

Programa de Master: Automática, Robótica y Telemática

Redes de Comunicación en Entornos Industriales

- ◆ Ethernet en tiempo real

Objetivos

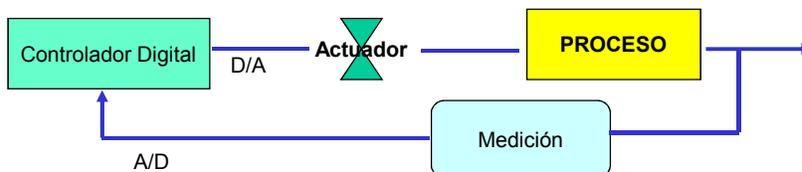
- Capacidades que debe adquirir el alumno
 - ◆ Requisitos de las comunicaciones Industriales
 - ◆ Conocer las limitaciones de Ethernet para su uso en redes industriales
 - » Ethernet original
 - » Mejoras de Ethernet hacia tiempo real
 - » Alternativa Wireless
 - ◆ Aplicación de las soluciones existentes
 - » EtherCat
 - » EthernetIP
 - » SERCOS
 - » EthernetPowerLink
 - » Otras

Índice

- **Las redes de comunicación en entornos industriales**
 - ◆ Modelo para las telecomunicaciones
- Características de las redes industriales
 - ◆ Requisitos de las comunicaciones en redes industriale
- Ethernet
 - ◆ Ethernet clásica
 - » Limitaciones en redes industriales
 - ◆ Ethernet Conmutada
- Soluciones para ethernet industrial
- Tendencias futuras: WLAN

Redes de Telecomunicación en Entornos Industriales

- Redes de Telecomunicación:
 - ◆ Constituyen la infraestructura básica de transporte para el intercambio de información entre dos puntos
- Componente básico de los sistemas de automatización industrial: **EL LAZO DE CONTROL**
 - ◆ Necesidad de intercambio de información
 - » Necesidad de Redes de Telecomunicación



Ejemplo (I): control de tanque

- Elementos:
 - ◆ Equipos
 - » Sensores
 - » Actuadores
 - ◆ Interfaz Hombre-Máquina (HMI)
 - ◆ Supervisión (PC)
- Tipos de Control
 - ◆ Continuo o analógico (ejemplo: nivel)
 - ◆ Discreto o lógico (ejemplo: llenado y vaciado)

R. Estepa
5
Redes Industriales

Integración de sistemas

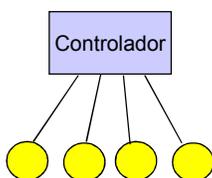
- Diversos jerárquicos:
 - ◆ Fábrica:
 - » Producción, almacén, control de calidad, ...
 - » Conecta computadores
 - ◆ Celda:
 - » Equipos de control y comando de un área de producción
 - » Conecta controladores
 - ◆ Campo:
 - » Dispositivos de campo
 - » Sensores, actuadores

R. Estepa
6
Redes Industriales

Buses de Campo

■ Evolución

- ◆ Enlaces punto a punto
 - » Hace 30 años: basados en el estándar analógico de corriente 4-20mA
 - » El cableado se complica cuando crece el número de dispositivos
 - Coste de instalación y mantenimiento
 - » Los dispositivos sólo pueden comunicarse con su controlador
 - » Inducción de ruido en cables vecinos
 - Especialmente dañinos en entradas analógicas



R. Estepa

7

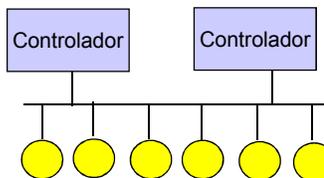
Redes Industriales

Buses de Campo

■ Desarrollados en los años 80

■ Ventajas

- ◆ Ahorro de cableado
 - » Sencillez de configuración y mantenimiento
 - » Menor coste
- ◆ Acceso a datos por todos los equipos del bus
 - » Permite descentralización de dispositivos inteligentes
 - » Mayor modularidad
- ◆ Desaparición de las interfaces de entrada/salida
 - » Interconexión de equipos heterogéneos



R. Estepa

8

Redes Industriales

Buses de Campo

- **Clasificación**
 - ◆ **FieldBus**
 - » Información: palabras o tablas
 - » Variables analógicas y digitales
 - » Conectan dispositivos, PLC y PC
 - » Permiten aplicaciones distribuidas
 - ◆ **DeviceBus**
 - » Información: bytes
 - » Variables analógica y digitales
 - » Conectan dispositivos, PLC y PC
 - » Compartir dispositivos entre PLC
 - ◆ **SensorBus**
 - » Información: bits
 - » Variables digitales.
 - » Conectan captadores, actuadores, pulsadores,... con un controlador

R. Estepa
9
Redes Industriales

Características de las Redes Industriales

- **Red Industrial**
 - ◆ Red con elevadas restricciones temporales (tiempo real) utilizada en un sistema de producción (instrucciones, supervisión, mantenimiento o gestión)

	Red Industrial	Red de Empresa
Usuario	Procesos	Personas
Tráfico	Determinístico	Aleatorio
Servicios	Predeterminados	Adaptados al usuario
Simultaneidad	Predeterminada	Todos los usuarios
Tiempo de respuesta	Crítico (< 5 ms)	No crítico (> 100 ms)
Método de comunicación	Específico de la aplicación	Genéricos

R. Estepa
10
Redes Industriales

Índice

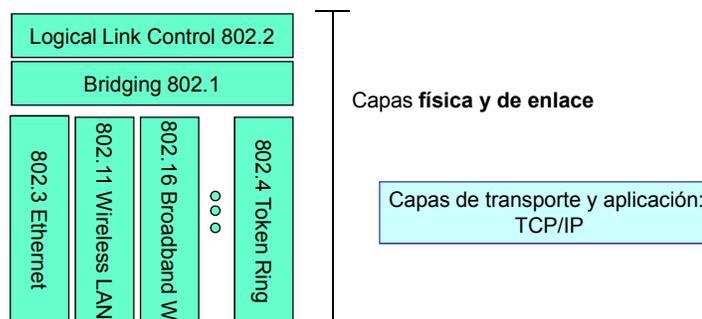
- **Las redes de comunicación en entornos industriales**
 - ◆ Modelo para las telecomunicaciones
- Características de las redes industriales
 - ◆ Requisitos de las comunicaciones en redes industriale
- **Ethernet**
 - ◆ Ethernet clásica
 - » Limitaciones en redes industriales
 - ◆ Ethernet Conmutada
- Soluciones para ethernet industrial
- Tendencias futuras: WLAN

Uso de Ethernet en redes industriales

- ¿Por qué utilizar Ethernet?
 - ◆ Permite una capa de aplicación única basada en los protocolos TCP/IP
 - » Integración con Internet
 - » Lenguajes de simulación y descripción accesibles
 - ◆ Facilita el control de dispositivos mediante Web o LAN corporativa
 - » Integración vertical
 - ◆ Conexión física Ethernet (precios muy bajos)
 - » Bajo coste de conexión
 - » Incremento de velocidad (¡10 Gb/s !)

Vintage Ethernet

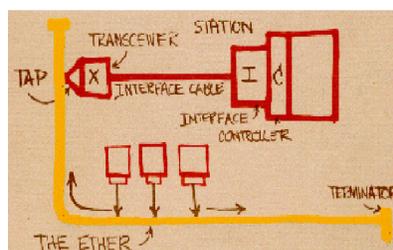
- Estándar IEEE 802



Vintage Ethernet

- Ethernet 'original'

- Un solo segmento de cable coaxial
- Todos los nodos a dicho segmento (bus)
- Control de acceso al medio
 - » Todas las estaciones escuchan el medio
 - » Cada estación puede escuchar lo que transmiten las demás
- Transmisión de paquetes



Principios básicos - transmisión

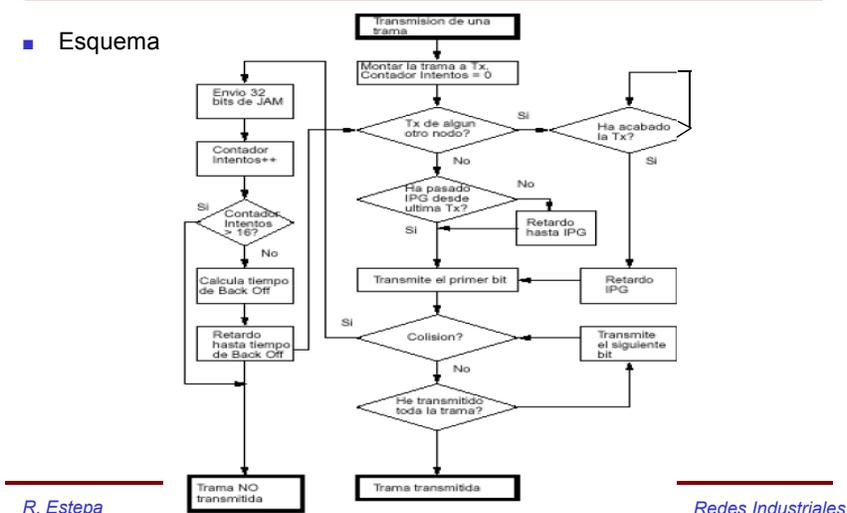
- Un estación que desea transmitir
 - ◆ Escucha el medio de transmisión
 - ◆ Si se encuentra libre durante un tiempo
 - » Emite el mensaje
 - » Mientras continúa escuchando el medio de transmisión
 - » Si existe colisión, envía una señal (jamming) y se prepara para repetir la transmisión
 - ◆ Si el medio no está libre, la estación espera hasta que queda libre. Entonces procede como se indica en el punto anterior
 - » CSMA/CD 1- persistente

Principio básicos- retransmisión

- Si ocurre colisión
 - ◆ No se transmite de forma inmediata
 - ◆ Se elige un número aleatorio en un rango (intervalo de *backoff*)
 - ◆ Se multiplica dicho número por la duración del intervalo de tiempo (5 μ s en 100Mb/s)
 - ◆ Si el medio está libre cuando venza el temporizador de retransmisión, se comienza a transmitir.
 - ◆ Si ocurre una colisión, se dobla el intervalo de *backoff*
 - » Máximo de 0..1023
 - » Tras 16 intentos se cancela la retransmisión
 - ◆ Si se transmite correctamente el intervalo de *backoff* retorna a su valor original [0..1]

CSMA/CD para Ethernet

■ Esquema

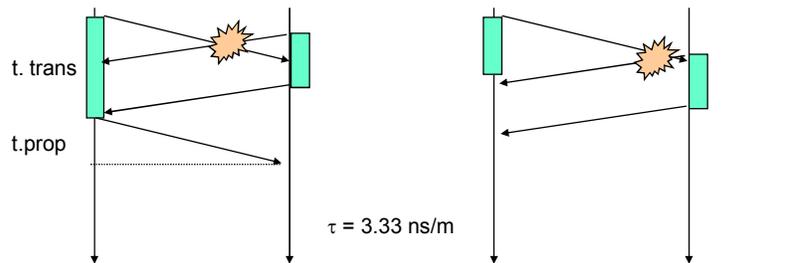


Backoff

- En caso de colisión
 - ◆ Se detiene la transmisión tras el envío de una secuencia jamming
 - ◆ Se recalcula el intervalo de backoff
 - » $[0..2^m-1]$ donde m es el número de colisiones sucesivas
 - ◆ Se selecciona un número aleatorio en este intervalo
 - ◆ Tiempo de espera = n° seleccionados * tiempo de slot (512 veces el tiempo de bit en 100 Mb/s y 4096 en 1Gb/s)
 - ◆ Tras cada colisión duplicamos el intervalo
 - » Máximo número $[0..1023]$ tras 10 intentos
 - ◆ En caso de éxito: $m = 0$

Colisiones

- Zona de colisión (periodo vulnerable) = $2 \times t.$ propagación
 - ◆ Esto define el tiempo de slot
 - ◆ Limita la longitud máxima del cable y define el mínimo tamaño del paquete



R. Estepa

19

Redes Industriales

Parámetros 10base5

- Cable coaxial (thick ethernet) 50 ohm
- 10 Mb/s
- Silencio entre tramas = 96 tiempo de bit ($9.6 \mu\text{s}$)
- << slot time >> = 512 bit ($51.2 \mu\text{s}$) (10,100 Mb/s), 4096bit (1Gb/s)
- Distancia < 2500 m entre dos estaciones
 - ◆ 5 segmentos de 500 metros y 4 repetidores
- Tamaño mínimo de trama = 512 bit
- Tamaño máximo de trama = 1518 octetos
- Secuencia de Jamming = 32 a 48 bits

R. Estepa

20

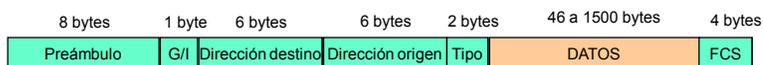
Redes Industriales

Historia

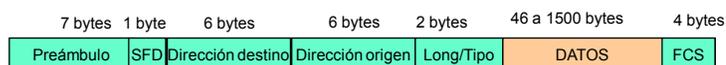
- 1970: Desarrollo de ALOHA por la Universidad de Hawai
- 1977: Patente U.S. #4,063,220 – Sistema de comunicación de datos multipunto con detección de colisiones
- 1982: Primera versión por Xerox, Intel y DEC
- 1985: Primer estándar IEEE 802.3
- Convención
 - ◆ Velocidad / tipo de transmisión / medio físico
 - ◆ 10 Base 5 (10 Mb/s transmisión en banda base, distancia 500 metros en cable coaxial)
 - ◆ 10 Base T (cable de pares), F (fibra óptica)
 - ◆ Velocidades 10 Mb/s hasta 10 Gb/s

Trama Ethernet

- Formato de trama
 - ◆ DIX V1.0 Ethernet
 - » Dirección MAC: 24 bits (identificación del fabricante)



- ◆ IEEE 802.3
 - » Longitud: si menor de 1518 indica longitud, sino el tipo de trama

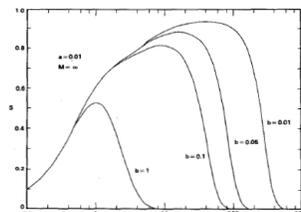


Análisis del rendimiento

■ Diversos estudios

- ◆ Throughput Analysis for CSMA system. Kleinrock (IEEE Transaction on communication. 1985-7)

- ▶ Análisis basados en cadenas de Markov
 - G: tramas ofrecidas en el tiempo de trama
 - S: tramas cursadas en el tiempo de trama
- ▶ Rendimiento depende de dos parámetros
 - a = tiempo de propagación / t.trama
 - b = tiempo de hamming



$$S = \frac{G(1+bG)e^{-(a+b)G}}{\left\{ \begin{aligned} &G(a+b)[1-(1+G)e^{-(1+a)G}] - (1+bG)[1-G(1-a-b)]e^{-(a+b)G} \\ &+ e^{-bG} \left[2 + \frac{G}{4}(a+5b) + \frac{1}{2}b(a+b)G^2 \right] + \frac{G}{4}(2bG+3+2aG)(a+b)e^{-(2a+b)G} \\ &- G(1-b)e^{-(1+a+b)G} - \frac{1}{4}e^{-2bG}[1-(1+2aG)e^{-2aG}] \end{aligned} \right\}}$$

R. Estepa

23

Redes Industriales

Análisis del rendimiento

■ Resultados: 37% máximo de caudal

- ◆ Modelo teórico muy aproximado
 - ▶ Sólo aplicable bajo un número de condiciones muy restrictivas y paquetes de pequeño tamaño.

■ Análisis de rendimiento experimental

- ◆ Retardos de acceso mínimo en el caso de poco tráfico
- ◆ El retardo de transmisión se incrementa linealmente con el tamaño de los paquetes y el número de nodos
- ◆ La variación del retardo también se incrementa pero de forma más lenta

Los paquetes pequeños son favorables para el retardo y su variación
Contrariamente conllevan un menor uso de la red

R. Estepa

24

Redes Industriales

Análisis del rendimiento

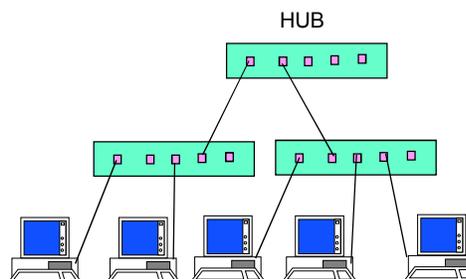
- Estudios experimentales sobre el rendimiento
 - » “efficient and accurate ethernet simulation”. 1999. J. Wang
 - » “measured capacity of an Ethernet. Myths and reality”. 1988. C. Kent.
 - ◆ Es posible utilizar casi el 100% del ancho de banda
 - » Paquetes de gran tamaño. Retardos bajos hasta el 60-70% de uso.
 - » Paquetes pequeños permiten un uso muy superior al 37% teórico
- ¿Diferencias entre la teoría y la realidad?
 - ◆ Cálculos complejos: condiciones muy simplificadas de la realidad
 - » Ley de llegadas Poissonianas (sin memoria)
 - En la práctica es menos suave (ráfagas)
 - » Población infinita: siempre paquetes esperando
 - En la práctica se pierden paquetes por sobrecarga del buffer
 - » Los cables normalmente son menores del tamaño máximo
 - » Los paquetes tienden a una distribución bimodal (pequeños y grandes)

Problemas con Ethernet

- Efecto de captura
 - ◆ Supongamos dos estaciones A y B con muchos datos que enviar
 - ◆ En un instante dado, ambas provocan una colisión
 - ◆ A elige 1 en su intervalo de *backoff* y B elige 0
 - ◆ Entonces B transmite exitosamente
 - ◆ Como B tiene más tráfico intenta enviar el siguiente mensaje a continuación
 - ◆ Este nuevo mensaje colisiona de nuevo con el de A
 - ◆ A dobla su intervalo de backoff mientras que B comienza (0..1)
 - ◆ B tiene mayor probabilidad de éxito que A y así sucesivamente
- **Tiempo de transmisión no acotado**

Mejoras sobre Ethernet

- 1987: 1BASE5, 1 Mb/s sobre UTP con un hub
- 1990: 10BASET, 10Mb/s sobre UTP con hub (100 metros)
- 1995: 100BASET, 100 Mb/s sobre UTP con hub
- 1998: 1 Gb/s
- 2004: 10 Gb/s
- 1997: Operación a full duplex
 - ◆ Hub se sustituye por un conmutador
- Distancia con fibra óptica: 40km (10 Gb/s)



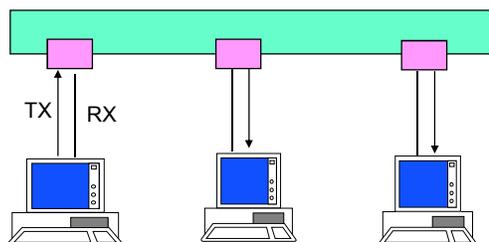
R. Estepa

27

Redes Industriales

Ethernet Conmutada

- Ethernet original opera en semi-duplex
 - ◆ Excepto en caso de colisión
- Con un hub (repetidor) sólo existen dos nodos en el cable
 - ◆ No obstante el comportamiento debe ser el mismo
 - » Un solo dominio de colisión



R. Estepa

28

Redes Industriales

Ethernet Conmutada

- Un conmutador
 - ◆ Recibe en un puerto
 - ◆ Retransmite sobre los puertos donde se encuentra el equipo destino
 - ◆ Mientras tanto, almacena el paquete
- En un conmutador
 - ◆ Los equipos finales no precisan detectar las colisiones
 - ◆ Existe un par (UTP) para cada sentido de la transmisión
 - » Puede explotarse en full duplex
 - » Duplica la velocidad
 - ◆ El ancho de banda disponible es mucho mayor (múltiples dominios)
 - ◆ Esto no significa que se resuelvan todos los problemas ...

Ethernet Conmutada

- Los buffer del conmutador puede sufrir desbordamiento
 - ◆ Si dos nodos envían tráfico a un tercero (pérdida de tramas)
 - ◆ Es necesario: Control de flujo
 - » PAUSE frames
 - » Añade retardo. Problema para tiempo real
 - » Funcionamiento (802.3x)
 - Puede implementarse enlace a enlace o extremo a extremo
 - Reduce el tráfico que reciben los dispositivos implicados
 - Enlace a enlace
 - » Entre conmutadores o entre conmutador y equipo final
 - » Cuando el RX está saturado envía PAUSE al otro extremo. Si éste no fuera el que origina la saturación la puede reenviar hasta alcanzar el origen
 - Extremo a extremo
 - » Los conmutadores envían información sobre la cantidad de tráfico de los sistemas finales que originan la congestión
 - » Permite que las estaciones finales conozcan el estado de saturación de los conmutadores y suavicen el tráfico que envían.

Ethernet Conmutada

- Múltiples caminos entre distintos nodos
 - ◆ Spanning tree
 - » Deshabilita enlaces para evitar bucles
 - » Fast, múltiple spanning tree
- Confusión entre hub y conmutadores
 - ◆ Un hub 10/100 es, necesariamente, un conmutador
- Conmutadores multinivel
 - ◆ Incluyen módulos de routing y de switching
- Conmutadores
 - ◆ Cut-and-through: la trama se envía al saber dirección destino
 - ◆ Store-and-forward: analiza la trama entera (busca errores)
 - ◆ Non-blocking: todos los puertos a la máxima velocidad
 - » Ejemplo: 8 puertos 10/100 full duplex. Switching fabric 1,6Gb/s

Ethernet Conmutada

- Aspectos complementarios
 - ◆ Autonegociación
 - » Cada 16 ms +/- 8
 - Full duplex o half duplex
 - 10 Mb/s, 100Mb/s, 1000Mb/s
 - ◆ VLAN – IEEE 802.1Q
 - » Aísla tráfico entre grupos de equipos (Virtual LAN = dominio difusión)
 - » Utiliza la cabecera << type/length>>
 - » Añade un identificador de LAN (12 bit) y un campo prioridad (3 bit)
 - ◆ Calidad de servicio – IEEE 802.1D (incluye la 802.1p)
 - ◆ Auto aprendizaje
 - » Los conmutadores aprenden en qué puertos se sitúan los equipos
 - » Problemas con el tráfico multicast
 - Solución: conmutador espía tráfico IGMP (IP Group Management Protocol)

Ethernet Conmutada

- Gestión de calidad de servicio: 802.1D (puentes MAC)
 - ◆ No está limitado a Ethernet
 - ◆ 8 prioridades de tráfico
 - » La mayoría de los equipos sólo implementan: best effort, real.time y gestión en cada puerto de salida
 - » Los paquetes se insertan en la cola correspondiente según FIFO
 - » Cuando el enlace está libre se transmite el paquete más antiguo de la cola más prioritaria
 - Puede causar inversión de prioridades grandes (1500 bytes)
 - » Paquetes sin campo de prioridad se les asigna una cola por defecto
 - Permite filtrar los paquetes que provienen del exterior
 - ◆ NO CONFUNDIR CON QoS A NIVEL DE RED (INTSERV, DIFFSERV, ...)

Soporte de tiempo real

- Mejoras en el tiempo de acceso
 - ◆ Modificar el MAC
 - ◆ Añadir otro MAC sobre CSMA/CD
 - » Permite TDMA, maestro/esclavo, token, reserva, ...
 - ◆ Adaptación del tráfico
 - ◆ Uso de conmutadores (ethernet conmutada)
 - ◆ Aproximaciones
 - » Suprimir las colisiones (conmutación)
 - » Reducir su número
 - » Resolver las colisiones de forma determinista
- Sincronización y consistencia
 - ◆ Algoritmo de sincronización de relojes (IEEE 1588)

Soporte de tiempo real

- Añadir otro MAC
 - ◆ Mejorar la predicción del tiempo de transferencia de los mensajes
 - ◆ Múltiples soluciones propuestas (casi todos los posibles MAC)
 - » CSMA/DCR (Deterministic Collision Resolution)
 - Cuando se detecta colisión, se divide el canal en intervalos asignados a cada una de las estaciones (garantiza la resolución en un tiempo). Cada estación debe esperar un tiempo diferente antes de acceder (es un token passing implícito)
 - » BLAM (Logarithmic arbitration method). 100VG-AnyLAN 802.12
 - La elección del número de backoff es normal con media y varianza de acuerdo con una prioridad preestablecida
 - » P-CSMA (Prioriced CSMA): Utilizado en CAN.
 - ◆ Normalmente son poco eficientes en el uso del canal
 - » TDMA puro en 1Gb/s (uso del 4% del canal)

Soporte de tiempo real

- Adaptación del tráfico
 - ◆ Evitar ráfagas causadas por tráfico que no es de tiempo real
 - » Smoothing limitar el tráfico instantáneo (retrasarlo)
 - » Shaping (emisión periódica de bloques)
 - ◆ Esto sólo facilita garantías de retardo en términos estadísticos
 - » Reduce la tasa de pérdidas y la variación del retardo
 - » Incrementa el retardo medio
- Uso de conmutadores
 - ◆ Evitan colisiones
 - ◆ Puede haber desbordamiento en las colas
 - » Control de flujo
 - » Incrementa retardo y variación del retardo

Índice

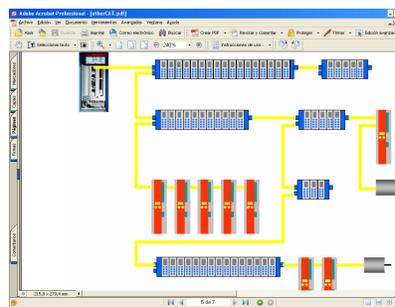
- **Las redes de comunicación en entornos industriales**
 - ◆ Modelo para las telecomunicaciones
- Características de las redes industriales
 - ◆ Requisitos de las comunicaciones en redes industriale
- Ethernet
 - ◆ Ethernet clásica
 - » Limitaciones en redes industriales
 - ◆ Ethernet Conmutada
- Soluciones para ethernet industrial
- Tendencias futuras: WLAN

Soluciones existentes

- Hardware no estandarizado
 - ◆ EtherCAT
 - ◆ SERCOS III
 - ◆ SynqNet, PowerDNA, ...
- Hardware estandarizado pero no compatible con nodos 802.3
 - ◆ Ethernet Powerlink
 - ◆ FTT-Ethernet
- Hardware estandarizado compatible con nodos 802.3
 - ◆ PROFINET
 - ◆ EtherNet/IP
 - ◆ Modbus-TCP
 - ◆ Real-Time Publish-Subscribe

EtherCAT

- Permite hasta 65536 nodos / segmento
- Medios físico compatibles: UTP, fibra óptica, coaxial, ... 100BaseTx
- Topología
 - ◆ Estructura de árbol (simplifica cableado respecto a la estrella)
- Hardware dedicado
- Integración con CAN y SERCOS
- Comunicación punto a punto
 - ◆ Mediante el maestro
- Sincronismo: IEEE 1588



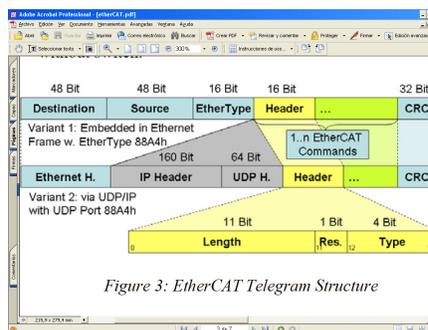
R. Estepa

39

Redes Industriales

EtherCAT

- Principio de funcionamiento
 - ◆ El maestro envía 1 o más datagramas EtherCAT
 - » Contienen datos de salida y espacio para los datos de entrada
 - » Los nodos leen y actualizan su parte de trama 'on the fly'
 - » La ubicación en el datagrama es independiente de la ubicación física
 - ◆ Dentro de cada esclavo hay un gestor de sincronismo
 - » Informa de la recepción de un nuevo dato
 - » Gestiona la lectura y escritura ordenada



R. Estepa

40

Redes Industriales

EtherCAT

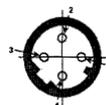
- Rendimiento elevado
 - ◆ Tiempo de actualización para 1000 I/O: 30 μ s
 - ◆ Para 256 I/O: 11 μ s
 - ◆ Para 200 I/O analógicas (16 bit): 50 μ s
- El maestro puede utilizar hardware estándar
- Inconvenientes
 - ◆ Incompatible con Ethernet
 - ◆ Requiere hardware especializado (más caro)
 - ◆ Topología limitada (¿redundancia?)

Soluciones que alteran la compatibilidad

- Añaden nuevos MAC sobre CSMA/CD
 - ◆ TDMA:
 - » cada nodo dispone de 1 o más slot en los que puede transmitir
 - » Sincronización mediante IEEE 1588
 - » Baja eficiencia (retardos en el switch y el software de los protocolos)
 - Gestión de errores (pérdida de tramas)
 - ◆ Organización Maestro-Eslavo
 - » El maestro realiza ciclos de sondeo y selección sobre los esclavos
 - Adecuado para tráfico regular y un número de estaciones pequeño
 - » Si una estación no transmite se desperdicia el parte de canal
 - Cuando el maestro espera la respuesta nadie puede usar el canal
 - ◆ Paso de Token
 - » Parámetros: tiempo de rotación del token, tiempo máximo de token
 - Normalmente viene limitado por el tiempo de muestreo
 - Ineficiente en redes de sensores con tiempos dispares

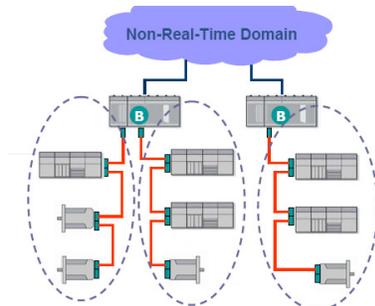
Ethernet PowerLink

- Compatible con
 - ◆ 802.3 fast ethernet (mismo tipo de trama)
 - ◆ Perfil de dispositivos estándar de CAN
 - ◆ Chip hardware ethernet
 - » No es preciso utilizar ASIC propietarios
 - ◆ IEEE 1588 para sincronismo de relojes
- Nivel físico
 - ◆ Árbol, estrella, ...
 - ◆ 100 Base X (recomendable hub)
 - ◆ Conectores RJ-45 y M12



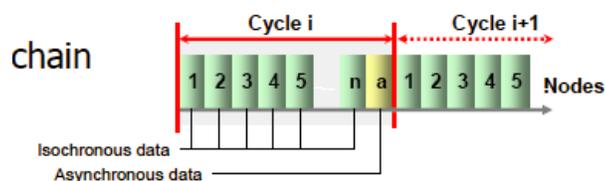
Ethernet PowerLink

- Separación de dominios
 - ◆ Tiempo real y no tiempo real



Ethernet Powerlink

- Tiempo de ciclo
 - ◆ Gestor garantiza la transferencia libre de colisiones
 - » Configurable: número y duración de los intervalos de tiempo
 - ◆ Transferencia isócrona
 - » Slot individual
 - ◆ Transferencia asíncrona
 - » Slot compartido



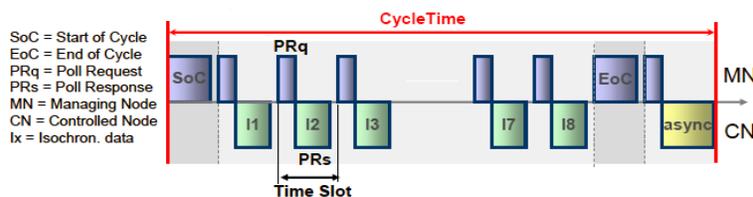
R. Estepa

45

Redes Industriales

Ethernet PowerLink

- Transferencia isócrona
 - ◆ Implementaciones de ciclo inferiores a 200 μ s
 - ◆ Configurable la duración y el número de intervalos
 - ◆ Trama de sincronismo común (SoC) a todos los nodos
- Transferencia asíncrona
 - ◆ Nodos envía datagramas IP de forma controlada
 - » Productor / consumidor



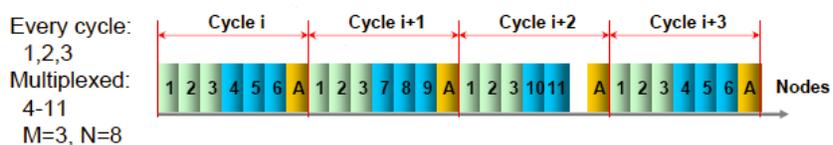
R. Estepa

46

Redes Industriales

Ethernet PowerLink

- Soporte de tráfico isócrono multiplexado
 - ◆ Mejora el rendimiento del canal
 - ◆ El Maestro reserva slot en todos los ciclos
 - ◆ El esclavo introduce un dato cada N ciclos



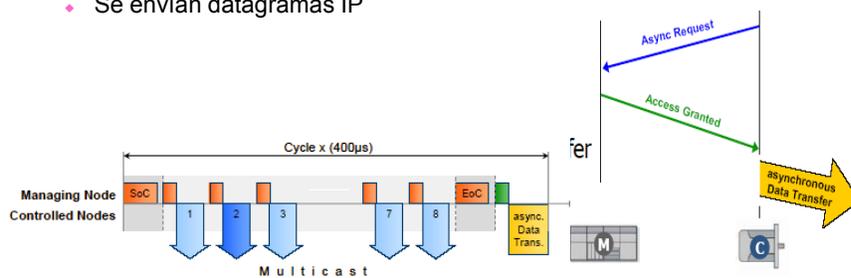
R. Estepa

47

Redes Industriales

Ethernet Powerlink

- Transferencia de tráfico asíncrono
 - ◆ Sólo se soporta bajo demanda
 - ◆ El nodo que gestiona el uso del canal garantiza la transferencia
 - ◆ Tráfico no sensible al retardo
 - ◆ Se envían datagramas IP



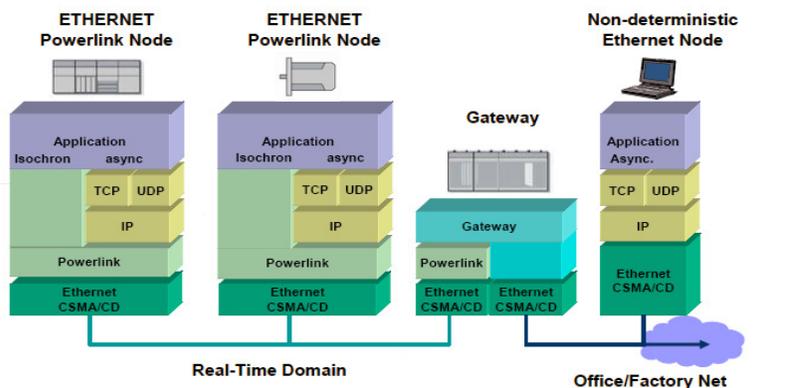
R. Estepa

48

Redes Industriales

Ethernet Powerlink

■ Pila de protocolos



Ethernet Powerlink

■ Inconvenientes

- ◆ Baja la eficiencia debido a la señalización sobre el nivel MAC
- ◆ Tiempos de respuesta al sondeo elevados debido al software
 - » Se puede mejorar implementando soluciones en firmware
- ◆ No son compatibles con nodos regulares 802.3
 - » Se pierden las garantías de tiempo real pues éstos nodos no emiten siguiendo las mismas reglas

Soluciones que mantienen compatibilidad

- Pueden coexistir los nodos que implementan las mejoras y los nodos 802.3 normales
- Subclases:
 - ◆ Homogéneo:
 - » las garantías de retardo sólo se cumplen cuando todos los dispositivos conectados implementan las mejoras
 - ◆ Heterogéneo:
 - » ofrecen garantías incluso en presencia de nodos que no implementan las mejoras

Soluciones que mantienen compatibilidad

- Soluciones Homogéneas
 - ◆ Pretenden ofrecer garantías estadísticas al retardo de transmisión
 - » Idea: El tráfico suavizado (tasa de llegada lo más constante posible) provoca menos colisiones que el tráfico a ráfagas
 - Principio básico de ATM. Mejora el rendimiento de la red.
 - En tráfico disparado por el tiempo el tráfico es 'suave'
 - » Se envía al llegar
 - En tráfico disparado por eventos el tráfico es a ráfagas
 - » Suavizarlo con un filtro token bucket: créditos de transmisión
 - » Gran mejoría en: retardo, tasa de pérdidas, jitter y utilización de la red.
 - » Valores experimentales: 10 Mb/s
 - Tráfico tiempo real: 5%
 - Sin tráfico de datos: retardo < 1 ms, con 3.2Mb/s de datos < 150 ms
 - » Aplicable a sistemas con restricciones suaves en tiempo real
 - Para restricciones estrictas se puede incrementar la velocidad de muestreo
 - Permite el funcionamiento si se pierden algunas muestras

Soluciones que mantienen compatibilidad

■ Soluciones Homogéneas

◆ Otra solución: RETHER

» Dos modos de operación:

- CSMA/CD en ausencia de tráfico de tiempo real
- Token passing para operaciones de tiempo real
 - » Reserva previa para no exceder el ancho de banda total
 - » Dos token: para sistemas con tiempo en tiempo real (limitado por el tiempo de muestro) y para sistemas sin tiempo real (después de los nodos en t. real)
 - » El ancho de banda necesario se traduce en tiempo de token
 - » Cuando no existen nodos con tiempo real se vuelve a CSMA/CD
 - » Cada switch parte la red en distintos dominios con diferentes token (uno por dominio)
 - » Buenos resultados en alta carga y con paquetes pequeños

Soluciones que mantienen compatibilidad

■ Soluciones Heterogéneas

◆ EtheReal

- » Proporciona garantías de BW orientado a conexión
- » Utiliza un conmutador especial. No se permite hub, ni router ni switch
 - Las modificaciones de éste conmutador se pueden implementar en el software, no requieren nuevo hardware
 - Los clientes finales deben incluir nuevas librerías software para el establecimiento de la conexión
- » Distingue dos clases de tráfico
 - Best effort y real time (se asume un comportamiento VBR como en ATM)
- » Cuando una estación quiere transmitir datos en tiempo real hacia otra
 - Inicia el 'demonio' de comunicación de tiempo real (RTCD)
 - Solicita una conexión a la dirección IP destino (contiene parámetros QoS: caudal medio y máximo tamaño de ráfaga, así como una ID de conexión -16bit-)
 - Si se puede ofrecer la QoS solicitada el conmutador envía la petición al siguiente conmutador en el camino, ... así hasta el último conmutador

Soluciones que mantienen compatibilidad

■ Soluciones Heterogéneas

◆ EtheReal

- » Si el último la acepta envía hacia atrás un ACK. Cada conmutador guarda en su tabla de conexiones la QoS necesaria.
 - El ID de conexión es local a cada conmutador (va cambiando)
- » El nodo origen de la RTCD crea una dirección MAC proxy y una dirección IP proxy que contienen el ID de la conexión.
- » Luego envía un ARP para ligar la dirección IP proxy con la MAC proxy
- » Cuando quiere enviar datos de tiempo real los manda a la dirección IP proxy.
 - El nivel IP realiza un ARP que ofrece la dirección MAC proxy
 - El conmutador reconoce la MAC proxy (ID conexión), busca en su tabla el enlace de salida
 - Modifica la dirección MAC destino (con la ID de conexión del siguiente)
- » Siempre sobre UDP para tiempo real (TCP o UDP en otro caso)
- » Buen rendimiento para soporte de grupos multicast

Soluciones que mantienen compatibilidad

■ Soluciones Heterogéneas

- ◆ Uso de Ethernet Conmutada. EtherNet/IP (nivel aplicación CIP)
 - » Operación a 100 Mb/s, 1 Gb/s o 10 Gb/s
 - » Agregación de enlaces: 803.3 ad
 - » Power over Ethernet: 802.3 af
 - » Priorización de tráfico: 802.1D
 - » Control de flujo: 802.1x
 - » Traffic shaping (token bucket)
 - » Sincronización de tiempo: IEEE 1588
- ◆ Experimento: 5 equipos y 1 conmutador central (100Mb/s)
 - » Tamaño del buffer: 127 tramas
 - » Traffic shaping: tasa de salida 10kb/s, 1 kb/s y 0,1 kb/s
 - » Uso de ancho de banda 93 % del enlace
 - » Máximo retardo 0.58 ms para 10kb/s y 9.3 ms para 0,1 kb/s

Normalización

- Diversos perfiles 'incompatibles' en la IEC 61884-2
 - ◆ Actualmente en desarrollo
 - ◆ Perfiles básicos:
 - » CPF-10: VNET/IP. Utiliza un protocolo llamado RTP para el envío de datos sensibles al retardo. UDP como nivel de transporte
 - » CPF-11: TCnet (de Toshiba). Nueva MAC. Red basada en bus con redundancia
 - » CPF-12: EtherCAT
 - » CPF-13: PowerLink Ethernet
 - » CPF-14: EPA (Ethernet for Process Automation). Propuesta china para permitir comunicaciones deterministas
 - » CPF-15: ModBus/TCP definido por Schneider. Utiliza Modbus sobre una red TCP/IP. Muy difundida. Bajo consideración del IETF. Para soporte de tiempo real utiliza el protocolo RTPS (Real-time Publisher Subscriber) sobre UDP

Índice

- **Las redes de comunicación en entornos industriales**
 - ◆ Modelo para las telecomunicaciones
- Características de las redes industriales
 - ◆ Requisitos de las comunicaciones en redes industriale
- Ethernet
 - ◆ Ethernet clásica
 - » Limitaciones en redes industriales
 - ◆ Ethernet Conmutada
- Soluciones para ethernet industrial
- Tendencias futuras: WLAN

IEEE 802.11 Wireless LAN

- Posible utilización en redes industriales
 - ◆ Evita cableado
 - ◆ Robusta frente a ruido e interferencias
 - ◆ Entorno de difusión
 - » Uso del canal en modo semiduplex
 - ◆ Velocidad de transmisión:
 - » 802.11b: hasta 11 Mb/s, opera en la banda de 2,4GHz (banda industrial, científica y médica)
 - » 802.11a: hasta 54 Mb/s, opera en la banda de 5 GHz (banda libre)
 - Aplica OFDM (orthogonal frequency-division multiplexing)
 - » ¿Retardo de acceso al medio acotado? DCF (Distributed coordination function)
 - Entre punto de acceso (AP) y la estación

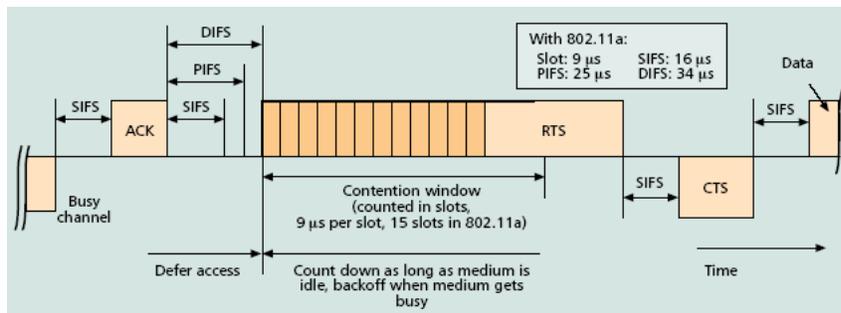
IEEE 802.11 Wireless LAN

- Función de coordinación distribuida (DCF)
 - ◆ CSMA
 - » Antes de enviar un dato se escucha el medio (aire). Si está ocupado no se transmite.
 - » Tamaño máximo de la trama: 2304 bytes
 - » Puede ocurrir colisión si 2 estaciones detectan el medio libre y TX
 - No reciben el ACK del PA
 - ◆ CSMA – CA (Collision Avoidance)
 - » Si una estación detecta que el medio está libre durante un periodo de tiempo llamado DIFS (34 μ s en 802.11a), la estación espera un tiempo aleatorio (*backoff*) antes de iniciar una transmisión.
 - Tiempo de backoff es múltiplo del time slot (9 μ s en 802.11a)
 - En cada nuevo intento se selecciona un nuevo valor entre 0..y CW (ventana de contención), que inicialmente vale CW = 15 (802.11a)
 - Si mientras espera el medio se ocupa retiene la espera hasta que vuelve a quedar libre durante DIFS.
 - Si colisión (no recibo ACK) se dobla CW (hasta un máximo de 1024)

IEEE 802.11 Wireless LAN

■ CSMA – CA

- ◆ No existe priorización del tráfico pues CW es el mismo para todas las estaciones



R. Estepa

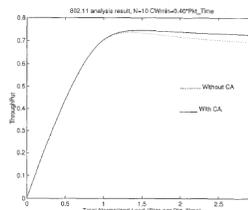
61

Redes Industriales

IEEE 802.11 Wireless LAN

■ CSMA – CA

- ◆ Tras cada transmisión con éxito
 - » La estación espera otro backoff aleatorio aunque no tenga que transmitir: post-backoff.
 - Asegura que hay un tiempo aleatorio entre dos transmisiones consecutivas
- ◆ Excepción a la espera antes del envío
 - » Cuando se dan las siguientes circunstancias al llegar una nueva PDU
 - La cola de transmisión está vacía
 - El último post-backoff ya terminó
 - El medio está libre durante DIFS
 - » En tal caso se transmite inmediatamente
- ◆ Uso del canal cercano al 80%



R. Estepa

62

Redes Industriales

IEEE 802.11 Wireless LAN

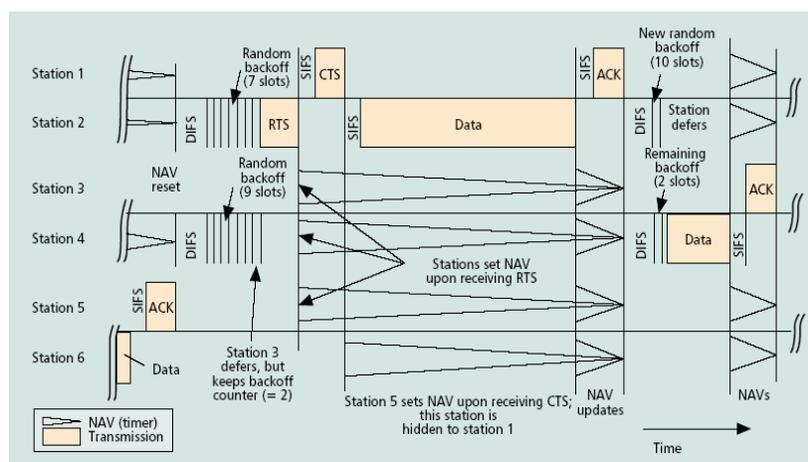
- Capacidades opcionales: fragmentación y RTS / CTS
 - ◆ Fragmentación
 - » Para reducir la pérdida de capacidad útil en caso de colisión se permite la fragmentación en trozos que se pueden enviar de forma consecutiva con asentimientos individuales
 - » Backoff sólo en el envío del primero
 - ◆ RTS/CTS
 - » Evita el problema de las estaciones 'escondidas' (no detectan)
 - » Mecanismo Request To Send / Clear To Send
 - » Funcionamiento
 - Antes de transmitir se envía una trama de control RTS
 - El receptor (AP) responde con una trama CTS (que llega a todas las estaciones)
 - Llevan información sobre el tiempo que se utilizará el canal para envío de datos y recepción del correspondiente ACK. Tiempo NAV
 - Las otras estaciones no transmiten mientras dura el periodo NAV
 - Periodo breve (SFIS) entre RTS y CTS

R. Estepa

63

Redes Industriales

IEEE 802.11 Wireless LAN



R. Estepa

64

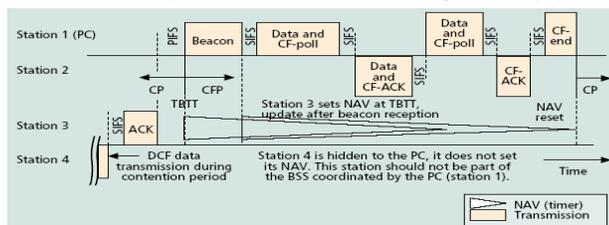
Redes Industriales

IEEE 802.11 Wireless LAN

- Soporte de QoS mediante la función PCF (Point Coordination Function)
 - ◆ Mecanismo para priorizar el acceso y ofrecer coordinación centralizada (normalmente por el punto de acceso)
 - ◆ Alternancia en el tiempo de dos tipos de periodos
 - » Periodos libres de contención (CFP)
 - Permite el acceso al medio mediante PCF
 - » Periodos de contención (CP)
 - Acceso al medio usual
 - » Supertrama
 - Incluye un CP de longitud mínima para permitir el envío de una trama
 - La supertrama comienza con una Beacon frame para sincronizar los relojes locales
 - Se transmite la Beacon frame a intervalos regulares (TBTT) anunciados en la trama Beacon anterior

IEEE 802.11 Wireless LAN

- Soporte de QoS
 - ◆ Periodos CFP
 - » Ciclo de sondeo individual en el que además se envían posibles datos a cada equipo
 - » Si un equipo tiene datos los envía directamente en la respuesta junto con el ACK
 - » Si no tiene datos, pasado PIFS se sondea al siguiente equipo



IEEE 802.11 Wireless LAN

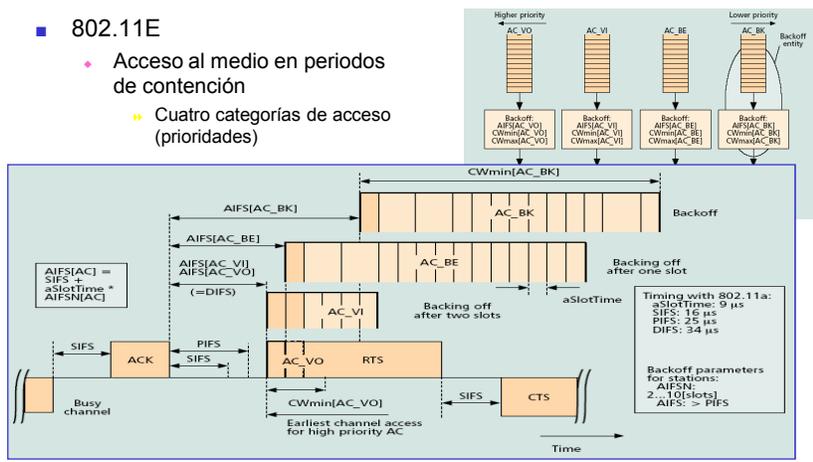
- Problema con el soporte de QoS
 - ◆ Retardo de Beacon impredecible
 - » Si el medio está ocupado tras TBTT se retrasa (hasta 4.9 ms)
 - ◆ Duración del sondeo a una estación incierta
 - » Si utiliza fragmentación
 - » El tiempo que un equipo sondeado utiliza el canal está fuera del control del AP
- Mejoría: 802.11E
 - ◆ Función de coordinación híbrida (HCF) para el soporte de QoS
 - ◆ Define dos mecanismos de acceso al medio
 - » Acceso a canales basado en contención
 - » Acceso controlado (incluyendo sondeo y selección)

IEEE 802.11 Wireless LAN

- 802.11E
 - ◆ Límite máximo del tiempo uso del canal para una estación: TXOP
 - » TXOP: definido por el instante de inicio y duración
 - » Se puede obtener mediante acceso por contención o mediante acceso controlado
 - ◆ Sólo se transmite una trama si puede completarse dentro del TBTT
 - » Reduce la incertidumbre de la trama Beacon
 - ◆ Se permite el envío directo de tramas entre estaciones sin mediación del punto de acceso
 - » Se establece un enlace directo entre ambas (direct link protocol)

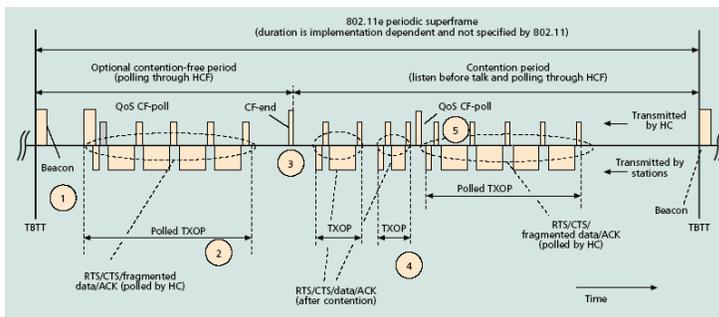
IEEE 802.11 Wireless LAN

- 802.11E
 - ◆ Acceso al medio en periodos de contención
 - ▶ Cuatro categorías de acceso (prioridades)



IEEE 802.11 Wireless LAN

- 802.11E
 - ◆ Acceso al medio controlado





FIN

R. Estepa 71 *Redes Industriales*