

LAN INALÁMBRICA- ASPECTOS RADIOELÉCTRICOS

Wolfgang Franta

Abstract:

A very important element of our information society is mobility, not only for voice but also for data communication. The flexibility of local networks built around classical copper cabling systems is limited in case of changing the configuration, which means adding or removing connections to the network. It is understandable that wireless solutions for the last section of the line are of great interest for both the industry and the network operators. The solution is the so-called 'Wireless Local Area Network' – abbreviated WLAN, equipment is available on the market since 3 years. This paper discusses the most common standardized version of WLAN with regard to its robustness against the influence for interferences, the results will be verified by computer simulation.

Resumen:

Un factor importante en la sociedad de la información es la movilidad, que naturalmente resulta cada vez más importante no sólo para la telefonía sino también para cualquier otro equipo Terminal de datos. La flexibilidad de las redes locales, construidas con cableado clásico, presenta limitaciones ante posibles cambios de configuración, es decir, a la hora de agregar o quitar periféricos, lo que justifica la necesidad de una conexión inalámbrica en el último tramo de la transmisión. La investigación y la industria especializada han desarrollado en los últimos años soluciones, conocidas como *Wireless Local Area Network*, o redes LAN inalámbricas que ya se encuentran disponibles. El presente trabajo estudia el sistema más difundido en el mercado, analizando sus propiedades radioeléctricas y el efecto de las interferencias y comprobando su rendimiento a través de modelos de simulación.

Introducción

El presente trabajo se centra en el estudio del último tramo de una red LAN inalámbrica, construida mediante un radioenlace entre el punto de acceso (conectado a la red LAN con la tecnología tradicional) y un periférico LAN inalámbrico (la mayoría de las veces una unidad que se puede enchufar al PC o a un PDA). Esta instalación permite al usuario alejarse del punto de acceso, dependiendo de las circunstancias, desde unas decenas hasta cientos de metros. Instalando varios puntos de acceso en los lugares adecuados del edificio o de las áreas donde se pretenda acceder a la LAN inalámbrica, se puede conseguir una cobertura local. Dentro de este tipo de redes puede hacerse uso del servicio de Roaming; sin embargo, ése no es el objeto de este trabajo, de modo que sólo se mencionarán los aspectos radioeléctricos (Capa 1 del OSI. 7 modelos de capas) y el efecto de las interferencias en este medio.

Algunos de los factores que merman la transferencia de la señal son, por ejemplo: la pérdida de señal por la distancia (pérdida en el espacio libre), el reflejo de las ondas de radio en los edificios y otras construcciones, así como las interferencias de banda ancha o estrecha. Asimismo aludiremos a la importancia de las simulaciones por ordenador para tales tareas, dado que la mera realización de experimentos o mediciones no nos permitiría extraer conclusiones tan exhaustivas.

No se examinarán otros efectos de propagación, como el desplazamiento Doppler o el desvanecimiento, ya que se partirá de la base de que en las aplicaciones de las redes LAN inalámbricas, ambos extremos de la conexión se ubican en emplazamientos fijos.

Requisitos de las redes LAN inalámbricas

El acceso radioeléctrico a una red local ha de cumplir los siguientes requisitos en la capa física (nivel 1)

- Acceso simultáneo para varios usuarios
- Gran velocidad de transmisión de datos con una tasa de error baja
- Régimen de transmisión robusto, para afrontar con la mayor eficacia posible las inevitables interferencias en el enlace. Por “robustez” entendemos la resistencia frente a interferencias conocidas y futuras (debido a la creciente sobrecarga de las áreas de frecuencia) que presentan y a la vez provocan tanto las industrias como los hogares (véase Goiser, 2002, p. 1-6).

Estándares para redes LAN inalámbricas

La estandarización de las frecuencias, de los regímenes de transmisión y de los protocolos es totalmente imprescindible para poder, por un lado, ofrecer a los fabricantes de componentes para redes LAN inalámbricas la posibilidad de desarrollar equipos para un campo de usuarios amplio, y, por otro lado, mantener la independencia de los operadores de las redes con respecto a los anteriores. En este momento se están utilizando dos estándares (véase. Gast, 2002, Págs. 164-213):

- 1.1. IEEE 802.11b: tecnología CDMA, por banda de ISM de 2,4 GHz
- 1.2. IEEE 802.11a: tecnología OFDM, por banda de frecuencia de 5 GHz

Ambos estándares fueron aprobados en 1999. Debido a su escasa complejidad técnica, en el año 2000 ya había productos para el 802.11b en el mercado. Dado que 802.11a, que tiene limitaciones distintas de frecuencia y de potencia según el país, sus productos no se han puesto a la venta hasta finales del año 2002. Este artículo examina las características del estándar 802.11b, que actualmente es el más empleado.

El alcance de una SRN con una propagación carente de interferencias en las ondas de radio depende únicamente de su atenuación en la ruta de transmisión (Pérdida en el espacio libre o Free Space Path Loss)(véase Glover & Grant, 1998, p. 452):

$$FSPL[\text{dB}] = 20 \log_{10} \frac{4\pi R}{\lambda}$$

R ... Longitud de transmisión λ .. Largo de onda

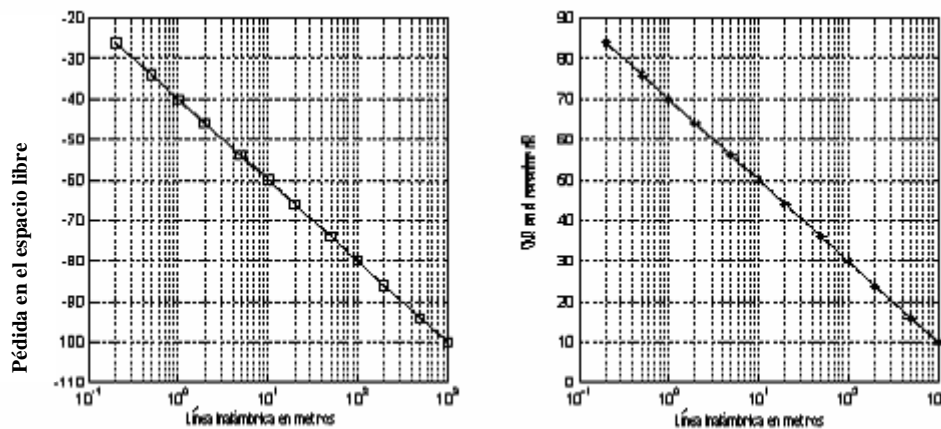


Fig.2

La fig. 1 muestra la pérdida en el espacio libre en relación con la longitud de la línea inalámbrica. La fig. 2 presenta la relación de la SNR con el largo de la línea inalámbrica, contando con una potencia de emisión de 20 dBm y un receptor de 90 dBm de sensibilidad. Se necesita un SR de 20 dB en la toma del receptor en una situación perfecta (sin interferencias) para conseguir un alcance de aproximadamente 300 metros.

DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum

El presente apartado expone las características básicas del *Spread Spectrum Communication*, que constituye la base del sistema LAN inalámbrico para el IEEE 802.11b, y ofrece un ejemplo basado en de una simulación. La señal se transmitirá por una línea inalámbrica en relación con la magnitud tiempo $c(t)$ (fig. 3).

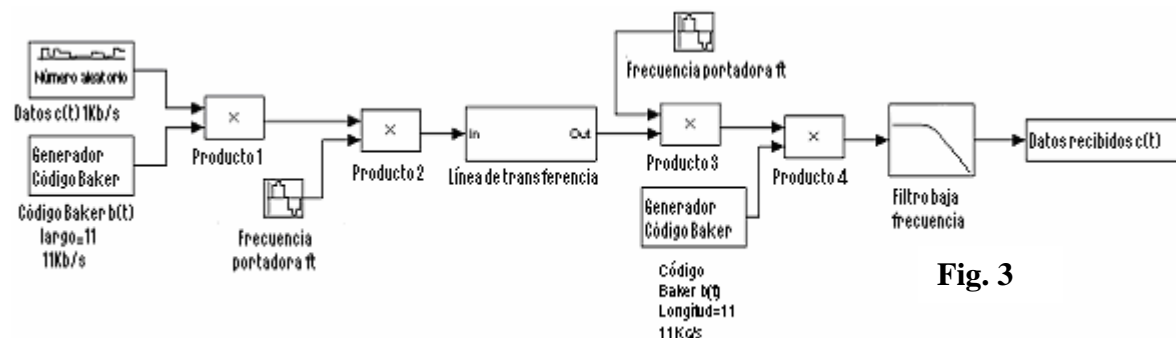
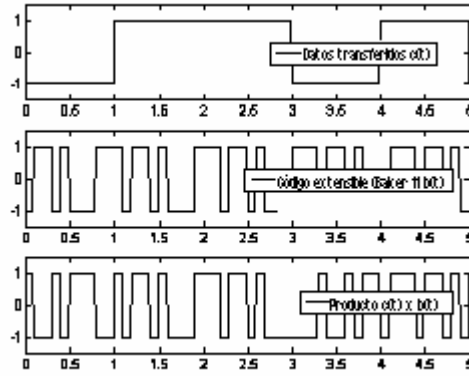


Fig. 3

La señal $c(t)$, que aquí tiene una velocidad de transmisión de datos de 1 Kbit con una duración de símbolo correspondiente a 1 ms, se multiplicará por una secuencia pseudoaleatoria $b(t)$ (producto 1). Análogamente al IEEE 802.11b se utilizará el código Barker de 11 Mbps, que presentan un alto grado de correlación (véase Walke, 2001, p. 386). Cada bit se transmitirá 11 veces, según la polaridad del código dispersión $b(t)$. El producto 1 tiene una velocidad de transmisión de bits de 1/11ms, lo que equivale a 11kBit/s (fig. 4)



La frecuencia portadora ideal f_c para la transmisión de datos, en este caso 100 kHz, se modulará con esta señal. Se utilizará una Transmisión por desplazamiento de fase binaria (BPSK, *Binary Phase Shift Keying*). Multiplicando la señal digital por la portadora (Producto 2) se consigue que en cada intercambio de datos la fase de la frecuencia portadora varíe 180 grados. La fig. 5 muestra un fragmento temporal con dos saltos de fase.

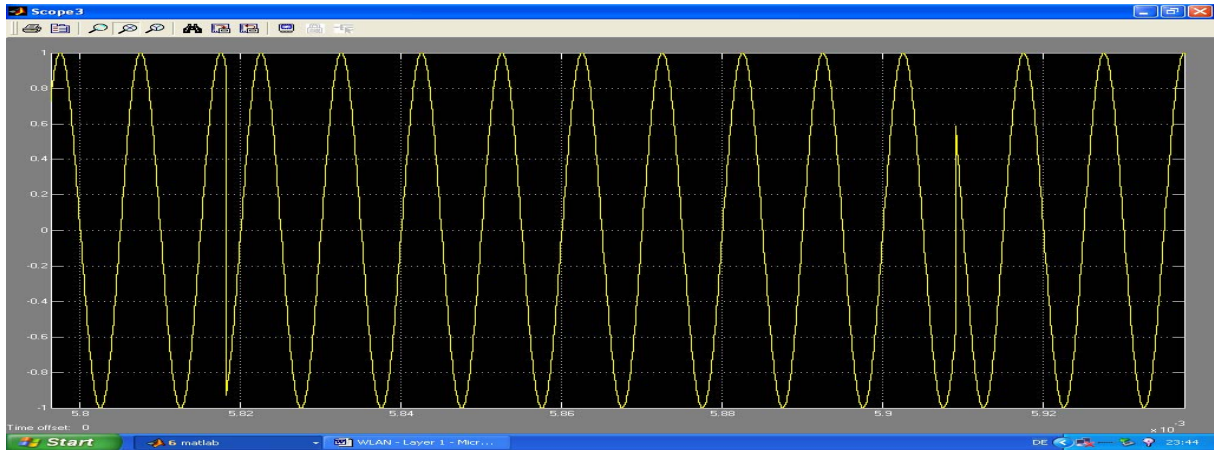


Fig. 5

Ahora la señal cruza el tramo de la transmisión en el que se encontrarían las interferencias que se han mencionado antes. Para observar el sistema se partirá por el momento de un trayecto de transmisión ideal y libre de interferencias. Al llegar al receptor, la señal tendrá las características que las de la fig. 5. Si se multiplica la señal por la misma frecuencia portadora f_c se devolverá la señal a la banda base. Si la señal se multiplica (producto 4) por el código Barker (siempre que las fases sean iguales), y se filtra, se obtendrá la señal original $c(t)$ (véase fig. 6).

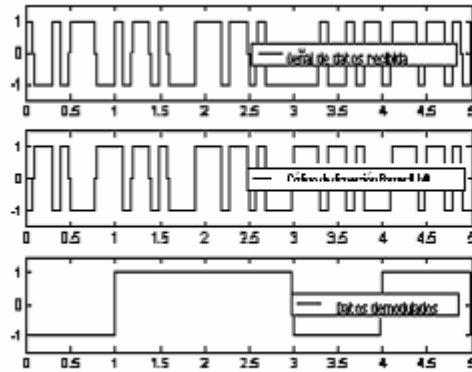


Fig. 6

Si observamos las señales dentro de un periodo de tiempo, no percibiremos aún, ninguna ventaja frente a otras formas de transmisión. Para ello hemos de examinar los espectros de la señal e insertar interferencias en la ruta de transmisión. La fig.7 muestra el espectro de la señal de transmisión, que sin interferencias es igual que la procedente del receptor, cuando el soporte está modulado sólo con los datos útiles $c(t)$.

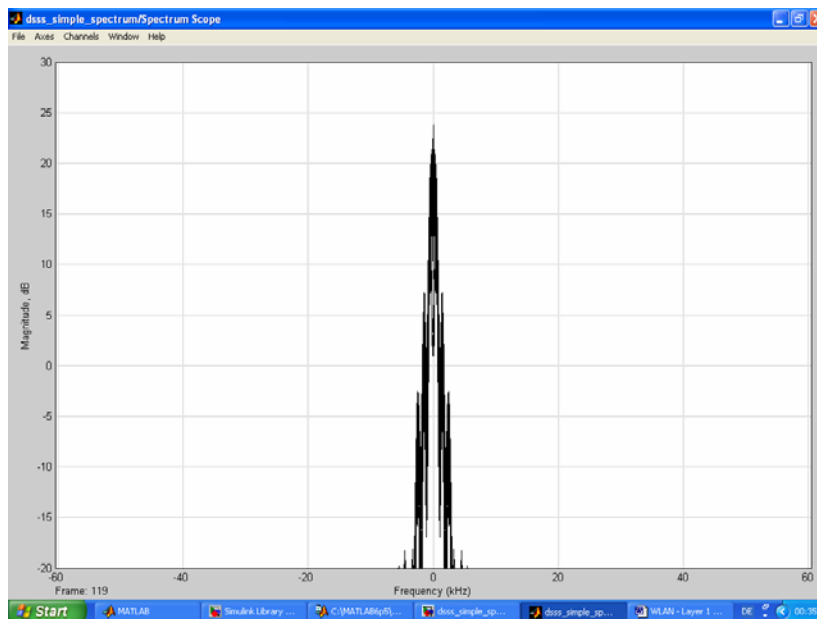


Fig. 7

El componente espectral principal de la señal con 1kBit/s se sitúa en un área de la frecuencia portadora de más/menos 500 Hz. Debido a la insuficiente modulación de la señal insuficiente, en la práctica no se transmiten señales analógicas, sino que los datos en formato digital antes de la modulación se presentan en algunas bandas laterales. La señal se concentra en un ancho de banda limitado y por eso puede ser fácilmente falseada por las interferencias que coinciden en esta área de frecuencia. En consecuencia, la posibilidad de que se produzcan errores de bit es elevada. La fig. 8 muestra el espectro tras la modulación con el código de dispersión, tal y como aparecía representado en la fig. 3.

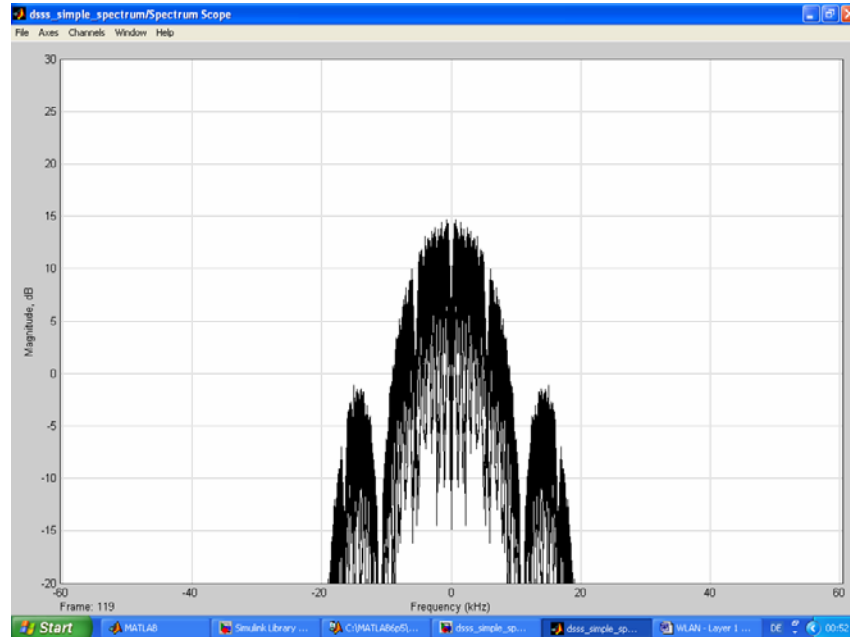


Fig. 8

La misma potencia de la señal se extiende ahora por un espectro mucho más amplio, puesto que con el código de dispersión la velocidad de transmisión de datos es 11 veces superior y el ancho de banda también es 11 veces mayor. Sin embargo, la amplitud se reduce en unos 10 dB. La señal se extenderá espectralmente en correspondencia con la periodicidad del código Barker, de ahí la denominación *Spread Spectrum* (espectro disperso). La relación del ancho de banda de la señal expandida B_{SS} y del ancho de banda de los datos útiles B_D se denominará ganancia de procesamiento G_p (Goiser, 1998, Pag. 15)

$$G_p = \frac{B_{SS}}{B_D} \cong 10\text{dB en WLAN 802.11b}$$

En otros sistemas que trabajan con el procedimiento de Spread Spectrum se utilizan códigos de dispersión mucho más largos. Así, por ejemplo en los satélites con sistemas de navegación GPS, la velocidad binaria total de 50 Bit/s se dispersa con un código de frecuencia PRN de 1023 kHz, alcanzando una ganancia de procesamiento de 43 dB.

Ya que el procedimiento del *Spread Spectrum* es recíproco, las interferencias de banda estrecha en la línea de transmisión son dispersadas, durante el proceso de demodulación del receptor (Producto 4, multiplicación por el código de dispersión) en relación directa con la ganancia de procesamiento, y, a la vez, se reduce su amplitud, lo que contribuye a la disminuir la tasa de errores de bit. Para mostrar la eficacia del procedimiento, se añadirán ruidos aditivos AWGN (Ruido aditivo blanco gaussiano), con la misma potencia a la ruta de transmisión que la señal útil. El espectro obtenido con la simulación se muestra en la figura 9 (misma escala que la fig. 8)

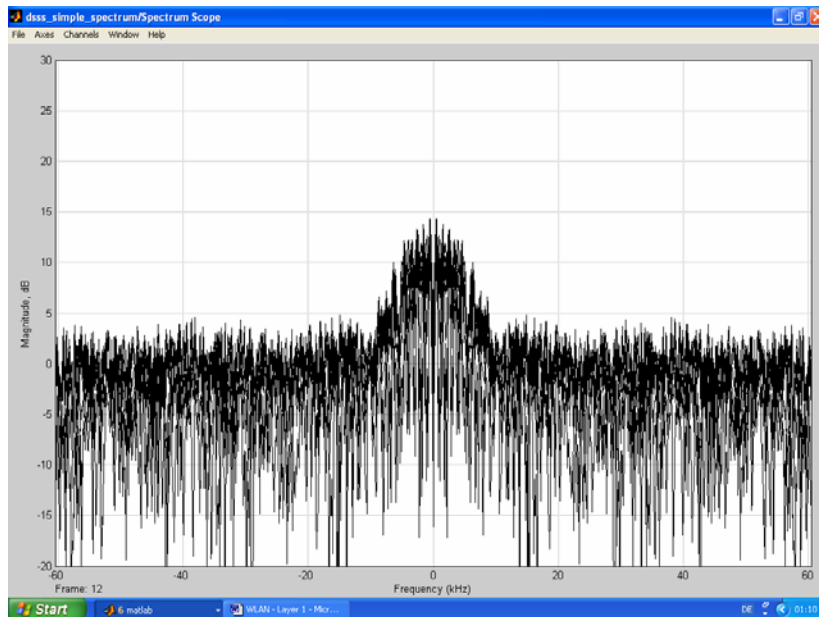


Fig. 9

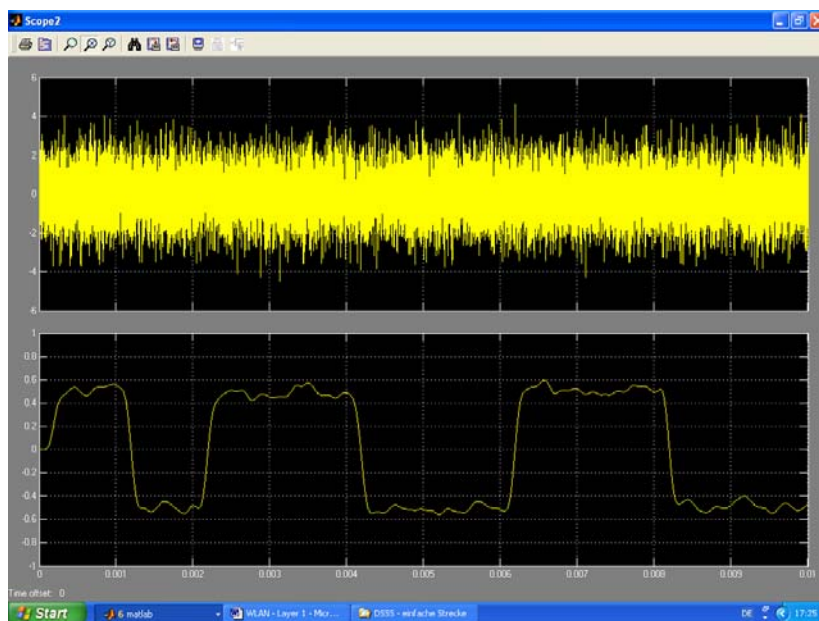


Fig. 10

La señal temporal en la toma del receptor (fig. 10, diagrama superior) se percibe prácticamente sólo como señal de fondo; sin embargo, tras la demodulación los datos se pueden reconstruir sin errores (fig. 10, diagrama inferior). En lugar de añadir interferencias como estas señales de fondo pueden utilizarse otras conexiones de radio en la misma frecuencia, pero con códigos ortogonales de dispersión diferentes (CDMA, acceso múltiple por división de código), sin que se perciba una influencia mutua. Los satélites con sistemas de navegación GPS y los sistemas de telefonía móvil UMTS emplean con este procedimiento.

Redes LAN inalámbricas - Estándar IEEE 802.11b

Cifrado:

Como ya se ha mencionado antes, se aspira a conseguir la mayor velocidad de transmisión de datos posible. Con el IEEE 802.11b se prevén las velocidades de 1 / 2 / 5,5 / y 11 Mbits/s, y para el cifrado se emplean las técnicas de modulación QPSK y DQPSK (véase Meyer, 2002, Pág. 227) Por cifrado entendemos la asignación de símbolos, compuestos por uno o más bits, a un valor de amplitud y de fase, que caracteriza de forma inequívoca al símbolo. En la simulación mostrada en la fig. 3, se emplearon las técnicas de modulación BPSK y QPSK para el cifrado, y cada bit de información representa un símbolo. A continuación se mostrarán las asignaciones según el estado de la fase representado en el diagrama para una modulación de fase binaria (longitud del símbolo=1, codificación de los dos estados 0, y 1 con fase 0, y π) y por una modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (longitud del símbolo = 2, codificación de los cuatro estados 00, 10, 11 y 01 como dos bits con fase 0, $\pi/2$, π y $3\pi/2$) con y sin interferencias en la ruta de transmisión.

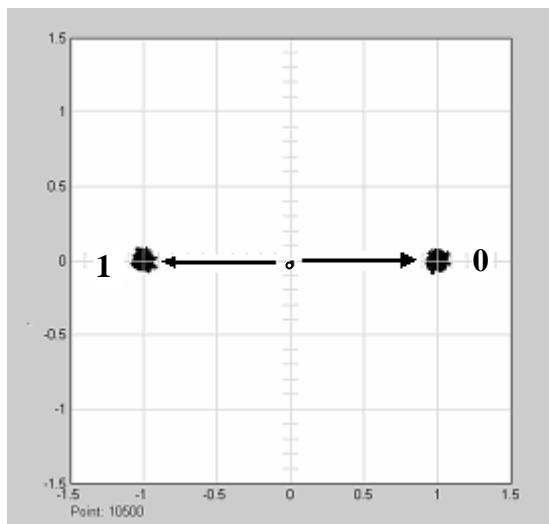


Fig. 11

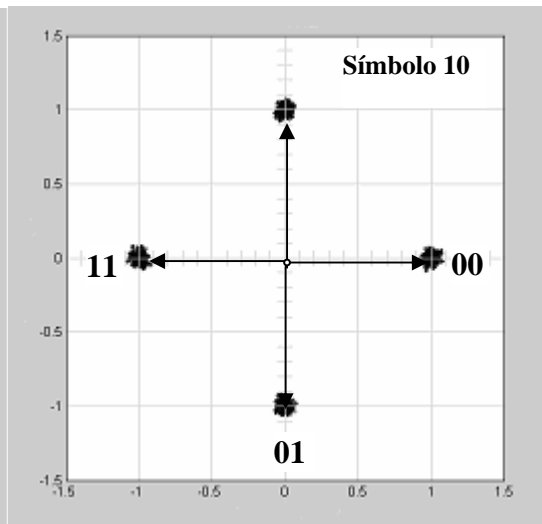


Fig. 12

La fig. 11 muestra el diagrama para una señal BPSK, y la fig. 12 el de una señal QPSK. Ambas señales apenas tienen interferencias y poseen la misma potencia. En cada una se grabaron 1000 símbolos. Ahora bien, si se incorporan a la ruta de transmisión interferencias (AWGN), se añadiría a cada vector de datos, que está subordinado claramente a un símbolo, una interferencia de amplitud y de fase. Los puntos en el estado de la fase representado en el diagrama, que representan cada uno un símbolo, se convierten en un cúmulo de puntos, cuya dispersión aumentará al aumentar la señal interferente.

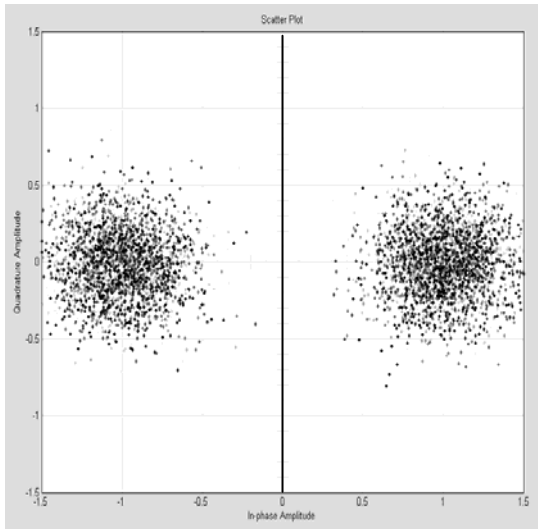


Fig. 13

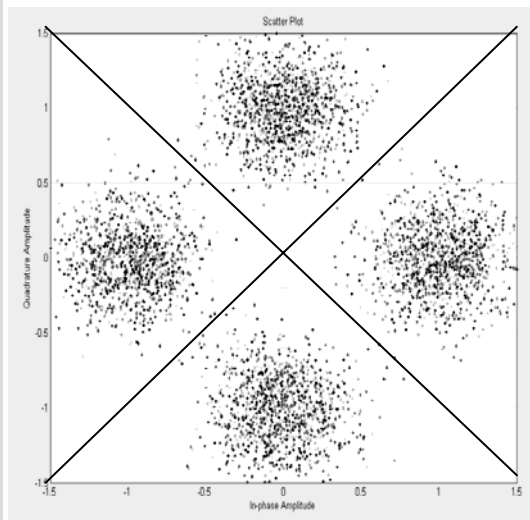


Fig. 14

Ambas señales cuentan con interferencias de tipo AWGN, y la SNR es en los dos casos de 10 dB. En el receptor hay que decidir qué símbolo se atribuirá a cada punto. En la señal BPSK (fig. 13) es preciso decidirse, suponiendo que exista la misma probabilidad con respecto al símbolo, entre la mitad izquierda y derecha. En las señales QPSK (fig. 14), habrá que clasificar el cuadrante. Según la intensidad de las interferencias puede suceder que un símbolo se solape con los adyacentes y, en consecuencia, se interprete incorrectamente. Este efecto se llama ISI (interferencia entre símbolos). Puesto que la distancia entre símbolos en la técnica BPSK (fig. 13) es mayor que en QPSK (fig. 14), en la primera no se da tan frecuentemente el efecto ISI.

En ambos procedimientos de modulación se efectuó una simulación en un área con una SNR de 14 dB. El resultado se muestra en la fig. 15.

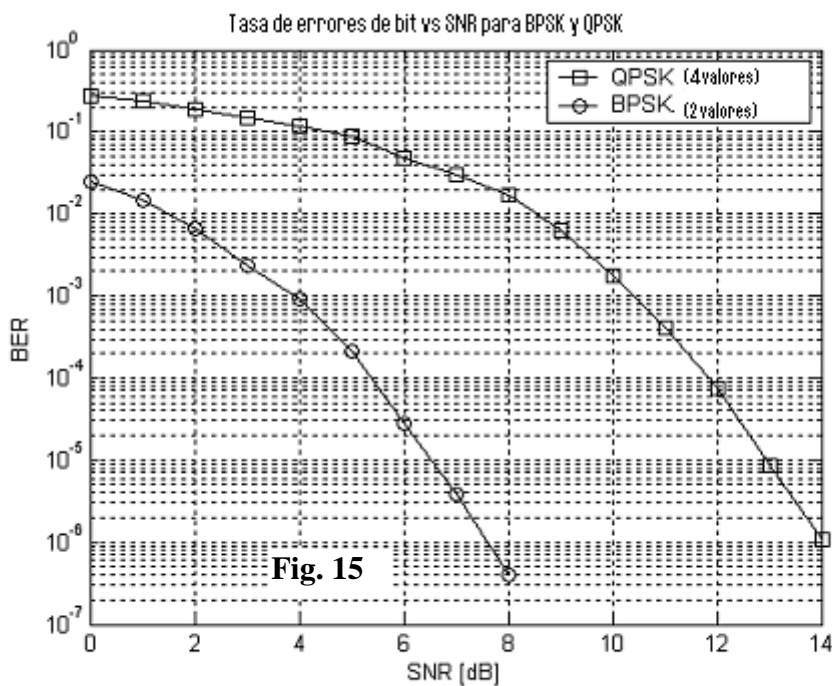


Fig. 15

De este diagrama se puede deducir que por ejemplo, con una SNR de 8 dB, una señal QPSK tendría una tasa de errores de bit superior a 10^{-2} , mientras que con la técnica BPSK la tasa de error por bit (BER) sería de alrededor de $3 \cdot 10^{-7}$, teniendo en cuenta que la velocidad de transmisión es sólo un 50% inferior.

Es evidente que los mejores modos de modulación consiguen una mayor velocidad de transmisión con un mismo ancho de banda al ampliar la longitud de símbolo, sin embargo, para eso necesitan una SNR mayor para el mismo BER. Esta diferencia en lo relativo a la SNR puede atribuirse sólo a la dispersión de la señal en espacios libres, lo que significa que a mayor distancia la velocidad de transmisión de datos ha de reducirse, para no aumentar la tasa de errores de bit.

Hasta ahora se ha trabajado con un modelo de simulación sencillo, para exponer las propiedades del DSSS. Par la simulación de un tramo IEEE 802.11b se utilizó un modelo que tiene en cuenta las cuatro velocidades de transmisión de datos, el reparto de los canales 1 a 13 y el filtrado de señales, (véase fig. 16). Comparando los datos enviados y recibidos se puede determinar la tasa de errores de bit.

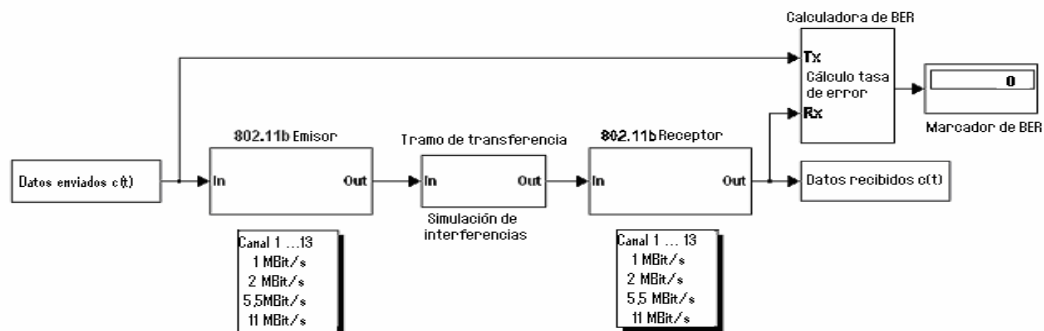
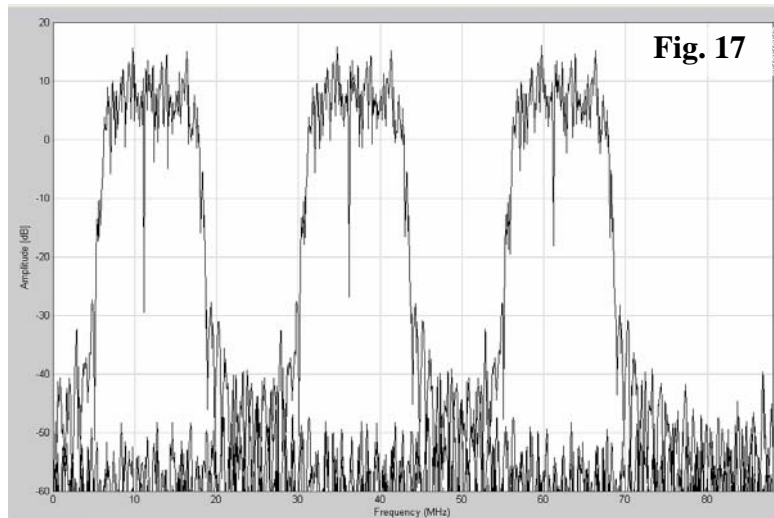


Fig. 16

Como ya se ha mencionado, el sistema trabaja en una banda ISM de 2,4 GHz. La banda de frecuencia disponible de 2,4000 hasta 2,4835 GHz se dividirá en 13 canales, y las frecuencias centrales de canal estarán por los $2407 + n \cdot 5$ MHz (véase Gast, Pág. 180) El ancho de banda espectral de una señal de red inalámbrica LAN tras la dispersión con el código Barker asciende a cerca de 20 MHz. Para disminuir al máximo las interferencias mutuas entre canales colindantes, es necesaria una distancia de seguridad. Dentro de una celda, (entendiendo como tal la zona de cobertura de un punto de acceso), pueden emplearse sólo frecuencias centrales que guarden entre sí una distancia de 25 MHz, por ej. los canales 1, 6 y 11. Cada banda de frecuencia tiene en total sólo sitio para 3 espectros de red inalámbrica LAN. También son posibles otras combinaciones de canales como 2,7, 12 ó 3, 8, 13. La fig. 17 muestra el espectro total estando en funcionamiento 3 canales dentro de una frecuencia inicial de 2,4 GHz.



Canal 1

Canal 6

Canal 11

Interferencias sinusoidales de banda estrecha.

Como ya se ha mencionado, las interferencias de banda estrecha (en casos extremos una señal interferente sin modular) son uno de los factores que pueden influir en la calidad, es decir, en la tasa de errores de bit, de la conexión LAN inalámbrica. Por medio de una simulación que presenta 16 dB de potencia más que la señal útil, se lleva paso a paso la señal por un espectro 802.11b y se mide la tasa de errores de bit. Para poner límite al tiempo de simulación, se interrumpió el cómputo en un BER de 10^{-6} (fig. 18). Se examinó la influencia en el canal 6, que contaba con una frecuencia central de 37 MHz, partiendo de una frecuencia inicial de 2,4 GHz. El espectro extendido tiene un ancho de banda mayor (véase fig. 17), fuera del área de frecuencia examinada no se observan otros BER, que se encuentren más allá del umbral de la simulación.

No obstante, el resultado ha de contemplarse de forma crítica, ya que en la simulación la señal y la interferencia están conectadas de forma fija, la cual puede provocar a interferencias constructivas, hecho que apenas se da en la práctica.

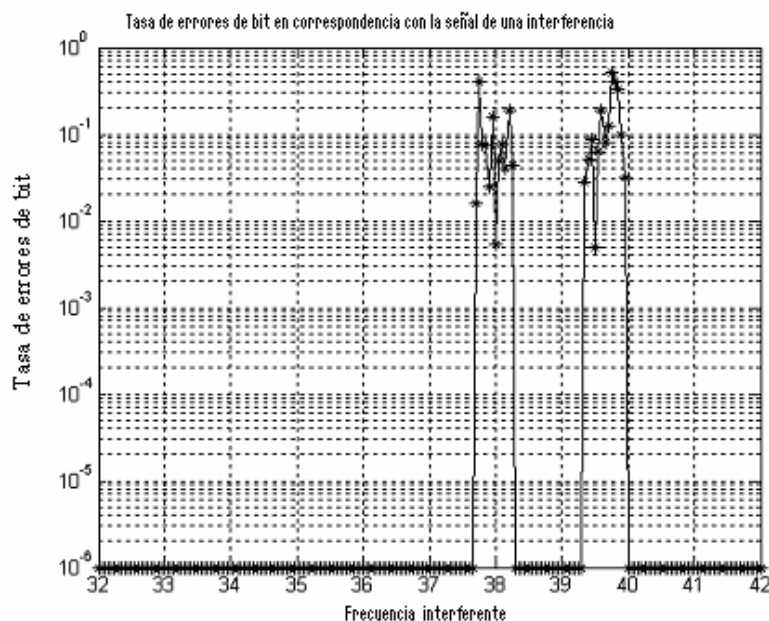
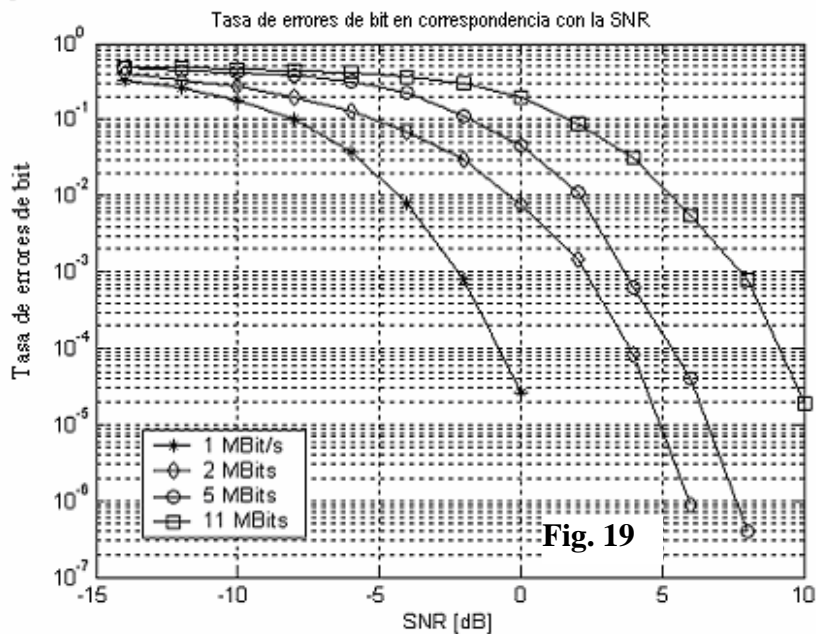


Fig. 18

Interferencias de banda ancha (AWGN) en velocidad de transmisión de datos de 1 - 2 - 5,5 - 11 Mbps:

Para examinar la influencia de las interferencias de banda ancha se empleó un canal AWGN, que simula una SNR de entre 15 y 10 dB (fig. 19). Se puede ver la dependencia entre la tasa de errores de bit y la SNR en referencia a la velocidad de transmisión de datos, de modo que para el mismo BER de 11 Mbps se necesita una SNR aproximadamente 10 dB mayor que para uno de 1 Mbit/s. Comparándolo con la fig. 2, llegamos a la conclusión de que, con 11 Mbps, (suponiendo que no haya otras interferencias), el alcance máximo se reduce a aproximadamente a 100 metros.



El tiempo de simulación para el diagrama de la fig. 19 asciende, para un ordenador temporizado con 1000 MHz, a cerca de 22 minutos.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS:

CDMA	Code Division Multiple Access
BER	Bit Error Rate (Tasa de erro de bit)
BPSK	Binary Phase Shift Keyng
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
FSPL	Freee Space Path Loss (Pérdida en el espacio libre)
GPS	Global Positioning System
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISI	Inter Symbol Interference
ISM	Industrial – Scientific – Medical (Área de frecuencia)
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PDA	Personel Digital Assistent
PRN	Pseudo Random Noise
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
SNR	Signal to Noise Ratio
WLAN	Wireless Local Area Network

BIBLIOGRAFÍA:

Gast Matthew, 802.11 Wireless Networks, O'REILLY 2002

Glover & Grant, Digital Communications, Prentice Hall 1998

Goiser Alois, About the Robust Nature of Spread – Spectrum Systems, IEEE 7th Int. Symp. on Spread – Spectrum Tech. Appl., Prague, Czech Republik, Sept. 2 – 5, 2002.

Goiser Alois, Handbuch der Spread – Spectrum Technik, Springer Verlag 1998

Meyer Martin, Kommunikationstechnik, Vieweg 2002

Walke Bernhard, Mobilfunknetze und ihre Protokolle, Teubner 2001