

# Sistemas de transmisión inalámbrica

Departamento de Sistemas Telemáticos y Computación (GSyC)

gsync-profes (arroba) gsync.es

Septiembre de 2013



©2013 GSyC  
Algunos derechos reservados.  
Este trabajo se distribuye bajo la licencia  
Creative Commons Attribution Share-Alike 3.0

# Espectro electromagnético

Rango de frecuencias empleadas en telecomunicaciones (aprox)

- Radio 1000m - 30 cm  
Fácil generación, recorren larga distancia, atraviesan edificios.  
Omnidireccionales
- Microondas 30cm – 10 $\mu$ m  
Transmisión en línea recta. Mejor relación señal/ruido, necesidad de alineación de antenas. Muy usadas antes de la fibra óptica. Problemas con los sólidos. Problema de desvanecimiento de trayectoria múltiple *multipath fading* (señal reflejada que interfiere con señal directa)
- Infrarojos 10 $\mu$ m – 1000nm
- Ultravioleta 400nm – 15nm  
Cables de fibra óptica

# Sistemas de transmisión inalámbrica

- Satélites (a distintas órbitas)
- Telefonía móvil: GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA+
- Infrarrojos: IRDA
- WirelessPAN (Personal Area Network, p.e. Bluetooth)
- WirelessLAN (Local Area Network, p.e. WiFi)
- WirelessMAN (Metropolitan Area Network, p.e. WiMax)

## Ventajas de red inalámbrica:

- Movilidad del usuario
- Facilidad de implantación
- Flexibilidad

## Inconvenientes:

- Velocidad de transmisión típicamente un orden de magnitud inferior que redes cableadas
- Ocupación del espectro
- Seguridad
- Consideraciones sobre posible influencia en la salud

## Las redes inalámbricas permiten distintos niveles de movilidad

- No movilidad. El receptor debe estar en una posición fija
- Movilidad dentro del rango de la estación base
- Movilidad entre diferentes estaciones base

### *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

- Organización profesional sin ánimo de lucro
- Fundada en 1963 de la fusión del *Institute of Radio Engineers* y el *American Institute of Electrical Engineers*
- Organismo internacional, aunque con fuerte influencia estadounidense
- Publica revistas, organiza conferencias y elabora normas

# IEEE 802

El comité 802 se encarga de redes LAN y MAN de paquetes de tamaño variable (esto excluye p.e. celdas y redes síncronas). Originalmente redes cableadas, posteriormente también inalámbricas

Se divide en grupos de trabajo, entre ellos:

- IEEE 802.1: Bridging & Management
- IEEE 802.2: Logical Link Control
- IEEE 802.3: CSMA/CD (Ethernet) Access Method
- IEEE 802.11: Wireless
- IEEE 802.15: Wireless Personal Area Networks
- IEEE 802.16: Broadband Wireless MANs
- IEEE 802.17: Resilient Packet Rings
- IEEE 802.20: Mobile Broadband Wireless Access
- IEEE 802.21: Media Independent Handover Services

## Resumen comparativo

## Redes de Ordenadores

N.Comercial	Norma	Año	V.Trans	V.Útil	T. cdrom
Ethernet	IEEE 802.3	1982	10Mbps	1.2 MBytes/s	10 min
Fast Ethernet	IEEE 802.3y	1995	100Mbps	12 MBytes/s	1 min
Gigabit Ethernet	IEEE 802.3z	1998	1Gbps	120 MBytes/s	6 s
WiFi	IEEE 802.11b	1999	11 Mbps	700 KBytes/s	16 min
WiFi	IEEE 802.11g	2003	54 Mbps	3 MBytes/s	4 min
WiFi	IEEE 802.11n	2009	450 Mbps	40 MBytes/s	17 s
modem	V.90	1999	56kbps	5 KBytes/s	39 horas
adsl 256 kbps	ANSI T1.413	1998	256kbps	26 KBytes/s	8 horas
adsl 4Mbps	ANSI T1.413	1998	4Mbps	400 KBytes/s	30 min
adsl 2	ITU G.992.3/4	2002	12Mbps	1.3 MBytes/s	9 min
adsl 2+	ITU G.992.5	2005	24Mbps	2.6 MBytes/s	5 min



<b>N.Comercial</b>	<b>Norma</b>	<b>Año</b>	<b>V.Trans</b>	<b>V.Útil</b>	<b>T. cdrom</b>
USB 1.0	-	1996	1.5 Mbps	180 KBytes/s	1 hora
USB 2.0	-	2000	480 Mbps	60 MBytes/s	11 s
USB 3.0	-	2008	5 Gbps	600 MBytes/s	1 s
firewire 400	IEEE 1394a	1993	400 Mbps	50 MBytes/s	14s
firewire 800	IEEE 1394b	2003	800 Mbps	100 MBytes/s	7s
Bluetooth 1.1	IEEE 802.15.1	1994	1 Mbps	50 KBytes/s	4 horas
Bluetooth 2.0		2004	3 Mbps	160 KBytes/s	73 min

## Telefonía

<b>N.Comerc.</b>	<b>Norma</b>	<b>Año</b>	<b>V.Trans</b>	<b>V.Útil</b>	<b>T. cdrom</b>
2G	gsm	1987	9.6 kbps	500 Bytes/s	16 dias
2.5 G	gprs	1999	56 Kbps	4 KByte/s	2 dias
2.75 G	EDGE	2004	180 Kbps	12 KByte/s	16 horas
3G	UMTS	2003	384 Kbps	25 KBytes/s	8 horas
3.5G	HSPA+	2006	21 Mbps	1.4 MBytes/s	9 min
4G	LTE?	2008	300 Mbps		
4G	MobileWIMAX?	2005			

Los valores son orientativos

## Año

- Puede ser el de definición de la norma, o el de aprobación o el de comercialización

## Velocidad de Transmisión

El término inglés es *bitrate*. También se traduce con otras palabras más o menos rigurosas como *tasa de transferencia de datos*, *velocidad de la conexión* *tasa de bits* o *velocidad de transferencia de datos*

- Se expresa en bits/s
- Se usan potencias de 10, no potencias de 2
- Son valores teóricos máximos en condiciones óptimas
- El fabricante/proveedor puede elegir diferentes valores entre los previstos por el estándar.
- Frecuentemente subida  $\neq$  bajada

## Velocidad Útil

- Bytes/s. Potencias de 2
- ¿Cuál es la carga útil que arrastra un camión lleno de fruta en almibar?
- Hay que descontar la sobrecarga de los protocolos
  - Entre el 5 % y el 15 % para cable
  - Hasta el 40 % para tecnología inalámbrica
- Muy dependiente de las circunstancias concretas

## T.cdrom

- Estimación del tiempo necesario para descargar un cdrom (700 Mbytes)

## Latencia

Además de la velocidad de transmisión, la latencia puede ser un factor determinante

Es una medida de tiempo, pero su definición exacta depende del contexto

- En un disco duro, es el tiempo que tarda el cabezal en posicionarse en el sector requerido.  
Por tanto, es un tiempo muy elevado para el primer bit, nulo para los siguientes (del mismo sector)
- En el nivel de red, p.e. una red de conmutación de paquetes, el tiempo desde que comienza el envío de un paquete hasta que comienza su recepción. Es frecuente que la latencia del primer paquete sea superior a la de paquetes sucesivos
- En el nivel físico, p.e. un cable de fibra óptica, es el tiempo que tarda 1 bit desde que se envía hasta que se recibe

# Ondas electromagnéticas y salud humana

Estamos rodeados de ondas electromagnéticas ¿pueden resultar perjudiciales para la salud?

- Ondas ionizantes. Frecuencias muy altas. Capaces de romper moléculas. Rayos UV, X,  $\gamma$
- Ondas no ionizantes. Frecuencias empleadas en comunicaciones inalámbricas. No son capaces de romper moléculas
  - *RFR: Radio Frequency Radiation*. Desde MHz hasta GHz. Telefonía, transmisión de datos, radar, microondas. Si la potencia es elevada, provocan aumento de temperatura en tejidos
  - *ELF: Extremely Low Frequency*. Frecuencias muy bajas, 50/60 Hz. Líneas de potencia, transformadores, monitores de ordenador...  
Los campos por debajo de 1MHz inducen corrientes y campos electromagnéticos en los tejidos

- Niveles máximos permitidos. (ICNIRP: *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) (SAR: *Specific Absorption Rate*)
  - Nivel con alta probabilidad de consecuencias adversas para la salud: 4 W/Kg
  - Nivel de seguridad límite para profesionales: 0,4 W/Kg
  - Nivel de seguridad límite para público general: 0,08 W/Kg

#### Ejemplos de distancia de protección

- Horno microondas 750W (si tuviera la puerta abierta): 4 metros
- Antena de telefonía en edificio: 4,5 metros

## Radiación dentro de los límites permitidos:

- Ningún estudio ha demostrado que resulte perjudicial
- Ningún estudio ha demostrado que resulte inocua
  - En epidemiología hacen falta 15 o 20 años para extraer conclusiones
  - Los experimentos sobre animales no son directamente extrapolables a los humanos

## Asunto de gran controversia sobre el que no hay certeza absoluta.

- Las informaciones alarmistas en los medios de comunicación suelen ser poco serias
- Pero también hay especialistas reconocidos que reclaman mayor prudencia



# Espectro Expandido

- Técnica común en muchas tecnologías inalámbricas: IEEE 802.11, Telefonía 3G, Bluetooth...
- Se ocupa una banda de frecuencias mayor de la requerida
- Introducir redundancia es una idea muy habitual, desde antiguo  
P.e. *NATO phonetic alphabet* (alfa, bravo, charlie...)  
No confundir con *Internation Phonetic Alphabet* (que usamos para transcribir la pronunciación de un idioma)
- Desarrollado con fines militares (evitar interferencias y escuchas)
- Primera implementación: 1962 (sistema de guiado de torpedos)
- Minimiza la probabilidad o el impacto de las colisiones (que no pueden detectarse)

- Varios tipos
  - **FHSS**: Salto de Frecuencias (Frequency Hopping)
  - **DSSS**: Secuencia Directa (Direct Sequence)
  - **OFDM**: Frecuencias Ortogonales (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

# Espectro Expandido por Salto de Frecuencias: FHSS

- Salto de frecuencias (Frequency Hopping Spread Spectrum)
- Se transmite en diferentes bandas de frecuencias, saltando de una a otra en forma predecible
  - En la patente original (Antheil, Lamarr, 1942) se usaba un rollo tipo pianola
  - No se implementa hasta los años 60
  - Actualmente emisor y receptor comparten generador de números pseudoaleatorios y semilla
- Muy resistente al *multipath fading* (desvanecimiento de trayectoria múltiple): La señal directa es aceptada, cuando la señal reflejada llega, esa frecuencia ya no es aceptada
- 802.11 establece 75 bandas de 1 MHz
- Empleado por 802.11 *legacy*



Aug. 11, 1942.

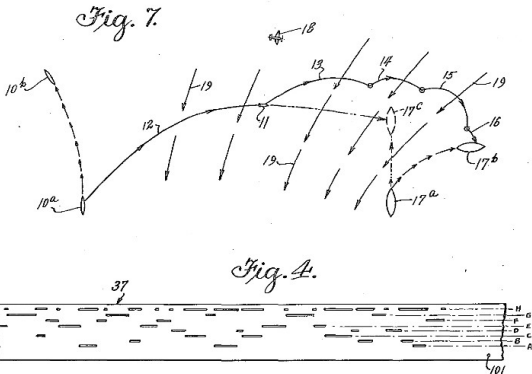
H. K. MARKEY ET AL

2,292,387

SECRET COMMUNICATION SYSTEM

Filed June 10, 1941

2 Sheets-Sheet 2



Patentado por Hedy Lamarr y George Antheil , 1942

# Espectro Expandido por Secuencia Directa: DSSS

- Secuencia directa. *direct-sequence spread spectrum*
- El espectro *se expande* al transmitir varios bits por cada bit original
- Esta información redundante sigue un patrón preestablecido, así que en caso de error se considera el valor legal más próximo
- Para cada bit, se envía su XOR con n bits aleatorios (*chipping code*):
- Origen y destino conocen el *chipping code* y están sincronizados
- 802.11: Código chipping de 11 bits, 2 Mbps (1 Mbps en entornos ruidosos).
- 802.11b: Modulación CCK (complementary coding keying), 11 Mbps (caídas a 5.5 Mbps, 2 Mbps y 1 Mbps).

Ejemplo de transmisión con (*chipping code*):

Datos	0	1	1
	00000	11111	11111
Chipping Code	10101	11010	01001
Sec. Codificada	10101	00101	10110
Sec. Recibida	10101	00101	10110
Chipping Code	10101	11010	01001
Datos	00000	11111	11111
Datos	0	1	1

Si por error obtenemos 00101, supondremos que es un 0

# Espectro expandido por división de frecuencias ortogonales: OFDM

## *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*

- Varias portadoras enviadas simultáneamente
- La detección de una portadora no limita la demodulación de otra
- Modulación muy robusta frente a la recepción de señales con distintos retardos y amplitudes
- Muy usada actualmente: TDT, WiFi, WiMax, ADSL

# Acceso al medio en protocolos de enlace

- Reparto estático. Para  $n$  máquinas se divide el canal en  $n$  fragmentos y se asigna un fragmento a cada estación
- Reparto dinámico. Tiene en cuenta las condiciones del tráfico
  - Protocolos con contienda (*contention protocols*)<sup>1</sup>. Las estaciones se *pelean* por el canal cuando necesitan transmitir
  - Protocolos sin contienda. No se usan mucho
  - Protocolos con contienda limitada. Enfoque mixto. Se crean grupos, cada grupo sabe cuándo puede usar el canal, dentro del grupo hay contienda

---

<sup>1</sup>También se denominan *con colisiones* o *aleatorios*. A veces se traduce *contención*, lo que induce a confusión



Reparto estático del canal	Multiplexación por división en frecuencias	
	Multiplexación por división del tiempo	
Reparto dinámico del canal	Contienda	
	Libres de contienda	Reserva
		Consulta
	Contienda limitada	

# Nivel de enlace: acceso al medio

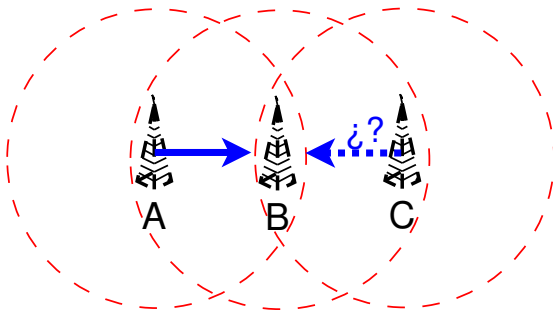
- En ethernet se emplea CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection*)
- Pero en redes inalámbricas resulta demasiado costoso
  - Transmitir y recibir simultáneamente
  - Distinguir la señal del ruido, por el elevado rango dinámico de la señal
- Se intenta evitarlas:
  - Técnicas de espectro expandido
  - Protocolos de acceso al medio especiales: CSMA/CA, MACA

# CSMA/CA: CSMA with Collision Avoidance

- Mecanismo general:
  - Si el canal está ocupado se espera a que esté libre
  - Si está libre, se espera un tiempo, y si sigue libre se transmite.
- El tiempo de espera puede ser fijo, aleatorio, o dependiente de la estación.

# CSMA/CA: problemas

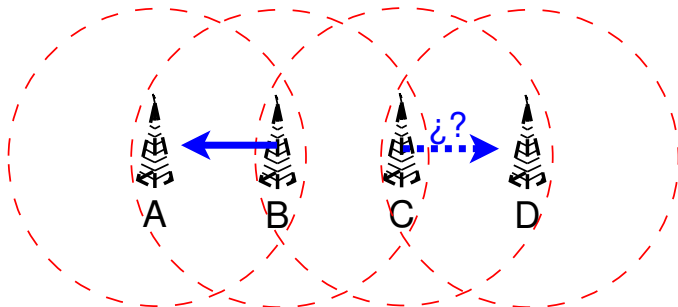
- Nodos ocultos: Una estación cree que el canal está libre, pero está ocupado por otro nodo al que no oye.



- A está transmitiendo a B
- C quiere transmitir a B. C escucha el canal, y como no oye a A, transmite: MAL (colisión en B).

# CSMA/CA: problemas (2)

- Nodos expuestos: Una estación cree que el canal está ocupado, pero está libre (el nodo al que oye no le interferiría)



- B está transmitiendo a A.
- C quiere transmitir a D. C escucha el canal, y como sí oye a B, no transmite: MAL (no habría colisión en D).

# CSMA/CA: problemas (3)

- Conclusión ¿de qué sirve escuchar el medio antes de transmitir?
- a veces hay silencio pero no se debe transmitir
- a veces hay señal pero se puede transmitir

# MACA: Multiple Access with Collision Avoidance

Antes de transmitir no se detecta el medio para detectar una portadora.

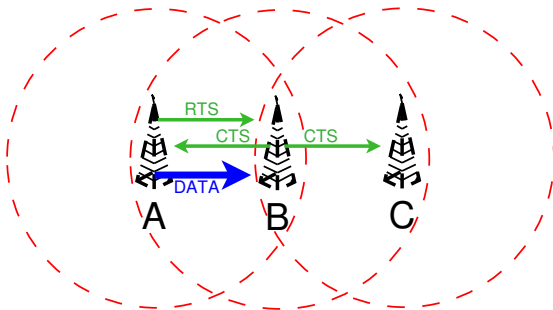
- Antes de transmitir el emisor envía una trama RTS (RequestToSend), indicando la longitud de datos que quiere enviar.
- El receptor le contesta con una trama CTS (ClearToSend), repitiendo la longitud.
- Al recibir el CTS, el emisor envía sus datos

Reglas:

- Al ver un RTS, hay que esperar un tiempo por el CTS
- Al ver un CTS, hay que esperar según la longitud

Las tramas RTS y CTS crean una *portadora virtual*

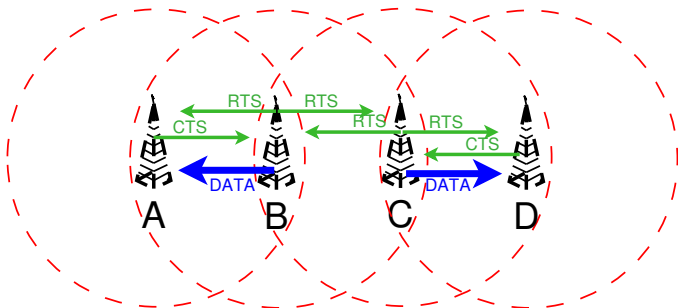
## MACA: nodos ocultos



El CTS de B llega a C, por lo que C espera para transmitir: BIEN



# MACA: nodos expuestos



- C no oye el CTS de A, por lo que puede intentar su RTS hacia D, que será respondido por D, y se enviarán los datos: BIEN
- MACA no resuelve todos los casos de nodos expuestos, e introduce otros nuevos

# Referencias

- “802.11 Wireless Networks (2nd ed),  
M. Gast, Ed. O’Reilly
- “Computer Networks” (4th ed),  
A. Tanenbaum  
(apartados 4.2.6 y 4.4)
- “Computer Networks: A Systems Approach” (3rd ed),  
L. Peterson  
(apartado 2.8)
- IEEE 802.11 Wireless  
<http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.html>
- OMS. Los campos electromagnéticos y la salud pública