

Redes inalámbricas en entornos industriales

- ▷ IEEE 802.11 (WiFi)
- ▷ RFID
- ▷ IEEE 802.15-1 (Bluetooth)
- ▷ IEEE 802.15-4 (ZigBee)



Tecnologías inalámbricas

- **Ventajas**
 - Despliegue rápido y en lugares donde el cable no puede llegar
 - Coste decreciente
 - ▶ Mercado en masa
 - Flexible y reconfigurable
 - Movilidad
- **Inconvenientes**
 - Más lento que el cable
 - Alcance variable
- **Incertidumbres:**
 - Requisitos de tiempo real
 - Robustez y seguridad

Algo de nomenclatura

- IEEE 802.11:
 - Conjunto de normas del IEEE que definen las capas física y de acceso al medio de una red inalámbrica que usa las bandas de 2.4 ó 5.2 GHz para proporcionar tasas de 11 a 540 Mb/s
 - Engloba a
 - ▶ 802.11
 - ▶ 802.11a
 - ▶ 802.11b
 - ▶ 802.11g
- WiFi Alliance:
 - Asociación de fabricantes de equipos 802.11 creada para resolver problemas de interoperabilidad
- WiFi:
 - Marca registrada de la WiFi Alliance de que indica que un dispositivo es conforme a la norma

Aplicaciones industriales

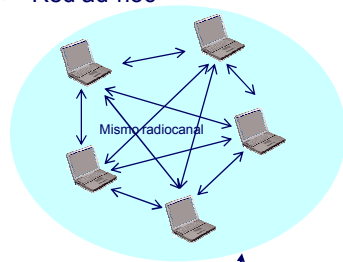
- Sustitución de sistemas cableados cuando se requiera
 - movilidad
 - rapidez de despliegue
 - acceso en situaciones difíciles

Capa física

- Variedad de técnicas
- Generalidades
 - 802.11b
 - ▶ 13 canales en 2.4 GHz
 - ▶ Modulación DSSS
 - ▶ Tasa: 11 Mb/s (5)
 - 802.11g
 - ▶ Misma banda: Compatible con 802.11b
 - ▶ Modulación OFDM
 - ▶ Tasa: 54 Mb/s (20-25)
 - 802.11a
 - ▶ 12 canales en 5GHz
 - ▶ 54 Mb/s (27)
 - ▶ OFDM
 - Otros (FHSS, infrarrojos...)

Modos de funcionamiento

- Red ad-hoc



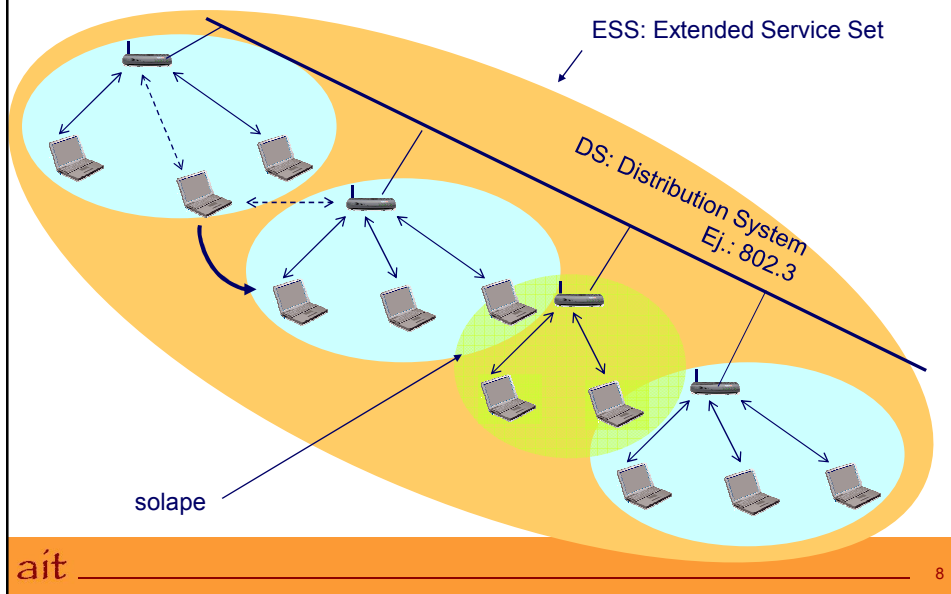
BSS: Basic Service Set

- Red infraestructura



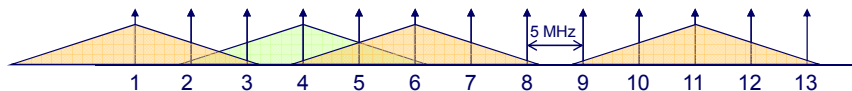
- Punto de acceso: controla la asociación de los terminales a la red

Modos de funcionamiento (II)



Capa física 802.11b

- Banda ISM (2.4 GHz)
 - dividida en 14 canales con 5 MHz entre portadoras
 - canales permitidos dependientes del país
 - ▶ CNAF UN-51: 1-13 en España
- Modulación: DSSS, QPSK
 - ancho de banda aprox: 22 MHz
 - canales no alejados se solapan
 - ▶ restricciones en la planificación de puntos de acceso radio
 - escoger canales sin solape
 - ni muy lejos, ni muy cerca



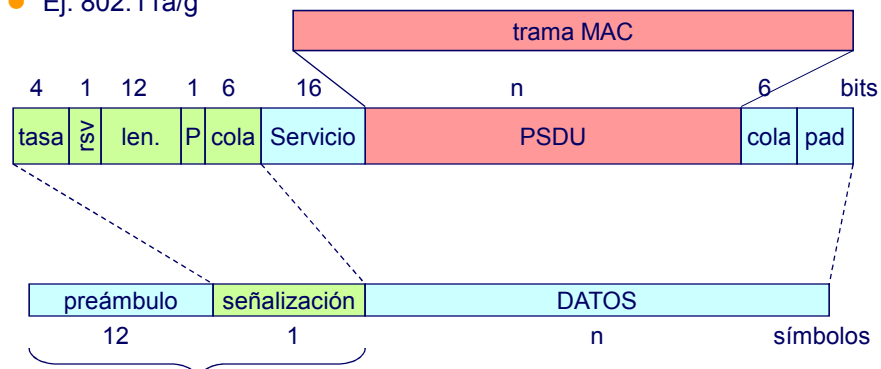
- Tasas: 11 Mb/s (1, 2, 5.5)

Capa física 802.11a/g

- Modulación: DSSS, OFDM
- 802.11g:
 - 2.4 GHz, misma que 802.11b
 - ▶ Usa 3 canales no solapados
 - Retrocede a DSSS, QPSK por compatibilidad con 802.11b
 - Tasa: 54 Mb/s (11-6)
- 802.11a:
 - 5.2 GHz, menor alcance, menos interferencias, más capacidad
 - ▶ 3 bandas de 100MHz, se usan las dos primeras (200 MHz)
 - 8 canales de 200 MHz sin solapes
 - ▶ Canalización 25 MHz entre portadoras
 - ▶ Por canal: 48 subportadoras (+4 pilotos) en 20MHz (312.5 KHz por canal)
 - ▶ BPSK, QPSK, 16QAM ó 64 QAM
 - Tasa: 54 Mb/s (6, 12, 24)
 - ▶ Función del número de subportadoras, modulación, distancia, antena

Trama de capa física

- Funciones
 - Sincronización del receptor
 - Indicación de la modulación usada en la parte de datos
- Formato dependiente de la capa física
- Ej: 802.11a/g



MAC

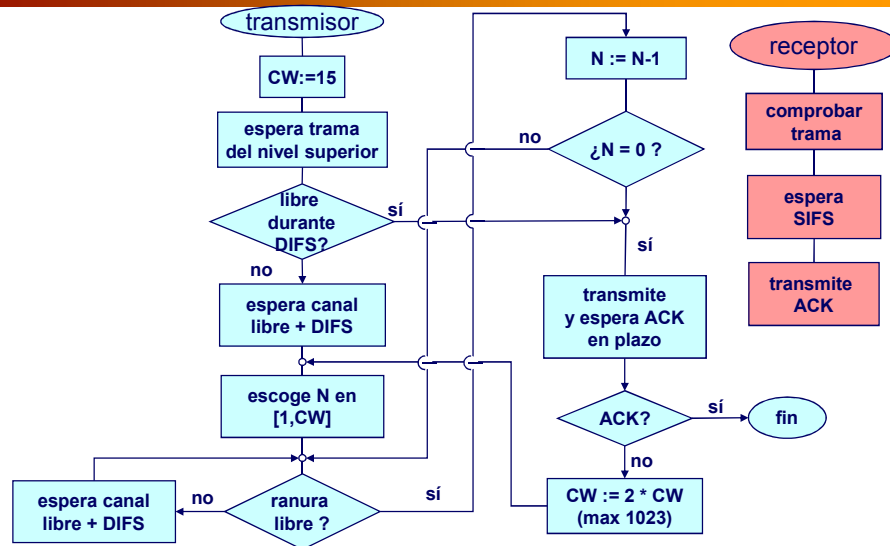
- Común a todas
- Coordina el acceso al canal
 - Las tasas anteriores son “a repartir”
- Dos mecanismos:
 - DCF: Con contienda, para tráfico de datos
 - ▶ Ad-hoc o infraestructura
 - ▶ Con o sin reserva
 - PCF: Sin contienda, coexistiendo con contienda, para otro tráfico
 - ▶ Sólo infraestructura: coordinado por el punto de acceso mediante balizas
 - ▶ Estructura de supertrama entre balizas
 - Parte con contienda
 - Parte con sondeo
 - ▶ No hay captura del canal (non-preemptive)
 - ▶ No se usa

Mecanismo de acceso al medio

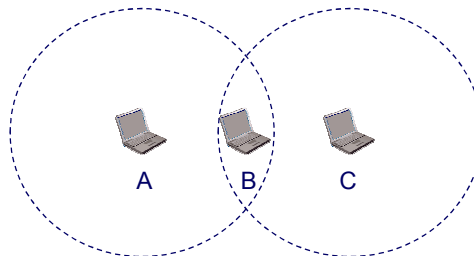
- CSMA/CD imposible
 - Las colisiones y las transmisiones de terminales lejanos pueden confundirse con un nivel alto de ruido
 - Necesidad de asentimiento explícito
- Dos variantes del mecanismo de contienda
 - CSMA/CA con asentimiento explícito y retroceso exponencial
 - CSMA/CA con reserva
- Intervalos entre tramas de tres tamaños
 - “Interframe space”
 - SIFS (S: Short)
 - PIFS (P: Point Coordination Function),
 - DIFS (D: Distributed Coordination Function)
 - “Ranura de contienda”: otro intervalo
- Los valores concretos dependen de la capa física
 - También los de la ventana de retroceso

SIFS < PIFS < DIFS

CSMA/CA con asentimiento explícito



El problema de la estación oculta

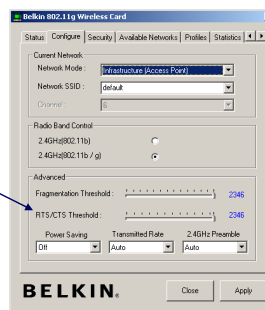
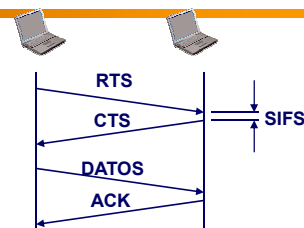


- A y C desean enviar a B
- A y C escuchan el canal y lo detectan libre
- La colisión se produce en B
- A y C **nunca** detectan ocupación

SOLUCIÓN: CSMA/CA con reserva

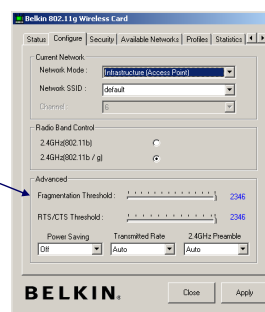
CSMA/CA con reserva

- A 4 bandas
 - Antes de enviar la trama, el transmisor avisa: RTS
 - El receptor contesta: CTS
 - Nadie, salvo el transmisor, envía después
- La colisión, de darse, afectaría a RTS
 - Más corta que la trama de datos
- Opción del transmisor
 - Para todas las tramas
 - Para ninguna trama
 - Para tramas mayores que un umbral
- Poco usado

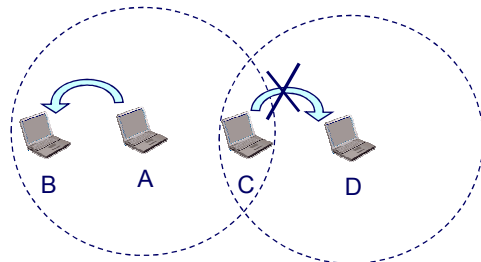


Soporte de fragmentación

- Se permite que el MAC fragmente las tramas largas
 - Menos tiempo perdido en caso de colisión
 - Retroceso sólo en el primer fragmento
 - Tamaño fragmentable configurable

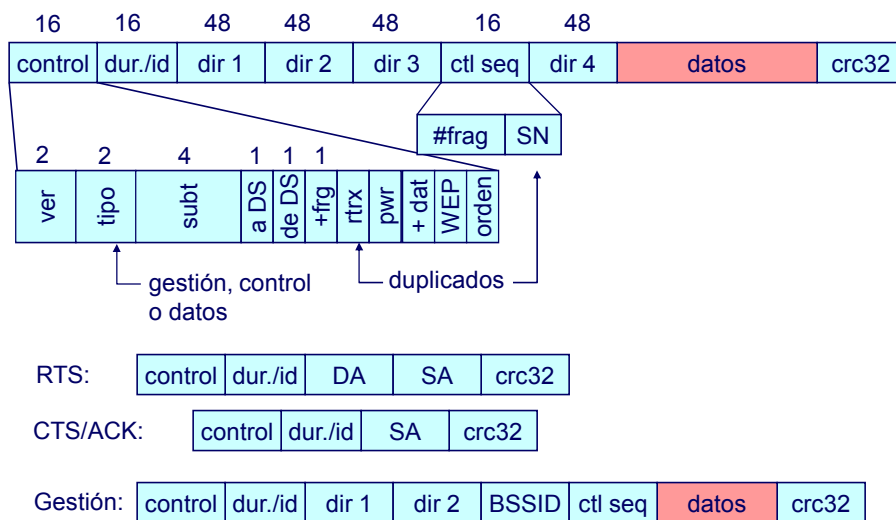


El problema de la estación expuesta



- A envía a B
- C escucha el canal y lo detecta ocupado
- C espera aunque su transmisión no causaría ningún problema a B

Capa MAC: formato de trama



Direcciones

scenario	to DS	from DS	address 1	address 2	address 3	address 4
ad-hoc network	0	0	DA	SA	BSSID	-
infrastructure network, from AP	0	1	DA	BSSID	SA	-
infrastructure network, to AP	1	0	BSSID	SA	DA	-
infrastructure network, within DS	1	1	RA	TA	DA	SA

DS: Distribution System

AP: Access Point

DA: Destination Address

SA: Source Address

BSSID: Basic Service Set Identifier

RA: Receiver Address

TA: Transmitter Address

Coordinación del enlace

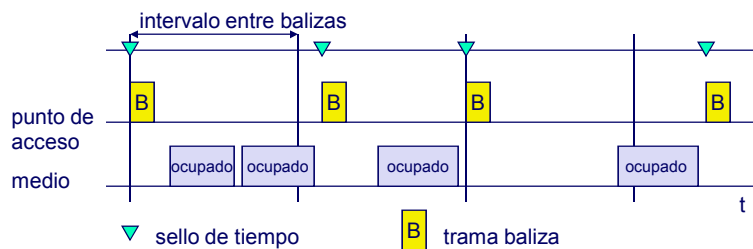
- **Modo Ad-hoc**
 - Uno de los terminales puede configurarse para iniciar y coordinar la red
- **Modo Infraestructura**
 - El punto de acceso coordina el enlace
 - **Funciones**
 - ▶ Autenticación/Des-autenticación
 - ▶ Asociación/Disociación/Reasociación
 - ▶ Privacidad
 - ▶ Gestión de potencia en las estaciones

Gestión del MAC

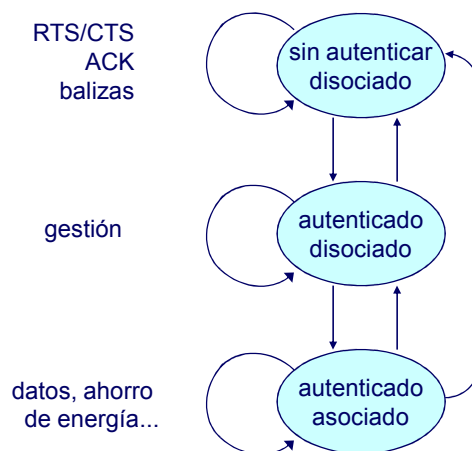
- Exploración de canales
 - Obtención de los canales en los que hay actividad
 - ▶ BSSID, SSID
- Ingreso
 - Sincronización, WEP
- Asociación
 - El terminal se “conecta” a una red
- Reasociación
 - Gestión de movilidad (“roaming”) en una ESS
- Disociación
 - Abandono de la red
- Gestión de potencia

Sincronización

- Mediante tramas de balizamiento enviadas por el punto de acceso de forma casi periodica

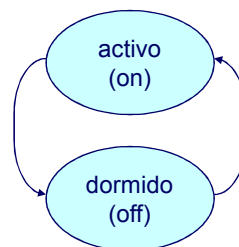


Estados: Asociación



Gestión de potencia

- Ad-hoc
 - Envío a riesgo y ventura.
- Infraestructura: El punto de acceso...
 - Almacena las tramas del terminal dormido
 - Anuncia periódicamente la lista de destinatarios
 - El terminal despierta periódicamente y, si procede, sondea al punto de acceso
 - ▶ campos "mas datos" y "gestión de potencia"



Seguridad de acceso/privacidad

- Ninguno
- Sin anuncios
- Autenticación de MAC
 - sin privacidad
- WEP
 - Con privacidad
 - Parte de la norma
 - Clave compartida entre terminales y punto de acceso
 - Reventado, además.
- WPA
 - Con privacidad
 - Cifrado y autenticación
- Otras

Aspectos en estudio (IEEE 802.11[a-w])

- www.ieee802.org/11
 - Integración con puentes transparentes
 - Coexistencia en la banda ISM
 - Soporte de QoS
 - Comunicación entre puntos de acceso
 - Mecanismos de Control de potencia
 - Seguridad
 - Tasas superiores
 - Comunicación entre vehículos
 - Mecanismos de traspaso (VoIP sobre WiFi) entre BSS
 - Antenas direccionales (estación expuesta)
- Evolución (presente: 802.11n)
 - QoS (802.11e), transmisión MIMO, PSM, ...

RFID: Identificación por RF



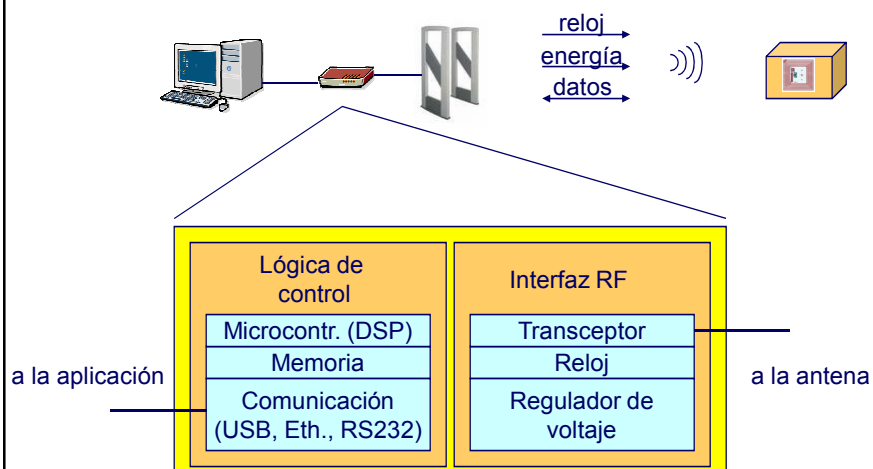
Definición

- RFID:
 - Sistema de identificación por radiofrecuencia
- Elementos
 - Dispositivos móviles o transpondedores (etiquetas)
 - Lector o interrogador
 - ▶ fijo o móvil
 - Aplicación
 - ▶ integrada o no en el lector

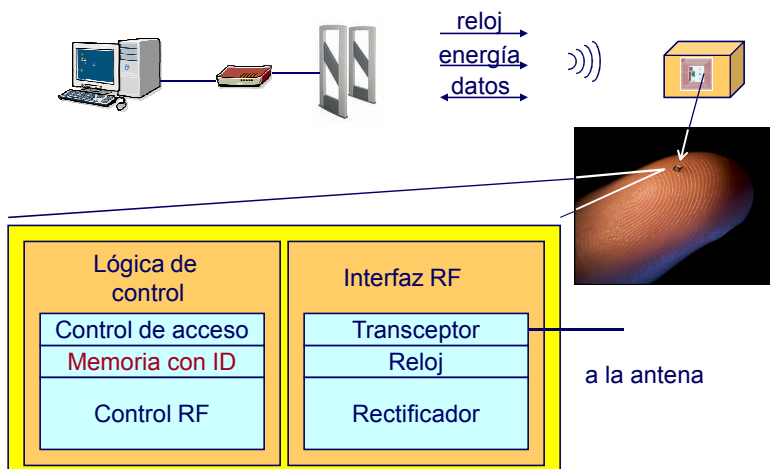
Aplicaciones

- Aplicaciones
 - Organización de cadenas de montaje, trazabilidad de alimentos y seguimiento de otros productos, gestión de documentos, seguridad, domótica, control de acceso, identificación de paquetes, equipajes, animales, mercancías, control de caja, gestión de bibliotecas, gestión de historiales médicos, sistemas de pago automático, inmovilización de vehículos, ...
- Ventajas frente a los códigos de barras
 - No requieren lectores ópticos
 - No requieren intervención manual
 - No requieren visión directa
 - Pueden almacenar información en la etiqueta

Lector

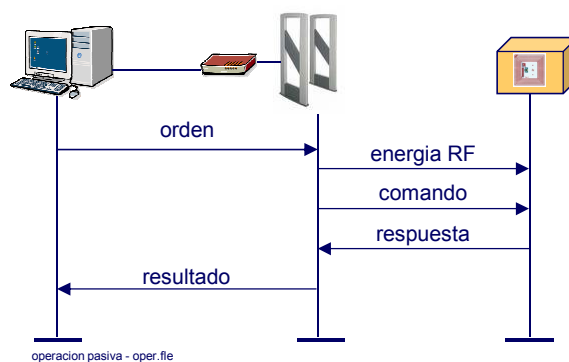


Etiquetas (pasivas)



Opcionalmente: sensor, memoria grabable...

Operación básica



Pero...

- No hay un “sistema típico”
 - Muy dependiente del uso concreto
- Diferencias
 - Alimentación de las etiquetas
 - Formato de las etiquetas
 - Modo de acceso a la etiqueta
 - Frecuencia de trabajo
 - Mecanismo de acoplamiento
 - Distancia
 - Modulación y transmisión
 - Entramado
 - Capacidad de almacenamiento de información
 - Coordinación de uso del canal (colisiones)
 - ...

Tipos de etiqueta por alimentación

- Pasivas
 - Sin alimentación propia ni transmisor
 - Usan la energía de RF del lector
 - Menor coste, menor alcance (5-10 m)
 - Vida útil no limitada por la alimentación
- Activas
 - Con alimentación propia (pilas, fotovoltaica...)
 - Pueden incorporar elementos adicionales (sensores)
 - Menor ciclo de vida, mayor coste, funcionalidad y alcance (100 m)
- Semi-pasivos
 - Alimentación propia sólo para autoconsumo
 - Para transmitir, como los pasivos

...por formato

- Discos atornillables:
 - etiqueta insertada en resina epoxi, atornillable a cualquier materias
- Alojamiento de cristal:
 - inyectables para identificación de animales
- Alojamiento de plástico:
 - aplicaciones con demanda mecánica
 - crotales
- Llaves y llaveros
 - integrada en la llave, para control de arranque en automóviles
- Tarjetas inteligentes (sin contactos)
- Etiquetas adhesivas
- Pulseras

...por acceso

- Sólo lectura
 - Número de serie grabado en fábrica
- Lectura/Escritura
 - Permite al lector modificar los datos almacenados en la etiqueta

...por frecuencias

- 135 KHz y 13.56 MHz (MF, HF)
 - Corto alcance, bajas tasas
 - Más penetrante (agua, tejidos)
 - Ni atraviesa ni rodea metales
- 860/930 MHz (UHF)
 - Mayores tasas y alcance
 - Rodea metales
 - No penetrante en agua
- 2.45 GHz
 - Alta tasa y alcance
 - Rodea metales, no penetra en agua
- 5.7 GHz
 - Mayores tasas, menos interferencias

... por acoplamiento

- Inductivo
 - Corto alcance (<1m), para 135 KHz, 13.56 MHz
 - Obtención de energía
 - ▶ Lector: genera un campo electromagnético
 - ▶ Etiqueta: se induce una corriente en una antena tipo bobina
 - Transmisión desde la etiqueta:
 - ▶ La presencia de la etiqueta se detecta por la caída de voltaje en el lector
 - ▶ Si la etiqueta conecta una resistencia variable a la antena:
 - modulación AM recibida en el lector
- Por retrodispersión (mismo principio que el radar)
 - Alcance mayor (>1m), para frecuencias superiores
 - Obtención de energía
 - ▶ Como en el inductivo
 - Transmisión
 - ▶ La onda incidente se refleja parcialmente en la etiqueta
 - ▶ La reflexión puede modificarse variando una carga conectada a la antena
 - modulación por retrodispersión

... por coordinación de uso del canal

- Funciones de MAC
- Necesario si se pretende más de una etiqueta en el rango del lector
- Resolución de colisiones
 - Lector
 - ▶ TDM
 - ▶ FDM
 - Etiquetas
 - ▶ Contienda simple (Aloha)
 - ▶ Contienda ranurada
 - ▶ Árboles binarios

Normalización: ISO/IEC

- ISO/IEC
 - Interfaz aire
 - ▶ ISO/IEC 18000-1: Generalidades del interfaz aire
 - ▶ ISO/IEC 18000-2: Interfaz aire para 135 KHz
 - ▶ ISO/IEC 18000-3: Idem 13.56 MHz
 - ▶ ISO/IEC 18000-4: Idem 2.5 GHz
 - ▶ ISO/IEC 18000-5: Idem 5.8 GHz
 - ▶ ISO/IEC 18000-6: Idem 860 MHz a 930 MHz
 - ▶ ISO/IEC 18000-7: Idem 433.92 MHz
 - De aplicaciones
 - ▶ Identificación de animales (ISO 11784, 11785 y 14223)
 - ▶ Tarjetas inteligentes (ISO 10536, 14443, 15693)

Aspectos en estudio

- Capa física
- Mecanismos MAC
 - para incrementar la velocidad de lectura
 - para resolución de colisiones
- Aspectos de seguridad
 - Inventario no autorizado
 - Modificación, eliminación o adición de una etiqueta a un objeto
 - Monitorización del diálogo
 - Clonación de etiquetas
 - Seguimiento no autorizado de etiquetas
 - Perturbación del diálogo
- Aspectos sociales

IEEE 802.15.1 Bluetooth



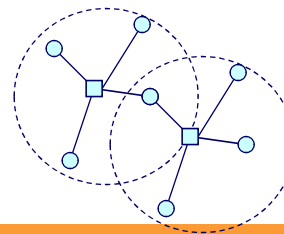
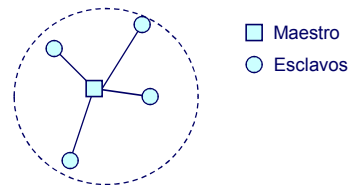
Generalidades

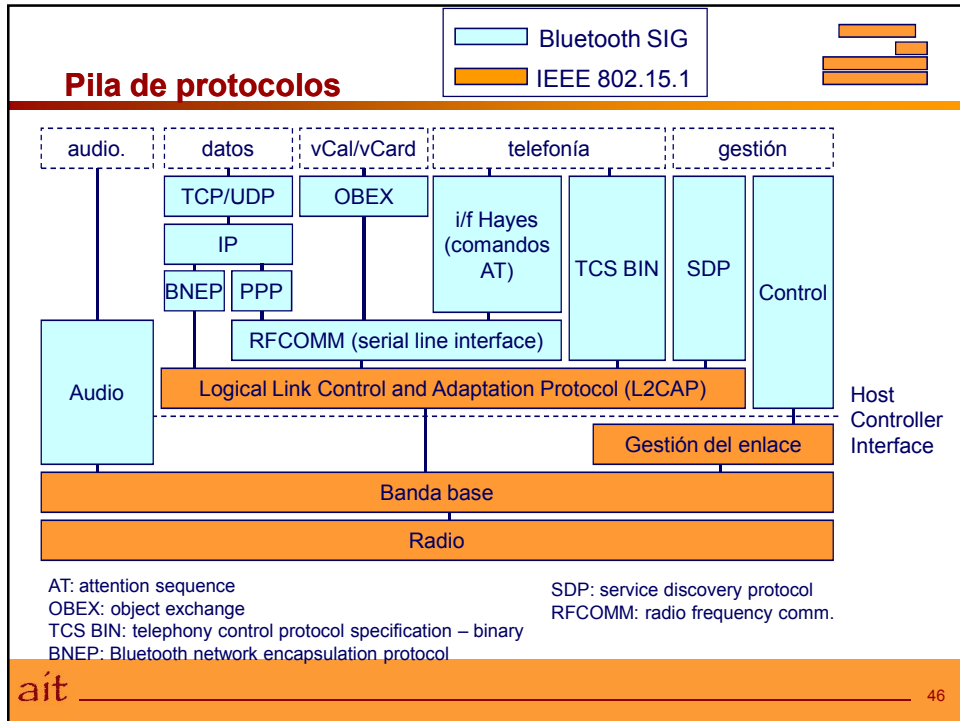
- Orígenes
 - Bluetooth: Red radio de corto alcance y media tasa en sustitución de sistemas cableados
 - ▶ periféricos, PDA, teléfonos móviles, etc
- IEEE 802.15.1:
 - Adopta las capas física y MAC de Bluetooth
- Bluetooth SIG:
 - Define capas superiores y perfiles de aplicación
- Interés industrial
 - Sustituto de las conexiones serie (RS232,RS422)
 - Sensores y actuadores sin cableado
 - Soporte de aplicaciones tiempo real

Configuración

la comunicación siempre es maestro-esclavo

- Piconet:
 - Red Ad-hoc, dos tipos de dispositivo
 - ▶ Dispositivo maestro:
 - Suministra el reloj y fija la secuencia de saltos (prefijada en función de su dirección)
 - Se comunica con hasta 7 esclavos simultáneos
 - Puede tener hasta 214 "aparcados"
 - ▶ Dispositivos esclavos:
 - Se "sincroniza" con el maestro para participar
- Scatternet
 - Piconet conectadas mediante un dispositivo común
 - ▶ maestro o esclavo, o maestro y esclavo
 - El común oscila entre ambas piconets





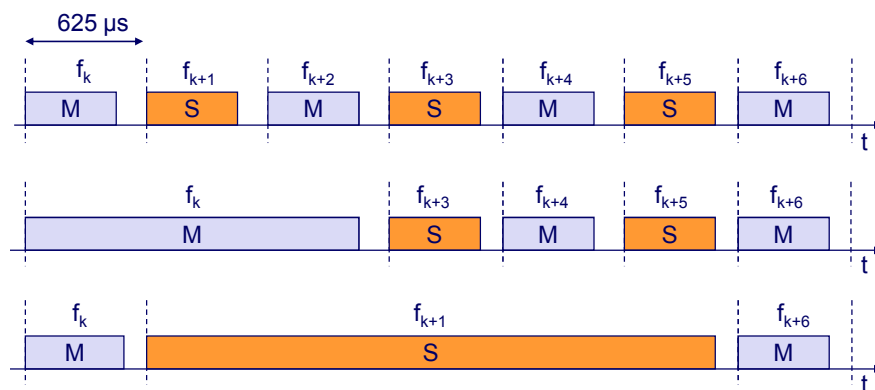
Capa Radio: Generalidades

Topología	Hasta 7 enlaces p.a.p simultáneos
Modulación	GFSK
Ancho de banda	220 kHz (-3 dB), 1 MHz (-20 dB)
Banda	2.4 GHz ISM
RF Portadoras	79 (23 en algunos lugares)
Separación	1 MHz
Método acceso	FHSS-TDD-TDMA
Frecuencia salto	1600 saltos/s
Secuencia salto	Predefinida. Adaptativa en v1.2
Rbin capa física	1 Mb/s (3 Mb/s en v2.0)

aít 47

Capa Radio. Duplexión

- 3 patrones, sincronizadas con el patrón de saltos



Capa Radio. Consumo

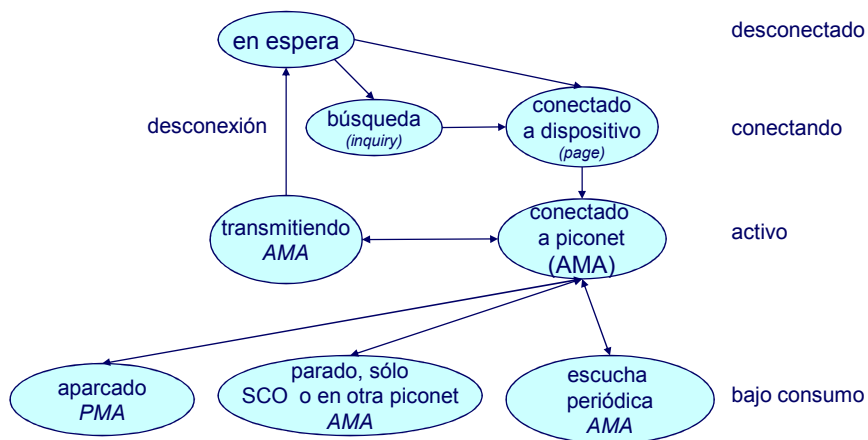
Clase	Consumo	Cobertura	Uso
Clase 1	100 mW	~100 m	industrial
Clase 2	2.5 mW	~10 m	móviles
Clase 3	1 mW	~10 cm	periféricos

Capa Banda base: Tipos de enlace



- **Asíncrono orientado o no a conexión (ACL)**
 - enlace punto-multipunto entre maestro y todos los esclavos de la piconet
 - para datos:
 - ▶ sin garantía de capacidad,
 - ▶ control de errores: FEC opcional/ARQ de aplicación
 - los esclavos sólo pueden responder
- **Síncrono orientado a conexión (SCO)**
 - con capacidad fija bidireccional simétrica reservada entre el maestro y cada uno de no más de 3 esclavos de la piconet
 - la capacidad se reserva usando ACL
 - para tráfico en tiempo real
 - ▶ FEC o nada

Capa Banda base. Estados del dispositivo



Tasas máximas

ACL	Type	Payload Header [oct.]	User Payload [oct.]	FEC	CRC	Symmetric max. Rate [kbit/s]	Asymmetric max. Rate [kbit/s]	Forward	Reverse
1 slot	DM1	1	0-17	2/3	yes	108.8	108.8	108.8	
	DH1	1	0-27	no	yes	172.8	172.8	172.8	
3 slot	DM3	2	0-121	2/3	yes	258.1	387.2	54.4	
	DH3	2	0-183	no	yes	390.4	585.6	86.4	
5 slot	DM5	2	0-224	2/3	yes	286.7	477.8	36.3	
	DH5	2	0-339	no	yes	433.9	723.2	57.6	
SCO	AUX1	1	0-29	no	no	185.6	185.6	185.6	
	HV1	na	10	1/3	no	64.0			
	HV2	na	20	2/3	no	64.0			
	HV3	na	30	no	no	64.0			
	DV	1 D	10+(0-9) D	2/3 D	yes D	64.0+57.6 D			

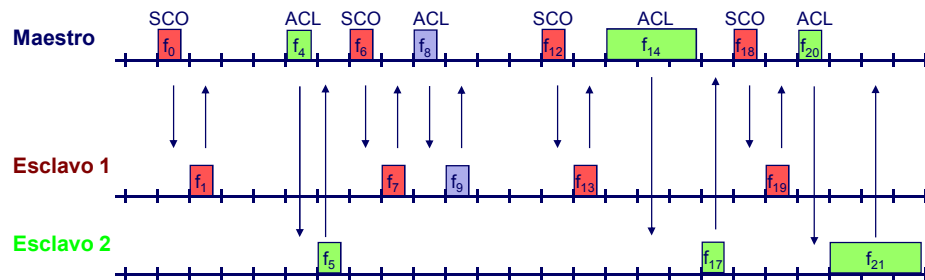
Data Medium/High rate, High-quality Voice, Data and Voice

Gestión del enlace

- Establecimiento y liberación de enlace SCO
- Autenticación y seguridad
- Supervisión
- Gestión de potencia

Capa L2CAP

- Enlace de datos.
- Coordinación por sondeo



Capa L2CAP

- Proporciona
 - Coordinación en el canal por sondeo
 - Control de flujo y QoS
 - Señalización
 - Servicios
 - ▶ CO
 - ▶ CL
 - Canales lógicos
 - ▶ Multiplexión del enlace para las capas superiores
 - Segmentación y reensamblado

Capas superiores: Bluetooth SIG

- **Uso dependiente del perfil**
 - de Acceso Genérico, de Aplicación de descubrimiento de servicios, de Telefonía sin cables, de Puerto Serie, de dispositivo manos libres, de acceso red con marcado, de fax, de intercambio de objetos genérico, de impresión, de control remoto A/V, de sincronización....
- **Funciones:**
 - RCOMM: Soporte de comunicación punto a punto tipo cable serie
 - TCP/UDP/IP/PPP: Soporte de aplicaciones de datos
 - OBEX: Sincronización de objetos
 - TCS: Telefonía, incluyendo soporte de llamadas de datos y procedimientos de movilidad
 - SDP: Descubrimiento de dispositivos y aplicaciones

Debilidades para aplicaciones industriales

- **Pobre rendimiento para tiempo real**
 - Perfiles no optimizados
- **Consumo de energía elevado**
- **Faltan puntos de acceso**
 - Tan autoconfigurable que no informa de situaciones de interés
 - Tan automático que la aplicación carece de control sobre la pila
- **Desvanecimiento multitrayecto si no hay visión directa**
- **Limitado número de esclavos activos**
- **No constituye una red**

Aspectos en estudio

- Coexistencia con 802.11
 - en principio Bluetooth puede ser bastante perturbador para 802.11
 - ▶ No "colabora": no respeta DIFS, retrocesos...
- Incremento de tasas
 - migración a otras bandas
- Mecanismos convenientes de formación de scatternets
 - selección adecuada de pasarelas

802.15.4 ZigBee



Nomenclatura

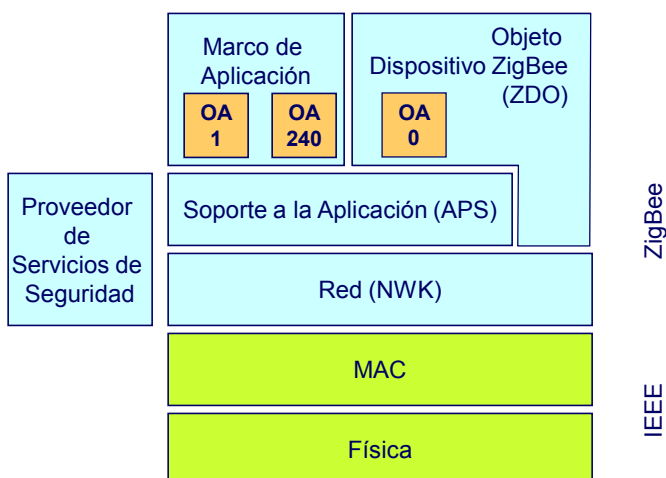
- IEEE 802.15.4
 - Capas física y MAC de una red local de muy bajo consumo, bajo coste y baja tasa en bandas libres
 - Buenas características para sensores y actuadores
 - ▶ Aplicaciones en domótica, control industrial, sensores médicos, control remoto, telemedida, climatización, detección de incendios, control de acceso, juguetes interactivos, RFID activo, etc

- ZigBee Alliance
 - Alianza de fabricantes para evitar problemas de interoperabilidad
 - ▶ Afiliación obligatoria para uso de sus normas en desarrollos comerciales
 - Además define capas superiores al MAC
 - ▶ Aspectos de red y seguridad
 - ▶ Perfiles de aplicación
 - ▶ Conformidad: ajuste a 802.15.4 y a la pila ZigBee
 - ▶ Certificación: Conformidad y definición del perfil de aplicación

Perfiles

- Motivación:
 - La comunicación entre dispositivos requiere un acuerdo sobre los mensajes a intercambiar y su significado
- Perfil:
 - Un identificador
 - Un conjunto de descripciones de dispositivos
 - Un conjunto de agrupaciones (*cluster*) de atributos (no de atributos)
- Perfiles públicos:
 - Definidos: Domótica, Ahorro energético
 - Identificados: Edificios inteligentes, Telecomunicaciones, Sanitario, Juguetes

Arquitectura



Modelo de aplicación



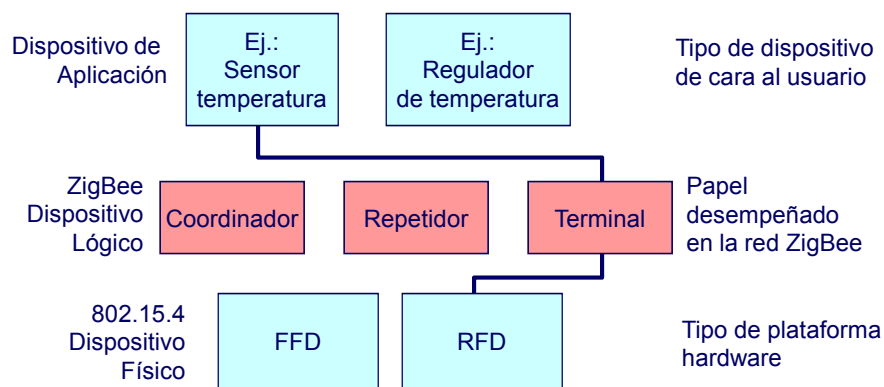
- ¿Cómo asegurar que el sensor de temperatura se comunice con el regulador?
- Conceptos
 - Objeto de Aplicación: modelo de un dispositivo
 - Comunicación entre OA: intercambio de atributos y grupos de atributos
 - ▶ Enviados directamente al/a los OA o al coordinador, que los reenvía
 - Puerto (Endpoint): extensión lógica direccionable (1-240) que permite ubicar varias aplicaciones (Objetos de Aplicación) en un dispositivo ZigBee (no caben más de 240)
 - Perfil: uno o más atributos o grupos de atributos y acciones que describen a los dispositivos que forman un espacio de aplicación.
 - ▶ Un Perfil por Puerto
 - ▶ Si hace público (no es obligatorio), permite **certificar** el producto
 - Ligadura: mecanismo que asegura que el intercambio de atributos sea interoperable



Tipos de dispositivos

- Dispositivos físicos
 - FFD: De funcionalidad completa
 - ▶ Al menos uno actúa de Coordinador
 - Es único en la red, y la inicia y controla, sea cual sea la topología
 - Almacena las claves
 - Comunica con el exterior
 - ▶ El resto actúan de repetidores
 - Dispositivo capaz de reenviar tráfico
 - RFD: De funcionalidad reducida
 - ▶ Terminal: Sólo se comunica con su repetidor o con su coordinador
 - Sensores, actuadores
 - ▶ Menor funcionalidad, consumo, memoria y coste
- Dispositivos lógicos:
 - coordinador
 - repetidores
 - terminales

Modelo para los distintos tipos de dispositivo



Producto específico
Los perfiles pueden establecer requisitos

MAC: modos de funcionamiento

- Redes sin baliza
 - MAC CSMA/CA, con asentimientos positivos (como 802.11, con IFS=0)
 - Para sistemas con poca actividad y
 - ▶ terminales casi siempre dormidos
 - ▶ routers siempre activos
 - Sensores, detectores de movimiento, de rotura...
- Redes con baliza (beacon)
 - MAC con reserva, con control del coordinador
 - Capacidad garantizada y menor consumo
 - Estructura de supertrama con envío de tramas de balizamiento predeterminado cada 15ms - 4 min
 - ▶ El coordinador pasa a bajo consumo entre balizas

los dispositivos se identifican por direcciones IEEE de 60 bits (ocupan 64), o por direcciones de 16 bits una vez la red está configurada

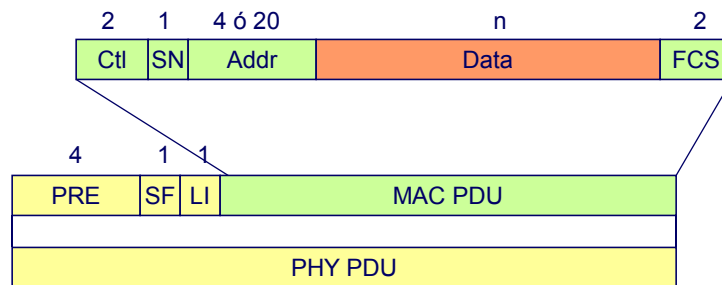
Tipos de tráfico típicos

- Muestreo periódico
 - Adecuado para sistemas con balizamiento.
 - ▶ El sensor muestrea periódicamente, espera la radiobaliza, transmite y pasa a bajo consumo
- Datos intermitentes
 - Sistemas sin balizamiento
 - ▶ Sensor ante estímulos.
 - Sistemas sin conexión
 - ▶ El sensor sólo despierta para transmitir el estímulo
- Datos con baja latencia
 - Sistemas con balizamiento y capacidad garantizada

MAC: formato de trama

- 4 tipos de trama

- Datos
- Asentimiento
- Control del MAC
- Baliza



Topologías

- Estrella
 - Un coordinador y hasta N terminales (254 ó 64516)
- Árbol-rama
 - Permite gestión de potencia
 - Mayores retardos, pero mayor cobertura
- Malla
 - Coordinador y repetidores siempre activos
 - Encaminamiento AODV



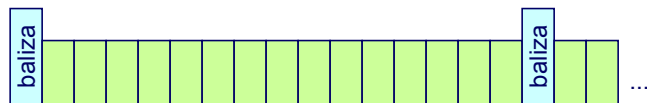
Física: generalidades

- Vanos
 - 10 - 75 m.
- Consumo:
 - 2 pilas AA para 6-24 meses. Transmisor típico 0dBm
- Bandas

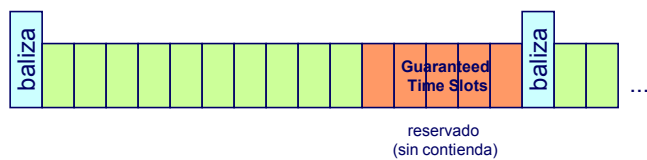
Físico	Banda	Canales	Modulación	Tasa
868/915 MHz (UE/EEUU)	868-870 MHz	0	DSSS, BPSK	20 Kb/s
	902-928 MHz	1-10	DSSS, BPSK	40 Kb/s
2.4 GHz	2.4-2.4835 GHz	11-26	DSSS, O-QPSK	250 Kb/s

Física: supertrama

- **Opcional**, formato definido por el coordinador
- Entre dos radiobalizas y dividida en 16 intervalos



- En cada intervalo se usa CSMA/CA ranurado
- En aplicaciones de baja latencia



ZigBee 1.0

- Redes ad-hoc autoconfigurables
 - Malladas, en estrella o en árbol-rama
 - Mecanismo de difusión fiable
 - Salvo estrella, redundancia topológica inherente
- Dispositivos lógicos
 - Coordinador, repetidor, terminal
- Aplicaciones
 - Descubrimiento de dispositivos y servicios
 - Servicio con asentimiento opcional
- Seguridad
 - Clave simétrica AES128
 - Cifrado en varias capas (enlace, red, aplicación)

Aspectos de seguridad

- Capas
 - Seguridad MAC
 - Seguridad de Red
 - Seguridad de Aplicación
- Modos de funcionamiento
 - Residencial
 - ▶ 1 clave de red, seguridad de aplicación usando esa clave
 - Comercial
 - ▶ 2 claves de red
 - ▶ claves de enlace para cada pareja de dispositivos en comunicación
 - ▶ una clave maestra permite el intercambio de claves
- Coordinador
 - Posee las claves maestras

ZigBee vs Bluetooth

	ZigBee	Bluetooth
Modulación	DSSS	FHSS
Volumen de código	28KB	250KB
Eficiencia en paquetes cortos	mayor	menor
Alcance	<70m	1-100 m
Tiempo de activación de terminal	0.030s	3 a 20 s
Consumo de energía	menor	mayor
Reemplazo/recarga de baterías	12-24 m	1-7 d
Eficiencia energética en la transmisión	x1000	x1

Aspectos en estudio

- Mecanismos de encaminamiento
- Mecanismos de control de potencia
- Mecanismos de agregación y control de implosión
- Aspectos de seguridad

Fabricantes

- Jennic JN5148
- Freescale MC13213
- Ember EM250
- Texas Instruments CC2430