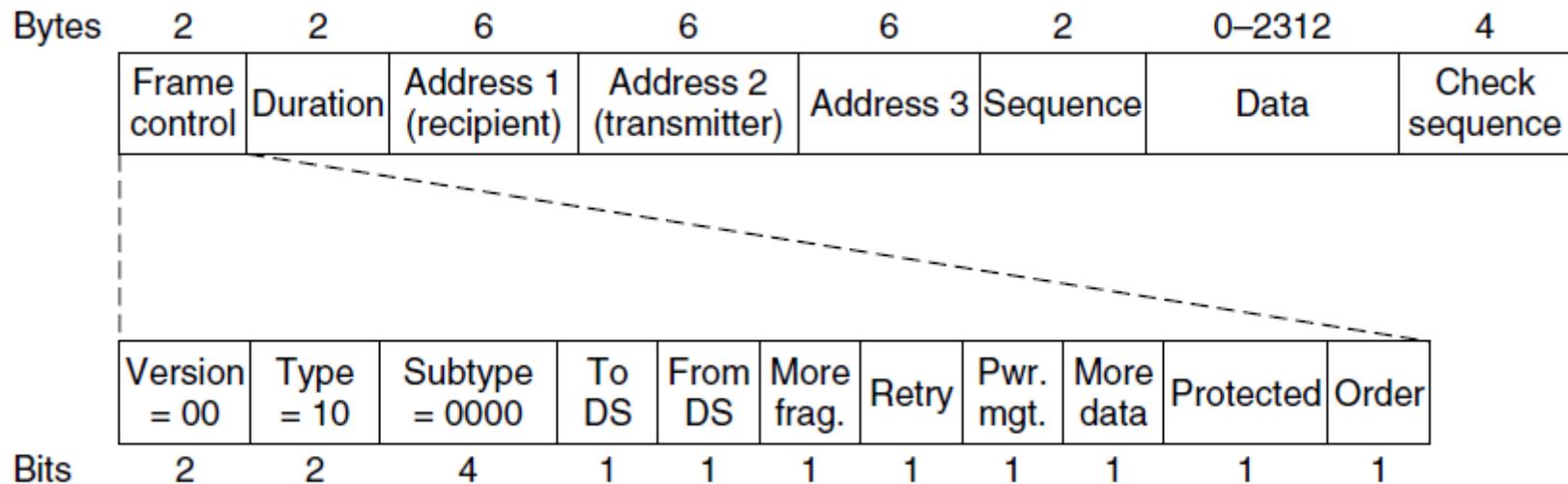
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- LANs Inalámbricas (802.11):
 - Subcapa MAC
 - Encabezado de la trama:
 - O: indica si las tramas deben procesarse en un orden estricto o no
 - Duración: indica cuanto tiempo ocupará el canal
 - Direcciones: se utilizan cuatro campos ya que se puede abandonar una celda y pasar a otra, lo cual requerirá otro par de direcciones
 - Secuencia: permite que se enumeren los fragmentos de las tramas
 - Datos
 - Suma de verificación



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- LANs Inalámbricas (802.11):
 - Subcapa MAC



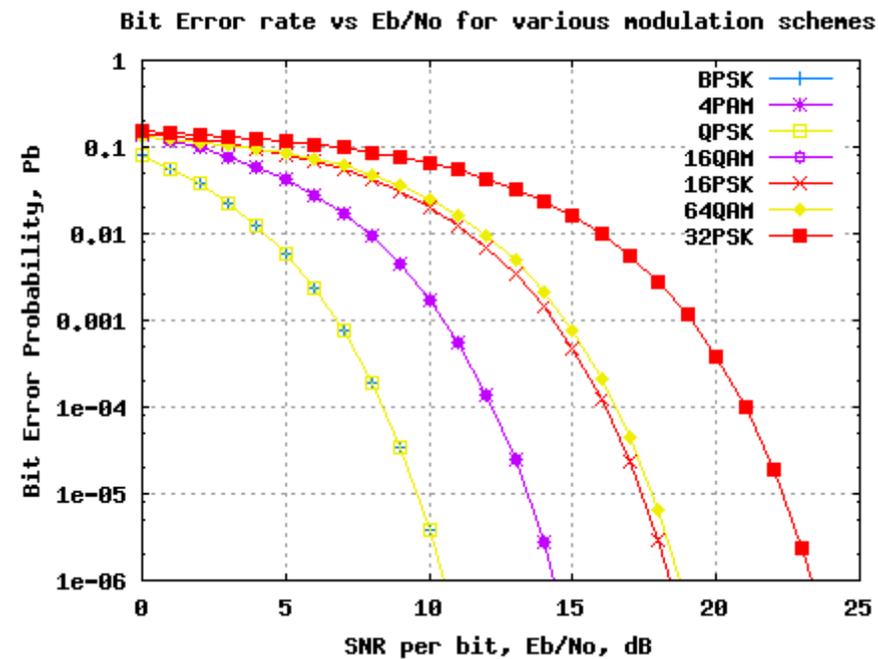
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- LANs Inalámbricas (802.11):
 - Subcapa MAC
 - Tasa adaptativa: cambio de modulación para adaptar el BER de las transmisiones de manera automática
 - Gestión de consumo: minimiza la frecuencia de refresco de los sensores y de la transmisión y recepción de tramas, mediante gestión de búfer y modo bajo consumo



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- LANs Inalámbricas (802.11):
 - Subcapa MAC
 - Tasa adaptativa



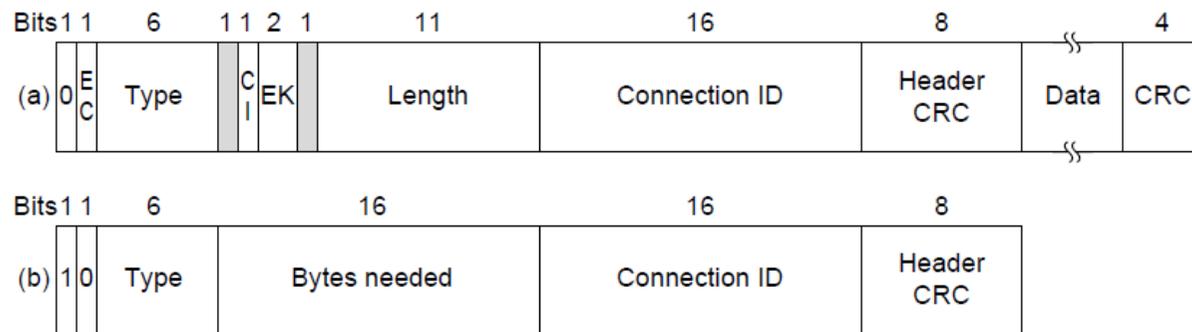
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **MANs Inalámbricas (802.16):**
 - Comunicación inalámbrica entre edificios (inmuebles)
 - Utiliza dúplex total (FDD, duplexación por división de frecuencia y TDD, duplexación por división en tiempo)
 - Distancias de varios kilómetros
 - Diferentes relaciones SNR requieren diferentes niveles de modulación (64-QAM, 16-QAM, QPSK, etc.)
 - Tendrá más usuarios que una celda del estándar 802.11
 - Requiere un capa física totalmente nueva y diferente al 802.11
 - Tiene más subcapas que otros estándares 802, ya que trata de parecerse más a OSI
 - Utiliza códigos de corrección de errores Hamming para que el canal parezca más robusto



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **MANs Inalámbricas (802.16):**
 - Los servicios que proporciona son siempre orientados a la conexión:
 - Servicio de tasa de bits constante
 - Servicio de tasa de bits variable en tiempo real
 - Servicio de tasa de bits variable no en tiempo real
 - Servicio de mejor esfuerzo



(a) A generic frame. (b) A bandwidth request frame



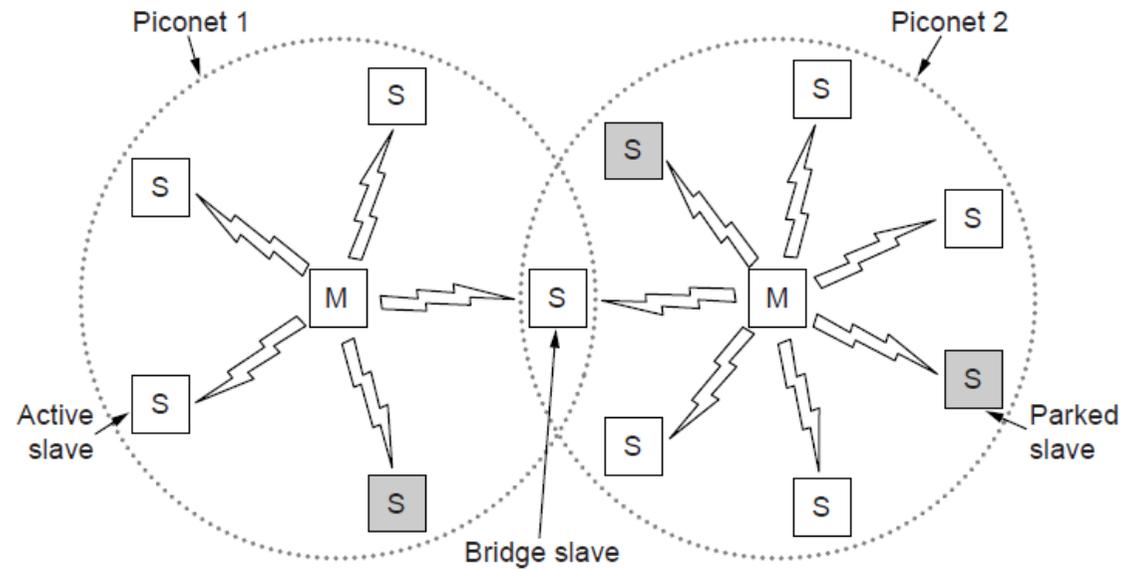
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Bluetooth:**
 - IEEE estandariza únicamente la capa física y de enlace de datos
 - La unidad básica de un sistema Bluetooth es una piconet
 - Un nodo maestro
 - Siete nodos esclavos activos
 - Hasta 255 nodos en modo bajo consumo
 - Scatternet: Es un conjunto de redes interconectadas
 - El estándar únicamente soporta las siguientes 13 aplicaciones denominadas perfiles:
 - Acceso genérico (aplicación sobre la que se construyen el resto de aplicaciones), descubrimiento de servicios, puerto serie, intercambio genérico de objetos, acceso LAN, acceso telefónico a redes, fax, telefonía inalámbrica, intercom (walkie-talkie digital), headset, envío de objetos, transferencia de archivos, sincronización de equipos



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- Bluetooth:



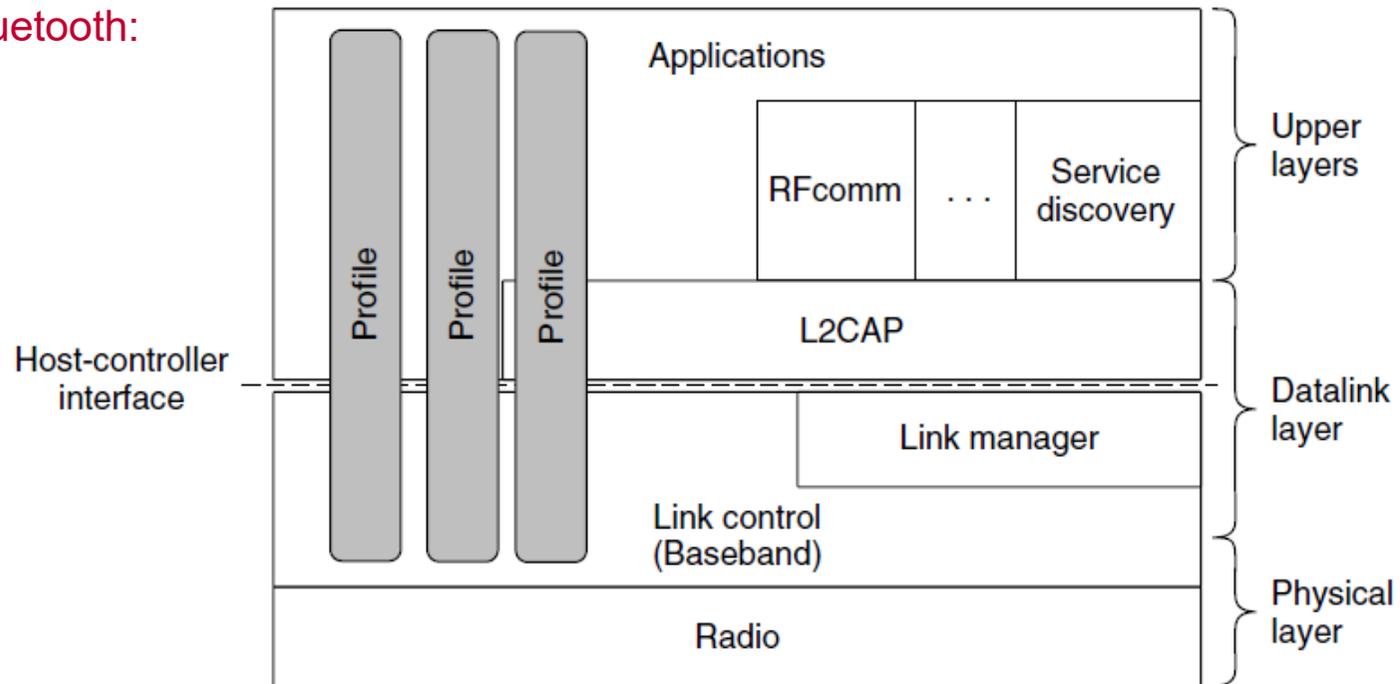
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Bluetooth:**
 - No sigue la distribución por capas de OSI
 - Capa de radio: gestiona la transmisión de bits del maestro al esclavo o viceversa
 - Se recurre a modulación por desplazamiento en frecuencia
 - El maestro establece la secuencia de salto a las distintas frecuencias
 - El ancho de banda es aproximadamente 1Mbps, pero la mayor parte es sobrecarga, no datos
 - Capa de banda base: similar a la MAC, define tramas y formatos
 - Existen unas ranuras de tiempo (pares para el maestro, impares para el esclavo)
 - Es un sistema sin garantías. Pueden perderse tramas y retransmitirse
 - Estructura de la trama de Bluetooth:
 - Dirección, Tipo, F (flujo), A (ACK), S (secuencia), Suma de verificación
 - Datos



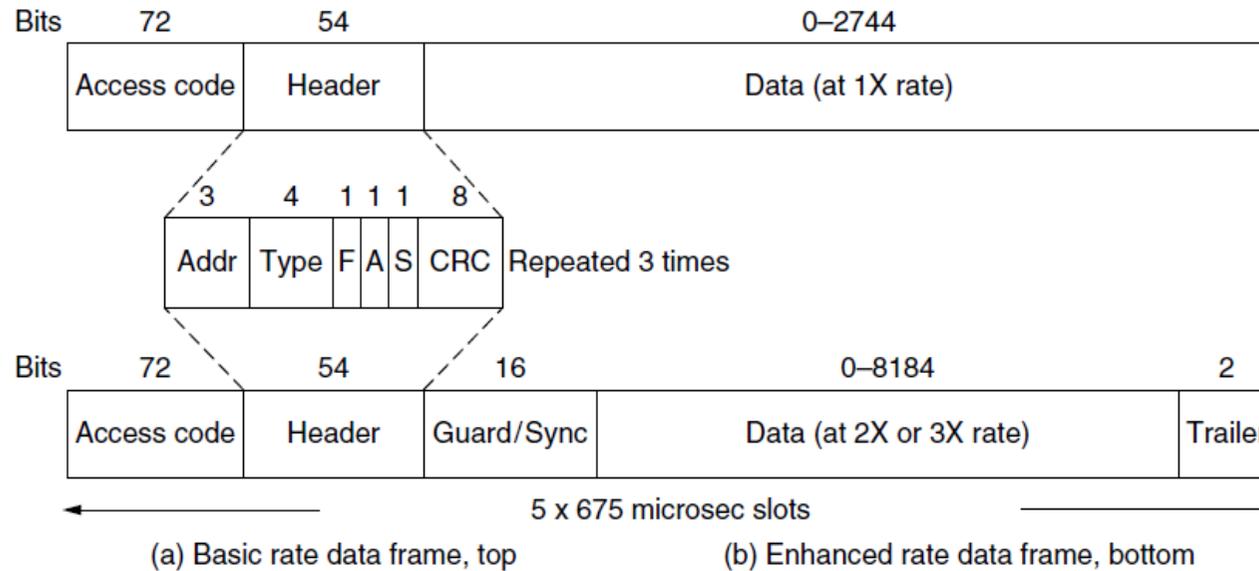
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- Bluetooth:



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- Bluetooth:



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Zigbee:**
 - Existen dos tipos de nodos, principalmente:
 - Nodos de funcionalidad reducida: esclavos
 - Nodos de funcionalidad completa: maestros, controlan y dirigen el tráfico de la red
 - Muchos de los mecanismos de 802.11 se implementan en Zigbee
 - Uso de tramas beacon
 - División por ranuras de tiempo
 - CSMA/CA
 - Orientado al bajo consumo y baja tasa de transmisión
 - Las tasas van de los 20kbps a los 250kbps
 - Utilizado para redes de sensores y seguridad



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **4G :**
 - Existen dos tecnologías principales Long Term Evolution y Wimax
 - Mejora los sistemas 3G en una serie de características:
 - LTE combina multiplexación en tiempo y frecuencia, OFDM
 - Modifica dinámicamente las modulaciones utilizadas para mejorar la calidad de la señal, reduciendo y aumentando con ello la tasa de transmisión
 - La tasa de transmisión máxima en bajada son 100Mbps y en subida 50Mbps
 - En la capa de red transmite de manera conjunta los paquetes de voz y de datos para mejorar el aprovechamiento de los recursos de red y aumentar la calidad de servicio



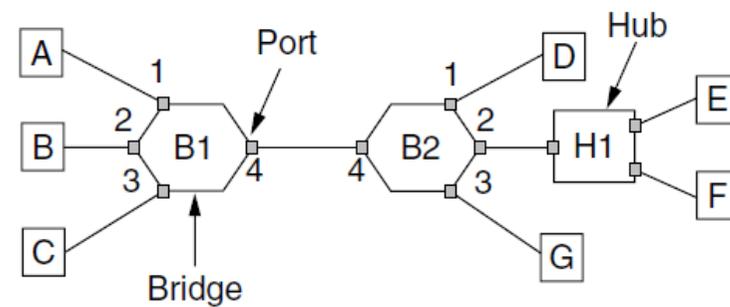
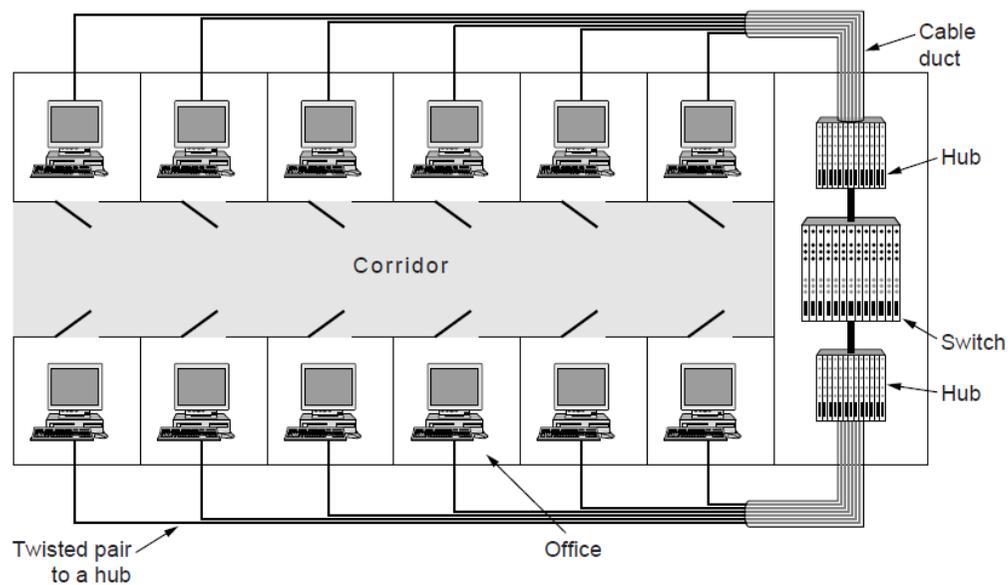
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Conmutación en la capa de enlace de datos:**
 - Puente (bridge/switch): interconexión que funciona como una capa de enlace de datos entre diversos dispositivos pertenecientes a varias LANs
 - Para aumentar la eficiencia examinan las direcciones de la capa de enlace de datos para rutar la carga útil.
 - A diferencia de los enrutadores no necesitan examinar las direcciones de los paquetes
 - Motivos para disponer de varias LANs en la misma organización
 - LANs diferentes para departamentos diferentes, con necesidades diferentes
 - LANs diferentes para sedes geográficamente separadas
 - LANs diferentes para balanceo de carga y servicios
 - LANs diferentes para tiempos de propagación demasiado elevados
 - LANs diferentes para aumentar la fiabilidad del sistema y su seguridad



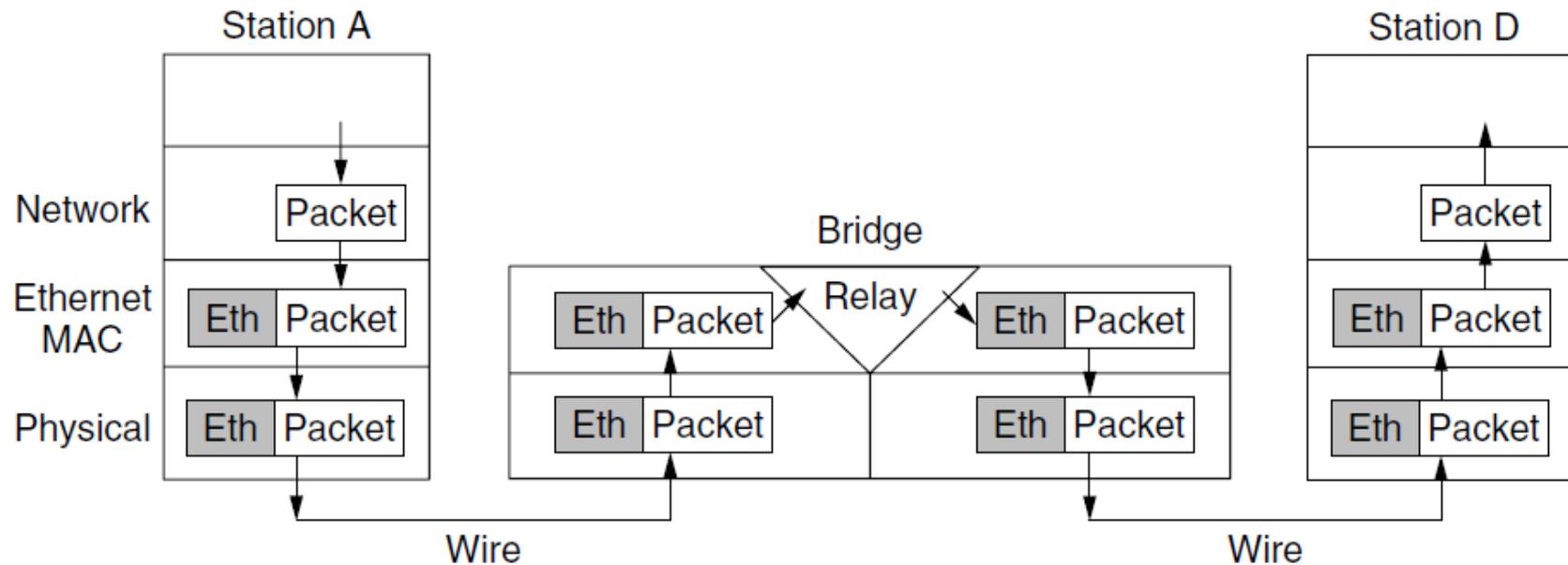
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Conmutación en la capa de enlace de datos:**
 - Puente (bridge/switch)



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- Conmutación en la capa de enlace de datos:
 - Puente (bridge/switch)



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Conmutación en la capa de enlace de datos:**
 - Puentes de 802.x a 802.y
 - Problemas:
 - Cada LAN utiliza un formato de trama distinto, por lo que requiere reformatear las tramas
 - Cada LAN puede trabajar con una tasa de transmisión diferente de datos, lo que requerirá un búfer y su gestión
 - Cada LAN tiene una longitud de datos diferente y no se permite reensamblado
 - Existen protocolos con seguridad (802.11 y 802.16), mientras que otros no. Al realizar el cambio de protocolo se pierde la encriptación, lo cual hace que los datos queden expuestos
 - Existen protocolos que tienen en cuenta la calidad de servicio y otros no



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Conmutación en la capa de enlace de datos:**
 - Puentes de 802.x a 802.y
 - Interconectividad local
 - Puentes transparentes (modo promiscuo): acepta todas las tramas transmitidas sobre las LANs
 - Se descartan todas las tramas que ya se encuentran en la LAN correcta
 - Las que no se encuentren en la LAN correcta se reenvían directamente
 - Las direcciones destino se buscan en una tabla hash que se encuentra en el interior
 - No se preocupa de diversos reenvíos



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Conmutación en la capa de enlace de datos:**
 - Puentes de 802.x a 802.y
 - Interconectividad local
 - Para poblar la tabla hash se utilizan algoritmos de inundación
 - Si la topología cambia, por encendido y a apagado de equipos, las tablas hash son dinámicas, por este motivo son necesarias las marcas temporales
 - Un proceso se activa periódicamente limpiando las entradas que tengan marcas temporales demasiado viejas
 - Se recurre a ASICs especiales que únicamente realizan este procesado, con el fin de no introducir demasiados retardos



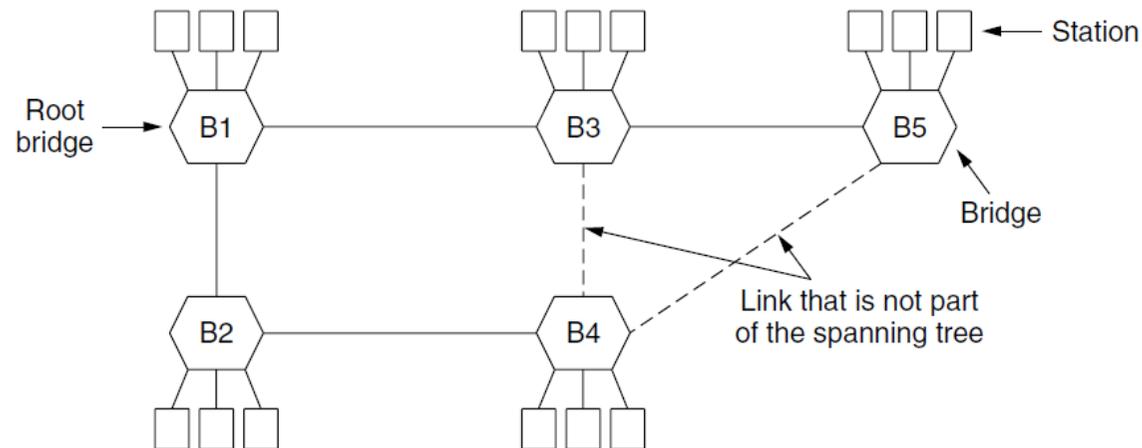
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Conmutación en la capa de enlace de datos:**
 - Puentes de 802.x a 802.y
 - Puentes con árbol de expansión
 - Para aumentar la fiabilidad en algunas redes se utilizan dos puentes en paralelo
 - Para no saturar el sistema con tramas copiadas es necesario que los puentes se comuniquen entre ellos o evitar que se generen ciclos entre los nodos
 - Los puentes escogen un puente como raíz (los que tienen un número de serie menor se convierten siempre en raíz)
 - Si falla un puente se busca el siguiente con el mínimo número de serie
 - El resultado establece un árbol único que se actualiza automáticamente



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Conmutación en la capa de enlace de datos:**
 - Puentes de 802.x a 802.y
 - Puentes con árbol de expansión



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Conmutación en la capa de enlace de datos:**
 - LANs virtuales
 - Es importante realizar una distribución de usuarios lógica y no geográfica dentro de las LANs
 - Seguridad: no permitir que el tráfico salga de los usuarios implicados
 - Carga: no saturar el servicio de unos usuarios con las comunicaciones de otros
 - Difusión: evitar la recepción de paquetes broadcast que no se dirigen a un usuario concreto
 - Para dotar de mayor flexibilidad a los usuarios con independencia de la situación geográfica surgen las LANs Virtuales (VLAN)



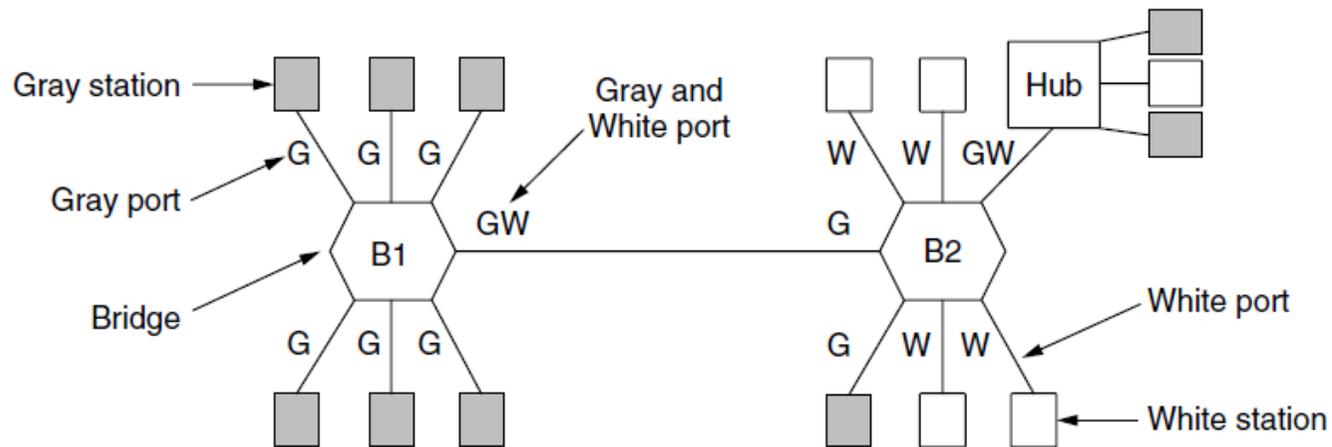
Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Conmutación en la capa de enlace de datos:**
 - LANs virtuales
 - Se define el número de VLANs
 - El número de equipos de cada VLAN
 - Para que los conmutadores y los puentes funcionen correctamente:
 - A cada puerto se le asigna un color de la VLAN
 - Restricción: todos los equipos del mismo puerto deben pertenecer a la misma VLAN
 - A cada dirección MAC se le asigna
 - Contiene una tabla con las direcciones MAC y la VLAN a la que pertenecen (sólo necesita extraer la MAC de la trama)
 - A cada protocolo de la capa 3 o a cada dirección IP se le asigna un color de VLAN
 - Restricción: incumple el enfoque de independencia de capas



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- Conmutación en la capa de enlace de datos:
 - LANs virtuales



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- **Conmutación en la capa de enlace de datos:**
 - IEEE 8021.Q
 - Los puentes modifican las tramas para incluir un identificador de VLAN, si las tramas generadas por los diferentes terminales no las incluyen por defecto
 - Además del identificador de VLAN se incluye también el campo de:
 - Prioridad de la trama (formado por tres bits que indican si se trata de tráfico en tiempo real o no)
 - CFI (Indicador del Formato Canónico-indicaba si se utiliza el formato Little Endian o Big Endian)



Introducción a las redes de ordenadores: Subcapa de control de acceso al medio

- Conmutación en la capa de enlace de datos:
 - IEEE 802.1Q

