
GUÍA DE ESTUDIO TEMA 5.

SISTEMAS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICOS

OBJETIVOS

- Plantear la problemática que presenta la propagación inalámbrica, las contramedidas que mitigan sus efectos en las comunicaciones, y las métricas que permiten evaluar las prestaciones de estas redes.
- Plantear el diseño de dichas redes a partir de una configuración general
- Ubicar estas redes en el contexto de las aplicaciones industriales y su impacto en los buses de campo.

EFECTOS de la PROPAGACIÓN

- La interacción de las señales electromagnéticas en el espacio libre ⇒ fenómenos de desvanecimiento, interferencia y distorsión.
- Hay que añadir los fenómenos causados por la movilidad (trayectoria, entorno geográfico, etc.).
- Todo esto se traduce en:
 - ❑ Reducción de la relación S/N en el receptor.
 - ❑ Aumento del BER.
 - ❑ Retardos en servicios de tiempo real

EFECTOS PERJUDICIALES

- **Pérdidas por distancia (cobertura):** la potencia de la señal en el receptor es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre emisor-receptor.
- **Pérdidas por configuración del terreno:** obstáculos que impiden la visión directa (LOS, *Line-of-Sight*) entre emisor y receptor \Rightarrow "desvanecimiento lento".
- **Pérdidas por multicamino (*multipath*):** la señal en el receptor es la suma de muchas señales procedentes del emisor como consecuencia de reflexiones. Las pérdidas son debidas a que dichas señales presentan diferencias de fase entre ellas y se produce una suma destructiva de señales en el receptor.
- **"Ampliación del retardo" (*delay spread*):** Cuando la señal recibida sufre atenuaciones diferentes a frecuencias distintas, los ecos introducen una dispersión temporal sobre la señal transmitida. Se relaciona con el concepto de *ancho de banda de coherencia del canal*.
- **"Ampliación Doppler" (*Doppler spread*):** en receptores móviles se produce una variación en el tiempo de propagación del canal de transmisión, como consecuencia del desplazamiento del terminal durante la comunicación. El efecto resultante es la aparición de desvanecimientos selectivos en el tiempo que distorsionan la señal recibida.
- **La dispersión frecuencial** consiste en la alteración del ancho de banda de la señal transmitida que produce ampliaciones o reducciones del mismo.
- **La duración temporal de la transmisión:** si la duración es corta, el canal es invariante en el tiempo. Se define un "*tiempo de coherencia*" del canal, durante el cual su comportamiento es invariante, y se cuantifica como el inverso de la "*máxima frecuencia Doppler*" que depende de la velocidad de desplazamiento del terminal móvil cuando éste se mueve en la misma dirección que la de propagación de la señal transmitida entre emisor y receptor.
- **Bloqueo del seguimiento frecuencial del canal en recepción:** efecto debido a la velocidad excesiva del móvil que conlleva desplazamientos espectrales (efecto Doppler).

REDUCCIÓN de los EFECTOS de PROPAGACIÓN

- Los equipos inalámbricos y móviles incorporan contramedidas para reducir los efectos mencionados:
 - **Codificación de fuente:** procedimientos de compresión de datos.
 - **Codificación de canal:** procedimientos de protección frente a errores de transmisión en el canal, aumentando la redundancia de la información.
 - **Entrelazado:** procedimiento basado en que para optimizar la codificación y decodificación de canal, los errores introducidos han de ser aleatorios. La información se reordena antes de ser transmitida y también en recepción (reordenación inversa) para dispersar los errores entre los datos correctos.
 - **Diversidad:** métodos de compensación por combinación de las distintas señales recibidas para recuperar una única señal menos sujeta a variaciones.
 - Espacial: dos o más antenas separadas. La más fácil y más usada
 - Temporal: la misma transmisión en tiempos separados.
 - Polarización: misma señal radiada con distinta polarización.
 - Angular: diagramas de radiación o haces direccionales distintos.
 - Frecuencial: emisión en diferentes bandas.

REDUCCIÓN de los EFECTOS de PROPAGACIÓN

- Control de potencia de emisión: procedimiento de regulación de potencia en los extremos de transmisión para garantizar la calidad de la comunicación en recepción.
 - Reducción del efecto "fiesta de cóctel".
 - Reducción del efecto "cerca-lejos".
 - En GSM se aplican controles de potencia independientes para los canales ascendente y descendente.

El control de potencia mejora la calidad de las comunicaciones, disminuye la interferencia total y en consecuencia incrementa la capacidad del sistema. Además, ahorra energía.

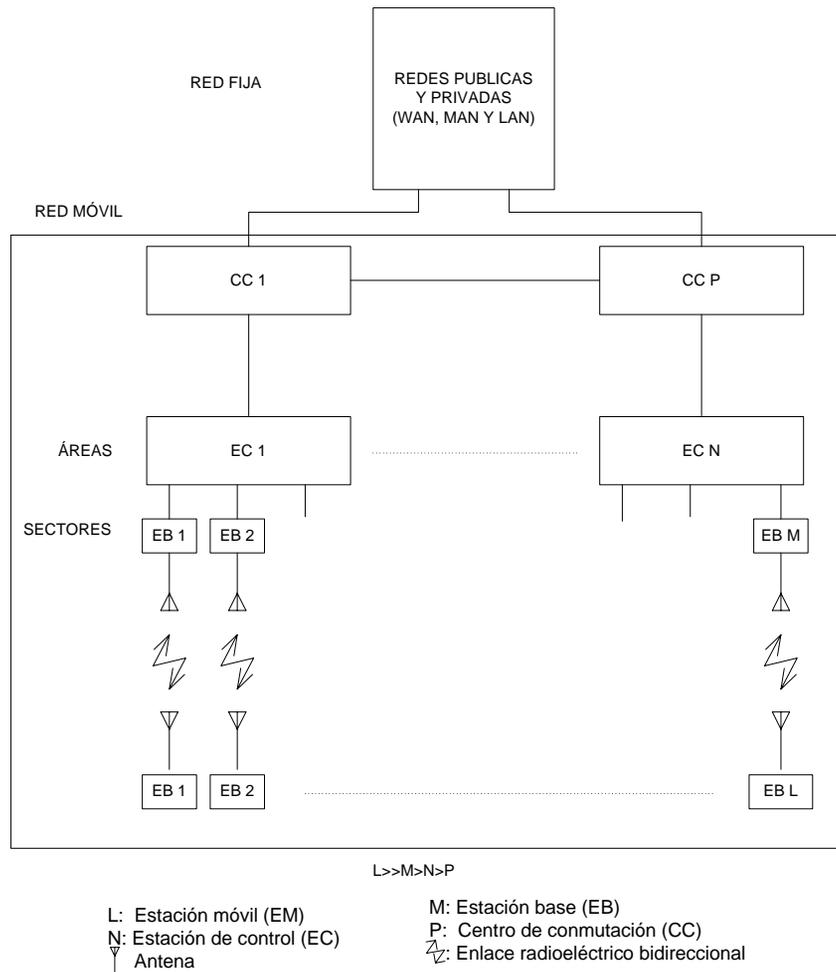
MÉTRICAS y FACTOR de MÉRITO

- **Densidad espectral de potencia (dBm/MHz):** cociente entre "Potencia radiada/Ancho de banda", y representa el reparto de la potencia emitida por todo el ancho de banda del canal.
- **Relación Portadora/Interferencia (CIR):** Relaciona en dBs la potencia de la señal portadora en el canal con la potencia de la señal interferente.
- **Energía por bit (J, Julios):** cantidad de energía (J) que ha de ser consumida para transmitir un bit de información.
- **Ancho de banda de información (bit/Hz):** indica la cantidad de bits útiles que pueden ser transmitidos cuando se usa 1 Hz del ancho de banda.
- **Eficiencia espectral (bit/s/Hz):** relación entre la velocidad de información en b/s y el ancho de banda necesario en Hz.
- **Capacidad espacial ($C_s \equiv \text{bps/m}^2$):** en comunicaciones móviles representa la tasa de datos de celdas agregadas por unidad de superficie. Cuanto más alta, más posibilidad de aumentar el número de terminales operando simultáneamente en la misma superficie.

MÉTRICAS y FACTOR de MÉRITO

- **Potencia consumida por la batería** ($P_{dc} \equiv$ Watos): Cuanto menor sea, más autonomía tiene el terminal.
- **Coste** ($P\text{€} \equiv$ Euros)
- **Tamaño** o factor de forma del terminal ($V \equiv m^3$): en sistemas portátiles la facilidad de uso es inversa al volumen y peso asociados.
- **Factor de mérito (M)**
$$M = C_s / (P_{dc} \cdot P\text{€} \cdot V)$$
- **Calidad de servicio** (QoS, *Quality of Service*): conjunto de características cuantitativas y cualitativas necesarias para satisfacer la funcionalidad requerida en una comunicación concreta. Se definen clases de servicio a partir de los conceptos de temporización entre emisor y receptor, la velocidad (bps) y el modo de conexión (conmutado/datagrama).
 - Clase 1: relacionada, constante y conmutado
 - Clase 2: relacionada, variable y conmutado
 - Clase 3: no relacionada, variable y conmutado
 - Clase 4: no relacionada, variable y datagrama

DISEÑO REDES INALÁMBRICAS Y MÓVILES



- **Estaciones móviles:** equipos que tienen la función de suministrar el servicio concreto a los usuarios en el lugar, instante y formato adecuados.
- **Estaciones base:** se encargan de mantener el enlace radioeléctrico entre la estación móvil y el centro de control del servicio durante la comunicación.
- **Estaciones de control:** realizan las funciones de gestión y mantenimiento del servicio: conmutación entre EB y localización de EM fuera de su sector habitual.
- **Centros de conmutación:** permiten la conexión entre las redes públicas y privadas (con la red de comunicaciones móviles, así como la interconexión entre EC localizadas en las distintas áreas geográficas de la red móvil.

PLANIFICACIÓN y DIMENSIONAMIENTO

■ Proceso de diseño secuencial e iterativo.

1. Previsión de la demanda y estimación de la situación de los emplazamientos de las estaciones base: cálculo de las áreas de cobertura por estación base; estimación del tráfico ofrecido por célula y cálculo del número de portadoras necesarias por sector y estación base.
2. Estimación de la movilidad de los usuarios y cálculo aproximado del tránsito entre células de los potenciales terminales móviles.
3. Dimensionamiento de las áreas de localización: con minimización de la carga de señalización por actualizaciones de posición en refinamientos sucesivos de la solución.
4. Dimensionamiento de los canales de señalización.
5. Dimensionamiento en número y ubicación del resto de los equipos de la red celular.
6. Diseño de la topología de la red
7. Diseño de la red de interconexión con otras redes fijas y móviles

EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

■ Objetivos

- ❑ Alcanzar las mismas prestaciones que las redes cableadas en términos de, velocidad (bps), acceso a redes IP, y calidad de servicio (QoS).
- ❑ Cobertura universal, bajo coste, bajo consumo, mínima infraestructura, conexión ubicua independiente de la tecnología, aplicaciones ilimitadas.

■ Sistemas MIMO

- ❑ Utiliza múltiples antenas (más de dos por extremo) tanto para recibir como para transmitir.
- ❑ Las tramas de datos se separan en el receptor mediante algoritmos que se basan en estimaciones de todos los canales entre el emisor y el receptor
- ✦ Multiplica la velocidad de transmisión por tener más antenas y aumentar la cobertura.

■ Sistemas de radio definido por programación (SDR)

- ❑ Proporcionan un control programado de una variedad de técnicas de modulación, operaciones en banda ancha o estrecha, contramedidas para asegurar las comunicaciones (control de potencia, entrelazado, codificación de errores, etc.), seguridad de la información y requerimientos de formas de onda.

WLAN. Redes de área local móviles

■ Medio físico:

- Radiofrecuencia (RF) y microondas: 300 MHz a 300 GHz
- Infrarrojos (IR): 800 nm a 900 nm

■ Topología

- Permanente: con puntos de acceso a otras LAN. Edificios históricos; entornos peligrosos o con muchas personas en movimiento.
- Provisional (*Ad hoc*): sin puntos de acceso a otras LAN
 - Semipermanente (meses)
 - Temporal (días u horas)

■ Encaminamiento

- RF y microondas (difusión)
- Infrarrojo (IR)
 - IR directo (DBIR)
 - IR difuso (DFIR)
 - Totalmente difuso
 - Parcialmente difuso (QD)

■ Multiplexación

- Por división de código (CDM)
- Por división de frecuencia (FDM)

■ Método de acceso al medio

- Probabilista
- Determinista por asignación fija TDM

■ Distancia \in (10m, 300m)

WLAN. Normas

■ IEEE 802.11

- ❑ Definen los dos primeros niveles del modelo OSI
- ❑ Encaminamiento: IR y RF (ISM)
- ❑ Modulaciones SS en RF
- ❑ Acceso CSMA/CA
- ❑ Otras características: gestión de potencia, la itinerancia de terminales (*roaming*) y los mecanismos de seguridad.

■ HiperLAN

- ❑ En versiones 1 y 2, que se distinguen en la modulación y método de acceso al medio. HIPERLAN 2 es compatible en la capa física con IEEE 802.11 a.

■ Óptica del espacio libre (FSO)

- ❑ Margen de los infrarrojos (850 nm y 1550 nm) por la atmósfera.
- ❑ Transmisión punto a punto en visión directa (LOS) aunque puede implementarse sobre diversas topologías (estrella, anillo, etc.)
- ❑ Distancias desde 100 m a varios kilómetros
- ❑ Limitada por absorción y dispersión debida a cambios en el índice de refracción del medio, que depende de condiciones atmosféricas
- ❑ Las velocidades binarias entre los 10 Mbps y 1,25 Gbps.

WPAN. Redes de área personal

- WLAN con rango de cobertura < 10 m y velocidad < 1 Mbps.
- **Bluetooth (IEEE 802.15.1)**
 - Modulación FHSS dentro de la banda ISM y método de acceso TDMA.
 - Puede soportar hasta 10 picorredes (*piconet*) para formar una red de “dispersión” (*scatternet*), con un dispositivo principal y hasta 7 subordinados en cada picorred.
 - Aplicación: conectar cualquier producto electrónico portátil o fijo.
- **UBW (IEEE 802.15.3)**
 - Transmisión mediante impulsos muy cortos, inferiores al nanosegundo (ns), muy rápidos y de muy baja potencia (0,25 mW) ⇒ elevado ancho de banda y altas velocidades en distancias cortas ⇒ aplicaciones multimedia.
- **IrDA**
 - Aplicación: equipos portátiles de gran consumo (PCs, teléfonos, periféricos de ordenador, telemandos, etc.) La comunicación se basa en la utilización de infrarrojos (IR entre 850 nm y 900 nm) para conexiones punto a punto de corto alcance (distancias inferiores a los 10 m) con visión directa.
- **ZigBee (IEEE 802.15.4)**
 - Objetivos: baja velocidad, bajo coste, ciclo de trabajo inferior al 1% (más del 99% del tiempo está inactivo), transmisión de paquetes de datos cortos, bajo consumo de potencia (autonomía de 2 años sin cambiar la pila), elevado número de dispositivos interconectados (más de 65.536 terminales), y comunicación segura y fiable.
 - Aplicaciones: automatización de edificios y hogares (domótica, seguridad, lecturas de contadores, etc.); atención sanitaria (monitorización de pacientes, implantes clínicos, etc.); **control industrial** (sensores y actuadores, control de procesos, instrumentación remota, etc.); interfaces hombre-máquina (teclados, ratones, palancas, botoneras, etc.) y mercado de consumo general (electrodomésticos de línea blanca, juguetes, juegos, material deportivo, etc.).

WPAN. Redes de área personal

■ ZigBee (IEEE 802.15.4)

- Pila de protocolos de cuatro capas del modelo OSI.
 - Para las dos primeras (PHY y MAC): norma IEEE 802.15.4 de 2003.
 - Define sus propios protocolos para las capas de red (NWK) y aplicación (APS, *Application Support*).
 - Protocolos específicos en la capa de aplicación (ZDO, *ZigBee Device Object*) sobre la subcapa APS, definidos por los fabricantes/usuarios.
 - APS: tareas de descubrimiento y asociación = identificación y comunicación de dispositivos.
 - ZDO: define el papel de los dispositivos e inicia las conexiones.
 - La capa MAC y la capa NWK soportan varios niveles de seguridad (cifrado y autenticación)
- Red ad-hoc ⇒ los terminales actúan como dispositivos de configuración, gestión y mantenimiento de la red global.
 - RFD: dispositivo de funcionalidad reducida. Presenta las más bajas capacidades de procesamiento y memoria para reducir su coste (sensor o actuador).
 - FDD: dispositivo de funcionalidad completa. Coordinador de red, encaminador y se asocia a cualquier topología (ad-hoc o p2p, estrella, cluster-tree y malla)

WMAN. REDES FIJAS DE ACCESO INALÁMBRICO

- Ofrecen acceso a usuarios con nula o limitada movilidad.
- Rapidez de instalación con similares características técnicas que una red MAN.
- **Banda ancha**
 - MMDS y LMDS: uso público; cobertura \in (3 km, 56 km); acceso a Internet y servicios de datos.
 - Normas ETSI: HiperAccess, HiperMan, HiperLink.
 - WiMAX (IEEE 802.16): accesos de alta capacidad a distancias $<$ 50 km y velocidad $<$ 70Mbps.
 - Define una capa MAC que soporta múltiples especificaciones físicas \Rightarrow mezclar muchas tecnologías para cubrir necesidades muy variadas con claras rentabilidades prácticas.
 - IEEE 802.20: acceso móvil mundial de banda ancha basado en paquetes, y optimizado para el transporte de servicios IP (red WAN móvil).
 - IEEE 802.22: uso de bandas libres en el espectro reservado para el servicio de difusión de TV.
- **Banda estrecha**
 - WLL: uso público; cobertura microcelular y velocidad $<$ a 2 Mbps. Su mercado fundamental está en proporcionar una red de telefonía y datos de bajo coste en zonas rurales o de población dispersa. Tres normas: DECT, PACS y PHS.

WWAN. REDES DE ACCESO CELULAR

- Un sistema celular está formado por sectores en forma de polígonos hexagonales distribuidos en nueve grupos con siete células cada uno y dentro de cada grupo se reparte toda la banda asignada al sistema (subbandas).
- Las estaciones de control realizan las funciones de conmutación de llamadas en curso (*handoff* o *handover*), así como de localización de terminales móviles para llamadas entrantes (*roaming*).
- El “acceso al medio” es del tipo determinista por asignación fija, y sus métodos están basados en las técnicas de multiplexación TDM, FDM y CDM, recibiendo por ello los nombres específicos de TDMA, FDMA y CDMA
- Normativa:
 - GSM: norma europea 2G
 - IS y GSM: normas USA 2G
 - IS-95 (con CDMA); IS-54 e IS-136 (con TDMA): alternativas de la norma IS.
 - HSCSD: ETSI para GSM, TDMA, 38,4 kbps a 57,6 kbps, 28,8 kbps, Circuitos
 - IS-95b: TIA para IS-95a, CDMA, 64 kbps, 32 kbps, 48 kbps, Circuitos
 - GPRS: ETSI/TIA para GSM/IS-136, TDMA, 115 kbps, 22 kbps, 44 kbps, Paquetes
 - CDMA2000: TIA para IS-95a, CDMA, 2 Mbps, 100 kbps, 384 kbps, Paquetes, WLAN
 - EDGE: ETSI/TIA para GSM/IS-136, TDMA, 384 kbps, 40 kbps, 100 kbps, Paquetes
 - UMTS (3G): ETSI para GSM, WCDMA, 384 kbps a 2 Mbps, 100 kbps, 384 kbps, Paquetes, WLAN

REDES DE CAMPO INALÁMBRICAS Y BUSES DE CAMPO

- No existe ninguna norma específica con tecnología inalámbrica en el mercado de las redes industriales.
- Posibles ventajas: flexibilidad de la infraestructura.
- Problemas: ruido electromagnético presente en los entornos industriales; garantizar alta fiabilidad, tiempos de respuesta menores de 10 ms, elevado número de sensores y actuadores y muy bajo consumo de energía.
- Opción "radical": enfoque conjunto que incorporase todos los requerimientos ya satisfechos por las capas de enlace y aplicación de los buses de campo cableados existentes, y que añadiese a la capa física las contramedidas inalámbricas adecuadas. Difícil. Entornos experimentales.
- Opción "integradora": coexistencia de redes cableadas específicas LAN, MAN o WAN, junto con redes inalámbricas y móviles que se interconectan. Pueden utilizarse repetidores, puentes, encaminadores y pasarelas. Inconveniente: los equipos pueden resultar caros y complejos, y no es válida para sistemas en tiempo real.
- Opción "híbrida": la red inalámbrica actúa como mero soporte de comunicación por radio en el entorno industrial, sustituyendo cables en su área de cobertura. Los nodos del bus de campo actuarán como puntos de acceso a la red cableada.

REDES DE CAMPO INALÁMBRICAS Y BUSES DE CAMPO

■ Redes en malla (mesh):

- ❑ Colecciones de nodos fijos y móviles conectados por radio, que libre y dinámicamente se autoconfiguran en topologías arbitrarias temporales, permitiendo una conexión permanente en áreas sin infraestructura (*Ad-hoc*).
- ❑ Ejemplos: recuperación de desastres en áreas sometidas a catástrofes de todo tipo, en sistemas tácticos militares y en aplicaciones experimentales diversas.
- ❑ Cada terminal debe actuar como un encaminador \Rightarrow protocolos no unificados en la capa MAC \Rightarrow limita la escalabilidad de la red por degradación del rendimiento y aumento del retardo a medida que se extiende el diámetro de la red (cobertura).
- ❑ La capa física: normas para WLAN y sobre todo WPAN ya existentes.

■ Ingeniería de protocolos de capa cruzada (*Cross-Layer*)

- ❑ Consideración dinámica de las interacciones entre los protocolos de las diferentes capas.
- ❑ Puede aportar prestaciones eficientes en los protocolos de la capa física.

CONCLUSIONES

- No hay normas específicas para redes inalámbricas en las aplicaciones industriales.
- Los equipos inalámbricos y móviles incorporan contramedidas para reducir los efectos de perjudiciales para la propagación sobre redes inalámbricas. Esto en el entorno industrial es complejo y caro.
- Las soluciones para el entorno industrial parecen pasar por una coexistencia con las redes cableadas.
- Para poder diseñar estas soluciones “híbridas” es necesario conocer las características de las redes inalámbricas actuales y poder elegir la que mejor se adapte a la aplicación concreta.