

PEI 2002

Bluetooth

Cuesta Sáez, Blas Antonio
Heras Barberá, Stella

<u>1. INTRODUCCIÓN.</u>	3
<u>1.1. Tecnologías de WLAN.</u>	3
<u>2. BLUETOOTH.</u>	6
<u>2.1. Historia.</u>	6
<u>2.2. Funcionamiento básico.</u>	6
<u>2.3. Modo de funcionamiento: Ad hoc.</u>	7
<u>2.4. Arquitectura de Bluetooth.</u>	8
<u>2.4.1. Espectro de frecuencias.</u>	8
<u>2.4.2. Características del transmisor.</u>	8
<u>2.4.3. Características del receptor.</u>	10
<u>2.4.4. Mecanismo de reducción de interferencias.</u>	11
<u>2.4.5. Esquema de acceso múltiple.</u>	11
<u>2.4.6. Modulación.</u>	13
<u>2.4.7. Control de acceso al medio.</u>	13
<u>2.4.8. Comunicación basada en paquetes.</u>	14
<u>2.4.9. Conexiones físicas.</u>	16
<u>2.4.10. Establecimiento de la conexión.</u>	17
<u>2.4.11. Mecanismo de selección del salto en frecuencia.</u>	19
<u>2.4.12. Corrección de errores.</u>	20
<u>2.4.13. Administración de la energía.</u>	22
<u>2.4.14. Interconexión de piconets.</u>	22
<u>2.4.15. Seguridad.</u>	22
<u>2.5. Pila de protocolos.</u>	24
<u>2.6. Estandarización de Bluetooth.</u>	25
<u>2.7. Aplicaciones de Bluetooth.</u>	25
<u>2.8. Conclusiones.</u>	26
<u>Anexo I: Conceptos.</u>	29

1. INTRODUCCIÓN.

En los últimos años el progreso en la microelectrónica y las técnicas de integración a gran escala (VLSI) han potenciado el uso de todo tipo de dispositivos de comunicación, tanto en el ámbito doméstico como en el comercial. La continua reducción de costes y precios ha elevado la demanda de productos como PCs, portátiles, PDAs, impresoras, teléfonos móviles y sus periféricos.

El cable es el método habitual para la interconexión de dispositivos o para la conexión de periféricos al ordenador. Esto se ha convertido en un problema grave si tenemos en cuenta la multitud de cables necesarios. Lo ideal sería encontrar una forma alternativa de conexión, como puedan ser los infrarrojos, las ondas de radio o las microondas.

Este tipo de conexiones se pueden obtener mediante el uso de redes inalámbricas. Las redes inalámbricas de alta velocidad pueden proporcionar beneficios de conectividad en red sin las restricciones de estar ligadas a una ubicación o interconectadas por cables. Las conexiones inalámbricas pueden ampliar o reemplazar una infraestructura cableada en situaciones en donde es costoso o está prohibido tender cables. Algunos tipos de edificios o códigos de construcción pueden prohibir el uso de cables, haciendo de las redes inalámbricas una alternativa importante.

1.1. Tecnologías de WLAN.

A continuación se describirán algunas de las tecnologías de WLAN que se pueden encontrar hoy en día. Las más significativas son:

- **IEEE 802.11**

802.11 es una tecnología de WLAN que selecciona entre el canal de radio y el infrarrojo y soporta prioridades. Hay tres modelos del 802.11, que cubren FHSS, DSSS y tecnologías infrarrojas. Actualmente estos modelos se están extendiendo con 802.11b (una versión de alcance de datos mayor que 2.4 GHz) y 802.11a (una versión futura de alto alcance de 5 GHz).

Las versiones FHSS y DSSS de 802.11 se diseñaron para edificios de empresas con muchas oficinas o construcciones de campus con muchos edificios, con el fin de poder moverse libremente entre puntos de control inalámbricos que están conectados a una red Ethernet formando micro-células que se superponen. Las tecnologías robustas de 802.11 permiten a los trabajadores moverse libremente por los despachos, salas de reuniones, y espacios públicos mientras permanecen conectados. Pero este aumento de complejidad y función de la red hace incrementar el coste.

IEEE 802.11a es un estándar para LANs inalámbricas que operan con un rango de datos de 54 Mbps en la frecuencia de banda de 5 GHz. Esta tecnología define una comunicación de corto alcance, basada en paquetes, entre estaciones base WLAN y terminales del usuario final, haciendo posible la comunicación directa entre terminales.

IEEE 802.11b es una versión mejorada que anuncia tener un funcionamiento de 11 Mbps que equivale al de Ethernet con cable. Sin embargo el rendimiento real se aproxima más a 4-5 Mbps, la mitad de la velocidad de Ethernet 10BASET y

mucho más lenta que las redes de conexión de Ethernet 100BASE-T o Gigabit donde las compañías pueden utilizar un interruptor para el funcionamiento especializado en vez de un eje de conexión compartido. Aún así, 802.11b proporciona un importante adelanto en rapidez sobre las generaciones anteriores, y esto es especialmente importante para el ambiente de oficinas donde docenas de empleados tienen que compartir la red. El ambiente doméstico es bastante distinto. Hay menos usuarios de PCs, es necesario fijar precios inferiores para los consumidores, y no es necesario moverse libremente si la escala de un solo transmisor puede cubrir toda la vivienda. Eliminando la habilidad de moverse libremente y gracias a Apple, que diseñó su antena de radio dentro de sus sistemas del PC, se redujeron mucho los costes y así esta conexión de redes sin cable es cada vez más asequible.

- **HiperLAN/HiperLAN2.**

El Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo (ETSI), lleva a cabo durante los años 1991 y 1996 el proyecto HiperLAN, en el cual su objetivo primordial era conseguir una tasa de transferencia mayor que la ofrecida por la especificación IEEE 802.11.

Según los estudios realizados, HiperLAN incluía cuatro estándares diferentes, de los cuales el denominado Tipo 1 es el que verdaderamente se ajusta a las necesidades futuras de las WLAN, estimándose una velocidad de transmisión de 23,5 Mbps, notablemente superior a los 11 Mbps de la actual normativa IEEE 802.11b.

Hoy en día, el ETSI dispone de la especificación HiperLAN2, que mejora notablemente las características de sus antecesoras, ofreciendo una mayor velocidad de transmisión en la capa física de 54 Mbps, para lo cual emplea el método de modulación OFDM (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing) y ofrece soporte de QoS. Bajo esta especificación se ha formado, con un grupo de reconocidas firmas el HiperLAN2 Global Forum (H2GF), con la intención de sacar al mercado productos basados en este estándar.

Como se citó anteriormente, la velocidad de transmisión de la capa física se extiende hasta los 54 Mbps. Para lograr este espectacular aumento de la velocidad se hace uso de un sofisticado método de modulación OFDM (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing) para la transmisión de las señales analógicas, mostrando su mayor efectividad en los entornos donde existe una gran dispersión de las señales como, por ejemplo, en las oficinas en las cuales haya numerosos puntos de reflexión de las señales. Asimismo, y por encima de la capa física, el protocolo de la capa de Acceso al Medio (MAC) es totalmente nueva y presenta un método dúplex de división dinámica del tiempo para permitir una mayor eficiencia en la utilización de los recursos de radio.

Por lo que respecta a las conexiones que se pueden establecer bajo esta especificación, en una red de HiperLAN2 los datos se transmiten en conexiones entre el MT (Terminal Móvil) y el AP (Punto de Acceso), en las cuales se han establecido previamente prioridades para la transmisión mediante el empleo de funciones de señalización del panel de control del HiperLAN2.

Hay dos tipos de conexiones, punto a punto y multipunto. Por una parte, las conexiones punto a punto son bidireccionales, mientras que las conexiones punto a multipunto son unidireccionales y siempre en el sentido hacia el MT. Por otra parte, la naturaleza de las conexiones HiperLAN2 permite la verdadera implementación y soporte de QoS (Quality of Service). Es decir, asignar a cada conexión a un nivel de prioridad con respecto a otras conexiones, donde a cada conexión se le pueda asignar un nivel QoS específico, en el cual se determinen parámetros relacionados con el ancho de banda a utilizar, el retraso máximo entre paquetes y la tasa de error, entre otros. Este soporte de QoS, en combinación con una alta velocidad de transmisión, facilita el flujo simultáneo de numerosos tipos diferentes de datos como, por ejemplo, vídeo, voz, y datos.

Sin embargo, y a pesar de que esta especificación dispone de otro buen número de características interesantes, este estándar se encuentra en una fase de evolución demasiado prematura, en comparación con las otras tecnologías, aspecto que puede ser determinante para una futura consolidación en el mercado.

- **HomeRF.**

La tecnología HomeRF, basada en el protocolo de acceso compartido (Shared Wireless Access Protocol, SWAP), encamina sus pasos hacia la conectividad sin cables dentro del hogar. Los principales valedores de estos sistemas se agrupan en torno al consorcio que lleva su mismo nombre, HomeRF, teniendo a Proxim, una filial de Intel, como el miembro que más empeño está poniendo en la implantación de dicho estándar.

El HomeRF Working Group (HRFWG) es un grupo de compañías encargadas de proporcionar y establecer un cierto orden en este océano tecnológico, obligando a que los productos fabricados por las empresas integrantes de este grupo tengan una plena interoperatividad. En sí, la especificación SWAP define una nueva y común interfaz inalámbrica que está diseñada para poder soportar tanto el tráfico de voz como los servicios de datos en redes LAN dentro de los entornos domésticos e interoperar con las redes públicas de telefonía e Internet. Esta nueva normativa ha sido definida para asegurar la interoperatividad de una numerosa cantidad de productos con capacidades de comunicación sin hilos que se desarrollan para ordenadores para el mercado doméstico. La base radioeléctrica de este protocolo opera en la banda ISM de los 2.4 GHz, pero combinando elementos de los estándares Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) e IEEE 802.11.

Asimismo, la arquitectura del protocolo se asemeja bastante a las especificaciones que para las redes inalámbricas tienen el protocolo IEEE 802.11 en su capa física y, además, extiende la capa MAC (Medium Access Control) con la adición de un subconjunto de estándares DECT para proporcionar los servicios de voz. Como resultado, la capa MAC puede soportar indistintamente servicios orientados a datos, tales como TCP/IP, y protocolos de voz como DECT/GAP.

La especificación SWAP proporcionará las bases para un extenso campo de nuevas aplicaciones de redes domésticas. Principalmente, la implantación de una red inalámbrica dentro de cada hogar particular hará posible que los distintos usuarios puedan compartir voz y datos entre ordenadores, periféricos, teléfonos

inalámbricos, y los nuevos dispositivos portátiles como PDA. Igualmente, el acceso centralizado del que se dispone actualmente pasará a ser sin cables y desde cualquier parte de la casa y sus alrededores mediante el uso de cualquiera de los dispositivos que soporten esta capacidad. Incluso podrá ser implementada una gestión automática de desvío de las llamadas entrantes hacia los diferentes dispositivos como teléfonos inalámbricos, faxes, o contestadores automáticos según las necesidades de cada miembro de la unidad familiar.

2. BLUETOOTH.

2.1. Historia.

La tecnología Bluetooth fue diseñada en 1994 por el Sven Mattisson y Jaap Haartsen, dos empleados de Ericsson Telephone Co.

Para elegir el nombre de esta tecnología se basaron en el relato del siglo X sobre el rey vikingo Harald II de Dinamarca, apodado diente azul (Bluetooth) debido a una enfermedad que le producía esta coloración en su dentadura. Este rey unificó los pequeños reinos de Escandinavia que se regían cada uno bajo sus propias leyes. Esto es lo que se pretende con Bluetooth, unificar los estándares y las tecnologías diferentes mediante un dispositivo universal para la interconexión de todo tipo de periféricos.

Los dispositivos que incorporan Bluetooth se reconocen y se comunican de forma que el canal permanece abierto y no requiere la intervención directa y constante del usuario cada vez que se quiere enviar algo.

La especificación surgió a principios de 1998 a través de la colaboración de varias empresas líderes de la industria de las tecnologías inalámbricas: Ericsson, Nokia, Intel, IBM, Toshiba, Motorola y, más tarde, 3Com (Palm), que constituyeron el SIG (Special Interest Group). Estas empresas han adoptado esta tecnología para desarrollarla con sus propios productos, que empezaron a salir al mercado a finales del año 2000. Cada nueva compañía miembro del SIG recibe de las otras una licencia para implantar la especificación 1.0, libre de royalties.

Las empresas Ericsson (Suecia) y Nokia (Finlandia) son, de todas las anteriores, las principales promotoras de Bluetooth como una especificación abierta para la industria de la informática y de las telecomunicaciones, utilizando una conexión inalámbrica de corto alcance que no necesita de visión directa entre los dispositivos conectados. La tecnología cuenta con el apoyo de este tipo de industrias a diferencia de otras como DECT o IrDA, que presentan algunos problemas a la hora de descargar información desde el PC al teléfono móvil, entre otros. El bajo precio que se espera alcancen estos productos hará que su inclusión en cualquier dispositivo suponga un coste razonable para el fabricante y el usuario. Algunas estimaciones hablan de una cifra superior 1000 millones de unidades Bluetooth para el año 2005.

2.2. Funcionamiento básico.

Cada dispositivo Bluetooth está equipado con un microchip (transceiver) que transmite y recibe en la frecuencia de 2.4 GHz. Además de los canales de datos, están disponibles tres canales de voz a 64 Kbit/s. Cada dispositivo tiene una

dirección única de 48 bits, basada en el estándar IEEE 802.11 para LAN inalámbricas. Las conexiones son uno a uno con un rango máximo de 10 metros, aunque utilizando amplificadores se puede llegar hasta los 100 metros, pero se introduce distorsión.

Para la transmisión de voz se utiliza el método CVSD (Continuous Variable Slope Delta Modulation) que consigue una calidad de audición bastante elevada, con tasas de error de hasta el 4% y posibilita la no-retransmisión de los paquetes enviados. Los datos se pueden transmitir a velocidades de hasta 2 Mbit/s. Un esquema de saltos de frecuencia aleatorios permite a los dispositivos comunicarse incluso en áreas donde existe gran interferencia electromagnética. Bluetooth suministra también mecanismos de encriptación (con longitud de clave de 64 bits) y autenticación, para controlar la conexión y evitar que cualquier dispositivo, no autorizado, pueda acceder a los datos o modificarlos. El manejo de la clave se hace a nivel de la aplicación.

Bluetooth se ha diseñado para operar en un ambiente multi-usuario. Los dispositivos pueden habilitarse para comunicarse entre sí e intercambiar datos de una forma transparente al usuario. Aunque cada enlace es codificado y protegido contra interferencias y pérdida de enlace, Bluetooth no puede considerarse como una red inalámbrica muy segura, pero se pueden utilizar algunas técnicas a nivel de aplicación para poder aumentarla.

La topología que se usa en una red puede ser, o bien punto a punto o multipunto. Una vez conectados todos los dispositivos tienen igual derecho de acceso, pero hay uno que se define como maestro y los otros como esclavos.

El protocolo bandabase que utiliza Bluetooth combina las técnicas de conmutación de circuitos y de paquetes y para asegurar que los paquetes llegan en orden, y se reservan hasta 5 ranuras para las transmisiones síncronas. La velocidad para un canal asimétrico de datos puede llegar a 721 Kbit/s en un sentido y 57.6 Kbit/s en el otro, ó 432.6 Kbit/s en ambos sentidos si el enlace es simétrico.

Los dispositivos Bluetooth deben tener un consumo de energía reducido. Para ahorrar energía Bluetooth establece el modo "hold" en el que no se intercambian datos o bien se puede activar el modo "sniff" en el que se escucha con un nivel bajo. Si un dispositivo quiere establecer una conexión con otro y conoce su dirección MAC, le envía un mensaje y si no la conoce, envía una petición seguida de un mensaje.

A continuación se verá todo esto con un poco más de detalle.

2.3. Modo de funcionamiento: Ad hoc.

La mayoría de sistemas de radio actuales están basados en una arquitectura celular. La infraestructuras de las redes se basa en estaciones base situadas en puntos estratégicos que proporcionan cobertura en una determinada celda a los terminales utilizados por los usuarios. Las estaciones base son las encargadas de controlar el enlace de radio, la localización del canal, el tráfico de datos, etc. Ejemplos de tecnologías que utilizan este sistema de radio son GSM y DECT.

En la tecnología Ad Hoc no existen diferencias entre terminales. No hay tecnología cableada que soporte la comunicación entre las unidades móviles ni existe un controlador central. No requiere la intervención de operadores. Las redes Ad Hoc son redes que se crean “al vuelo”. Con la tecnología Bluetooth se pretende que coexistan un gran número de conexiones en un área determinada sin ninguna coordinación mutua. Esto difiere de los escenarios Ad Hoc considerados inicialmente, que suministraban a las unidades móviles una red (o en ocasiones un número pequeño de redes) para interconectarlas. Los sistemas de radio Ad Hoc estudian la mejora de algunos campos. Estos son:

- El espectro de radio aplicado.
- Que tipo de unidades se pueden interconectar.
- El establecimiento de la conexión.
- El esquema de acceso múltiple.
- La localización del canal.
- El control de acceso al medio.
- La priorización de algunos servicios.
- La interferencia mutua.
- El consumo de energía.

2.4. Arquitectura de Bluetooth.

2.4.1. Espectro de frecuencias.

La elección del espectro se determinó en base a dos consideraciones fundamentales. En primer lugar debía ser de acceso público, sin necesidad de licencias. En segundo lugar debía ser válido universalmente. Así pues Bluetooth opera entorno a la banda de frecuencias ISM 2.4 GHz. En los Estados Unidos el rango de frecuencias está entre los 2400 MHz y los 2483.5 MHz. En la mayoría de países europeos esta banda también es válida con la regulación ETS-300328. Las regulaciones en cada país especifican generalmente la propagación de la energía de la señal transmitida y la máxima energía transmitida que se permite. En Japón la banda de 2400-2500 MHz se ha abierto recientemente a la comunicación comercial. En el resto del mundo se pretende seguir esta misma línea para la estandarización de esta banda de frecuencias libres y con este fin trabaja el grupo de desarrollo de Bluetooth.

2.4.2. Características del transmisor.

Las características específicas del transmisor están en función de los niveles de energía de la antena conectora del equipo. Si el equipo no tiene conector se asume que tiene una antena de referencia de 0 dB iniciales de ganancia. Si se

utilizan antenas con una ganancia direccional superior a 0 dB, deben adaptarse las reglas aplicadas sobre la normativa ETSI 300 328 y el apartado 15 de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC).

Según indica el gráfico, el equipo se puede clasificar según tres niveles de potencia :

Nivel de potencia	Potencia máxima de salida	Potencia nominal de salida	Potencia mínima de salida ¹⁾	Control de potencia
1	100 mW (20dBm)	-	1mW (0dBm)	Pmin<+4dBm a Pmax Opcional: Pmin ²⁾ a Pmax
2	2.5mW (4dBm)	1mW (0dBm)	0.25mW (-6dBm)	Opcional: Pmin ²⁾ a Pmax
3	1mW (0dBm)	-	-	Opcional: Pmin ²⁾ a Pmax

- 1) Mínimo potencial de salida con una configuración máxima de la energía.
- 2) Es deseable el potencial mínimo < -30 dBm pero no obligatorio y puede escogerse acorde con las necesidades de la aplicación.

Se necesita control de potencia para un equipo de nivel de energía 1. El control de potencia se utiliza para limitar la potencia transmitida por encima de los 0 dB. Por debajo de los 0 dB el control de potencia es opcional y puede utilizarse para optimizar el consumo de energía y el nivel de interferencia. Un equipo de nivel 1 con una potencia máxima de transmisión de +20 dBm debe ser capaz de controlar su potencia transmitida por debajo de los 4 dBm o inferior.

El nivel de potencia 1 no debe usarse para enviar paquetes de un dispositivo a otro si el receptor no puede procesar los mensajes de control del nivel de potencia enviados por el emisor. En este caso el emisor debe acatar las reglas de los niveles de potencia 2 y 3.

En cuanto a la tolerancia de la frecuencia de radio, la precisión de la frecuencia inicial transmitida debe ser de ± 75 Khz. de Fc. Esta precisión se define en relación a la precisión inicial de la frecuencia antes de que se transmita cualquier información. La desviación de la frecuencia central transmitida en un paquete se especifica en la siguiente tabla. Los paquetes están definidos según la especificación de la Banda Base.

Tipo de paquete	Desviación de la frecuencia
Paquete de 1 ranura	± 25 kHz
Paquete de 3 ranuras	± 40 kHz
Paquete de 5 ranuras	± 40 kHz
Tasa máxima de desviación	400 KHz./μs

2.4.3. Características del receptor.

El nivel de sensibilidad del receptor se define como el nivel de introducción de datos para el que se logra un índice de error en el procesamiento de un dígito binario (BER) de un 0.1%. Un receptor Bluetooth debe tener un nivel real de sensibilidad de -70 dBm o menor. La actuación de la interferencia en el canal de 1 MHz y 2 MHz se mide con una señal de 10 dB sobre el nivel de la referencia. En el resto de frecuencias se utilizan señales de 3 dB. El bloqueo Out-Of-Band se aplica si la frecuencia de la interferencia está fuera de la banda de 2400-2497 MHz.

En Bluetooth la señal de interferencia también debe modularse. La siguiente tabla muestra la relación de señal e interferencia:

Requisitos	Relación
Interferencia Co-canal, C/Ico-canal	11 dB
Adyacente (1 MHz), C/I1MHz	0 dB
Adyacente (2 MHz), C/I2MHz	-30 dB
Adyacente (3 MHz) C/I3MHz	-40 dB
Frecuencia de imagen en-base C/Iimage	-9 dB
Adyacente (1 MHz) a Frecuencia de imagen en-base C/Iimage±1MHz	-20 dB

El bloqueo fuera de banda (Out-of-Band) se mide con una señal de 3 dB sobre el nivel de referencia de la sensibilidad del receptor. La señal que interfiere es una onda continua y el BER es menor o igual al 0.1%. El bloqueo fuera de banda satisface los siguientes requisitos:

Frecuencia de interferencia de la señal	Nivel de potencia de interferencia de la señal
30 MHz – 2000 MHz	-10 dBm
2000 – 2399 MHz	-27 dBm
2498 – 3000 MHz	-27 dBm
3000 MHz – 12.75 GHz	-10 dBm

En base a satisfacer estos requisitos el receptor debe respetar las siguientes características de intermodulación:

- Una señal en la frecuencia f con un nivel de potencia de 6 dB por encima del nivel de referencia de la sensibilidad.

- Una señal de onda senoidal en la frecuencia f_1 con un nivel de potencia de -39 dBm.
- Una señal Bluetooth modulada en la frecuencia f_2 con un nivel de potencia de -39 dBm.

El nivel máximo de entrada utilizable en el receptor debe operar por encima de los 20 dBm.

2.4.4. Mecanismo de reducción de interferencias.

La naturaleza de las interferencias de la banda de frecuencias ISM de 2.4 GHz no puede predecirse. Con gran probabilidad los sistemas que están compartiendo esta banda no se podrán comunicar y la coordinación no será posible. La mayor parte del problema la producen los transmisores de alta potencia que incluyen dispositivos de microondas o dispositivos ópticos, por ejemplo. Además también hay que tener en cuenta la interferencia que se produce entre los propios usuarios del canal.

Una forma de suprimir tales interferencias es la codificación o la transmisión de la secuencia directa. No obstante, el rango dinámico de las interferencias y las señales en Ad Hoc puede ser inmenso. Teniendo en cuenta las distancias y las diferencias de potencia entre los transmisores no es raro observar rangos superiores a los 50 dB. Si queremos conseguir tasas de transferencia de 1 Mb/s o menos la codificación y el procesamiento de la ganancia no es lo más indicado.

Por todo esto, evitar la interferencia en lugar de suprimirla se ha convertido en la alternativa más óptima, en especial desde que la señal se transmite en frecuencias donde la interferencia es baja o casi nula. Evitar la interferencia en el tiempo es una buena opción si se producen pulsaciones q interrumpen la señal. Evitarla en frecuencia es más práctico. Desde que la banda de 2.4 GHz provee de un ancho de banda de 80 MHz y la mayoría de los sistemas de radio son de frecuencias limitadas podemos encontrar con mucha probabilidad una parte del espectro de radio donde no exista una interferencia dominante. El filtrado en frecuencia suministra la supresión de interferencias a las otras partes del canal. La supresión del filtro puede llegar fácilmente a los 50 dB o más.

2.4.5. Esquema de acceso múltiple.

La selección del esquema de acceso múltiple para los sistemas de radio Ad Hoc se debe a la carencia de coordinación y regulación en la banda ISM. El protocolo FDMA es apto para los sistemas Ad Hoc ya que la ortogonalidad del canal solo depende de la precisión de los osciladores de cristal en las unidades de radio. Si lo combinamos con un esquema de direccionamiento del canal adaptativo o dinámico podemos evitar la interferencia.

Desafortunadamente FDMA no satisface los requerimientos de propagación de la señal en la banda ISM. TDMA requiere una sincronización estricta en el tiempo para asegurar la ortogonalidad del canal y esto es difícil para múltiples conexiones Ad Hoc. CDMA ofrece las propiedades más indicadas para los

sistemas de radio Ad Hoc. DS-CDMA (CDMA DSSS) es menos adecuado debido al gran problema que supone coordinar la potencia de control o la excesiva ganancia de procesamiento. Además, como en TDMA, la ortogonalidad del canal requiere un tiempo de referencia común.

El protocolo FH-CDMA (DCMA FHSS) es sin duda la mejor elección para los sistemas Ad Hoc. La señal puede propagarse a lo largo de un elevado rango de frecuencias, pero en un instante dado solo se ocupa un pequeño ancho de banda, evitando la mayoría de las interferencias de potencial en la banda ISM. Los saltos de las portadoras son ortogonales y la interferencia entre saltos adyacentes pueden suprimirse de forma muy efectiva mediante el filtrado. Las secuencias de salto pueden no ser ortogonales pero las interferencias producen pocas interrupciones en la comunicación y pueden evitarse con la mayoría de protocolos de alto nivel. Así pues, Bluetooth está basado en FH-CDMA.

En la banda ISM de 2.4 GHz están definidos un conjunto de 79 saltos de portadoras con 1 MHz de separación. El tiempo entre saltos es de 625 microsegundos. La secuencia de salto concreta queda determinada por la unidad que controla el canal FH, llamada maestro. El reloj de esta unidad define también la fase en la secuencia de salto. Las otras unidades, llamadas esclavos usan la identidad del maestro para seleccionar la misma secuencia de salto y añadir tiempos de parada a sus relojes para sincronizar la frecuencia de salto.

En el dominio del tiempo el canal se divide en ranuras. El tiempo mínimo entre saltos de 625 microsegundos se corresponde con una ranura. Para simplificar la implementación las comunicaciones full-duplex se llevan a cabo aplicando doble división en el tiempo (TDD). Esto quiere decir que una unidad transmite y recibe alternativamente. La separación entre la transmisión y la recepción previene eficazmente el crosstalk entre las operaciones de transmisión y recepción del transmisor de radio. Ya que la transmisión y la recepción se realizan en ranuras diferentes también utilizan portadoras diferentes. La figura ilustra el canal FH/TDD aplicado en Bluetooth. Hay que tener en cuenta que los múltiples enlaces Ad Hoc usan diferentes canales de salto con diferentes secuencias de salto y deben tener ranuras de tiempo alineadas.

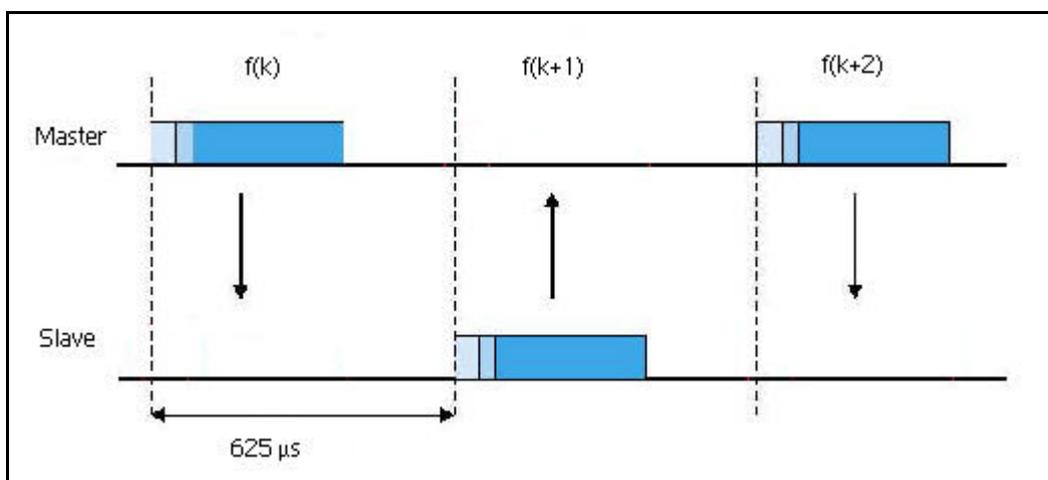


Figura 1. Ejemplo del canal FH/TDD utilizado en Bluetooth.

2.4.6. Modulación.

En la banda ISM, el ancho de banda de la señal esta limitado a 1 MHz. Se escogió el esquema de modulación binario por ser muy robusto. Con la restricción mencionada anteriormente, las tasas de transmisión de datos están limitadas a 1 Mb/s. Para los sistemas FH es más apropiado un sistema de detección no coherente. Bluetooth utiliza una modulación Gaussiana (FSK) con un índice de modulación nominal entre 0.28 y 0.35. Los unos lógicos se envían con desviaciones de frecuencia positivas y los ceros lógicos con desviaciones de frecuencia negativas. Para cada canal de transmisión la desviación mínima de frecuencia (que corresponde a la secuencia 1010) no debe ser inferior al $\pm 80\%$ de la frecuencia de desviación (f_d), que corresponde a la secuencia 00001111. Además la desviación mínima nunca debe ser menor que 115 Khz. La información transmitida tiene una tasa de transmisión de símbolos de 1 Ms/s. El error de cruce por cero es la diferencia entre el periodo ideal del símbolo y el tiempo de cruce. Este nunca debe ser inferior que el $\pm 1/8$ de un periodo de símbolo. Se puede simplificar la desmodulación limitando el discriminador FM. Este esquema de modulación permite la implementación de unidades de radio de bajo coste.

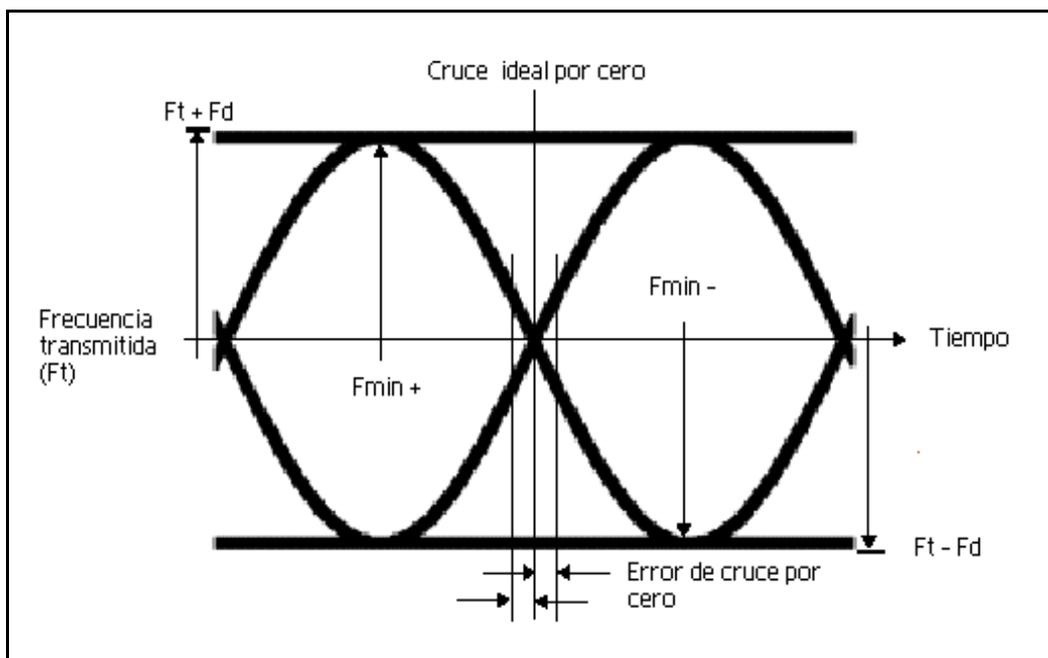


Figura 2. Modulación.

2.4.7. Control de acceso al medio.

Bluetooth permite un gran número de comunicaciones no coordinadas que tienen lugar en una misma área. A diferencia de otros sistemas ad hoc que comparten un único canal, Bluetooth permite un gran número de canales independientes, sirviendo cada uno de ellos a una cantidad limitada de participantes (máximo 8 estaciones). Con el esquema de modulación considerado, cada canal FH de la banda ISM soporta una tasa de bits de 1 Mbps. Esta capacidad es compartida por todas las estaciones que participan en la comunicación a través de ese canal. Teóricamente, como el espectro está

dividido en 79 canales, entonces se soportarán 79 Mbps, pero como no es probable que todos los canales estén ocupados al mismo tiempo y siendo usados, no se alcanzan tales tasas de transmisión. Las estaciones sólo se conectan al canal cuando necesitan compartir información a través de él.

Un canal se asocia normalmente con una piconet. El canal de una piconet se define mediante la identidad (proporcionando la secuencia de saltos en frecuencias) y el reloj (proporcionando el momento en el que se produce el salto) de la estación maestra. El resto de unidades que participan en la piconet son estaciones esclavas. En una piconet no existe un reloj común a todas las estaciones, pero cuando se establece la piconet, los esclavos añaden desfases a sus relojes para sincronizarse con el reloj del maestro. Estos desfases se eliminan cuando se cancela la piconet, pero se pueden almacenar para usos posteriores. Como se citó anteriormente, el número de estaciones que pueden compartir un canal está limitado a ocho (un maestro y siete esclavos), para evitar problemas de interferencias. El papel que juegan las unidades de maestro o esclavo, sólo lo mantienen el tiempo que dure la piconet. Cualquier unidad puede ser maestro o esclavo. Por definición, la unidad que establece la piconet se convierte en unidad maestra.

En Bluetooth, el maestro implementa un control centralizado, ya que sólo es posible la comunicación entre maestro y esclavo. Los slots, de 625 μ s, son utilizados alternativamente para las transmisiones del maestro y del esclavo. En las transmisiones del maestro, este incluye la dirección de la estación esclava. Un esclavo sólo puede transmitir cuando un maestro le envíe un paquete, de esta forma se previenen las colisiones de transmisión de dos esclavos. Si el maestro tiene información para enviar a un esclavo, entonces ese esclavo puede contestar. Si el maestro no tiene información para enviar al esclavo, el maestro envía un paquete corto, para que le conteste si tiene alguna información. Si dos piconets utilizan casualmente el mismo canal para transmitir se producirá una colisión y en este caso se aplica un algoritmo parecido al ALOHA: La información se transmite sin comprobar si el canal está libre. Si la información se recibe incorrectamente, se retransmite a la próxima oportunidad (sólo se aplica este esquema para los datos).

2.4.8. Comunicación basada en paquetes.

Bluetooth utiliza un sistema de transmisión basado en paquetes: el flujo de información se fragmenta en paquetes. En cada slot, sólo se puede enviar un único paquete. Todos los paquetes tienen el mismo formato, comenzando con un código de acceso, seguido por la cabecera del paquete y por último el campo de datos de usuario. Este formato se puede ver en la siguiente figura.

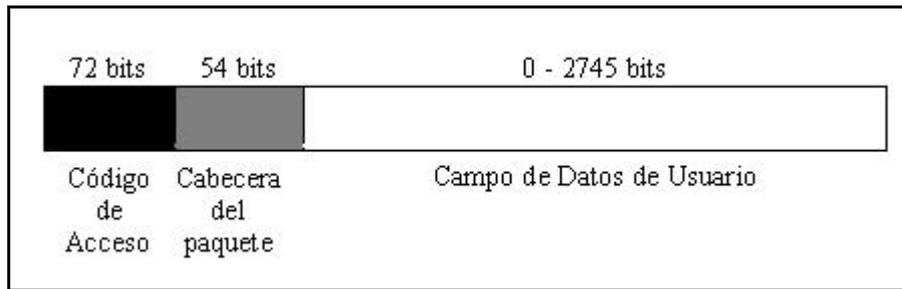


Figura 3. Formato de un paquete Bluetooth.

El código de acceso tiene propiedades seudor aleatorias. También incluye la identificación de la unidad maestra. Todos los paquetes intercambiados en el canal son identificados por la identidad del maestro. El paquete sólo se acepta en el caso de que el código de acceso coincida con el código de identificación del maestro de la piconet. Esto previene de que se acepten paquetes de una piconet falsa que utilice el mismo canal para la transmisión. La cabecera del paquete contiene información del control de enlace. La cabecera del paquete se limita a 18 bits para evitar el overhead.

Bluetooth define cuatro tipos de paquetes de control:

- El paquete identificación (paquete ID): Sólo contiene el código de acceso. Se utiliza para señalización.
- El paquete NULL: Contiene el código de acceso y una cabecera de paquete. Se utiliza cuando se tiene que transmitir la información de control de enlace.
- El paquete POLL: Es igual al paquete NULL. Lo utilizan los maestros para forzar a los esclavos a responder.
- El paquete PHS: Se utiliza para intercambiar información del reloj y de identificación entre unidades. Contiene toda la información necesaria para mantener a dos unidades sincronizadas en el salto de frecuencias.

Los otros 12 tipos de paquetes se utilizan para definir paquetes para servicios síncronos y asíncronos. Estos paquetes los podemos clasificar dentro de tres clases: paquetes que caben en 1 slot, paquetes de 3 slots y paquetes de 5 slots. Los paquetes multislot se envían por un sólo canal, es decir, utilizan la misma banda de frecuencias para transmitir y no realizan salto en frecuencias. La frecuencia utilizada en el primer slot es la que se utiliza para retransmitir en los otros slot. Una vez que se termina de transmitir todo el paquete, se cambia de frecuencia respecto a la información actual del reloj. Todo esto se puede observar en la siguiente figura.

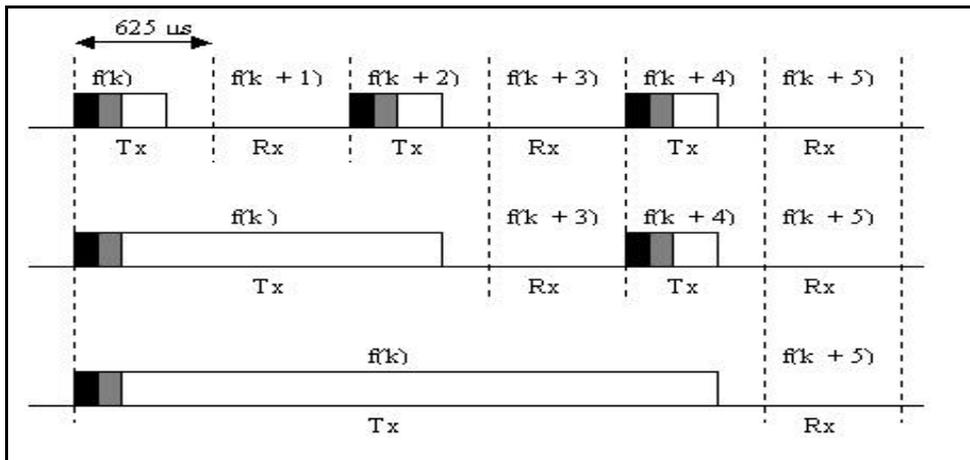


Figura 4. Paquetes multislot.

En un canal con slot, se han definido tanto enlaces síncronos como asíncronos, como se puede ver en el siguiente apartado. La interpretación del tipo de paquete es diferente para enlaces síncronos ya asíncronos:

- En enlaces asíncronos, los paquetes pueden ser de un slot, tres slots o cinco slots. La tasa de transmisión máxima que se obtiene en enlaces asíncronos es de 723,2 kbps (quitando cabeceras y demás datos que no sean de usuario). El campo de datos de usuario es variable.
- En enlaces síncronos, sólo hay paquetes de un slot y el campo de datos de usuario es fijo. Los enlaces síncronos soportan enlaces full – duplex con tasas de transmisión de 64 kbps en ambos sentidos.

2.4.9. Conexiones físicas.

Bluetooth soporta tanto enlaces para servicios síncronos (por ejemplo el tráfico de voz) como servicios asíncronos (tráfico a ráfagas). Se definen dos tipos de enlaces físicos:

- Enlace síncrono orientado a la conexión (SCO).
Es un enlace punto a punto entre un maestro y un único esclavo. El enlace se establece mediante reserva de slots duplex a intervalos regulares.
- Enlace asíncrono sin conexión (ACL).
El enlace ACL es un enlace punto – multipunto entre el maestro y todos los esclavos de la piconet. Este enlace utiliza todos los slots del canal no que sean usados por enlaces SCO. El tráfico por este tipo de enlaces lo gestiona el maestro.

La estructura en slots del canal de una piconet permite mezclar enlaces síncronos y asíncronos. Se puede ver un ejemplo de esto en la siguiente figura.

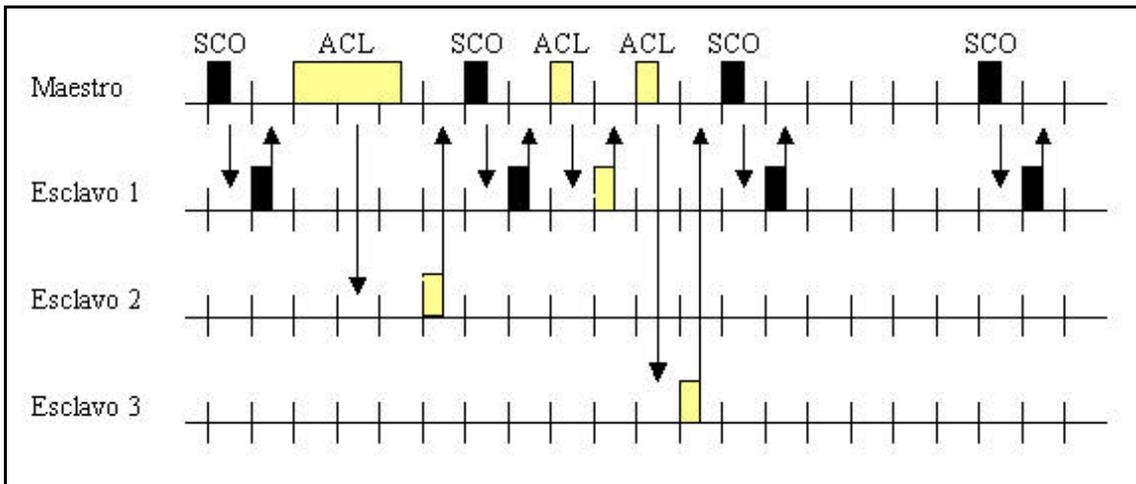


Figura 5. Ejemplo de mezcla de enlaces síncronos SCO y enlaces asíncronos ACL sobre un único canal de una piconet.

2.4.10. Establecimiento de la conexión.

En Bluetooth, las estaciones pueden estar en diversos modos de funcionamiento, tanto para el establecimiento de la conexión como para el ahorro de la energía. Para el establecimiento de la conexión se definen tres estados: scan, page e inquiry. Una estación está en modo idle (ocioso) cuando quiere ahorrar el máximo de energía, está como dormida. Sin embargo, esta estación tendrá que despertarse y mirar cada cierto tiempo si hay alguna estación que se quiera comunicar con ella. Cuando realiza esto, la estación entra en el modo scan y, durante 10 ms, mira en un canal para ver si se quieren comunicar con ella. Cada vez que se despierte mira en un canal diferente. Una estación que quiera comunicarse con otra que está dormida no sabe el instante en el que la estación se despertará ni el canal sobre el que va a escuchar. A causa de esto, la estación que quiera comunicarse con otra que está dormida tiene que entrar en el estado page. Cuando se entra en este estado se asume que la estación conoce la identidad de la estación con la que se quiere comunicar. La unidad en modo page transmite el código de acceso de la estación a diferentes frecuencias, cada 1.25 ms. La unidad en modo page transmite dos códigos de acceso y escucha durante dos slots a ver si le llega una respuesta. Esto se puede ver en la siguiente figura.

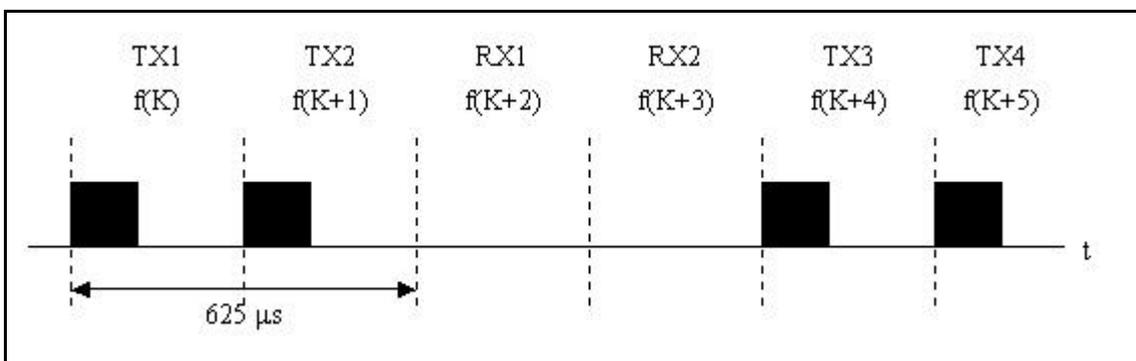


Figura 6. Comportamiento de una unidad en modo page.

En 10 ms, la estación en modo scan visita 16 saltos en frecuencias diferentes. La unidad en modo page transmite el código de acceso en esas 16 frecuencias cíclicamente durante el tiempo que la otra estación está dormida. Si la estación dormida se despierta y mira en alguna de esas 16 frecuencias, entonces recibirá su código de acceso y se establecerá una conexión entre las estaciones. Sin embargo también se puede ocurrir que cuando la unidad en modo idle se despierte, escuche sobre otro conjunto de frecuencias o en otro instante de tiempo. En este caso, si la unidad en modo page no recibe ninguna respuesta, entonces transmitirá el código de acceso por otro conjunto de frecuencias. Como cada vez que se busca a una estación dormida se hace en la mitad de las frecuencias en las que puede estar la estación, el tiempo máximo de establecimiento de conexión es dos veces el tiempo que una estación pasa dormida. Cuando una estación idle recibe un mensaje page, ésta le devuelve el mensaje a la unidad scan con la información necesaria para establecer la piconet. La unidad en modo page se convierte en el maestro y la unidad en modo idle se convierte en el esclavo.

En todo este proceso se está asumiendo que la unidad page no conoce el reloj de la unidad idle. Sin embargo, se puede dar el caso que anteriormente se hubieran conectado estas mismas estaciones y que tengan guardado el desfase del reloj. Este desfase no es el mismo en cualquier momento, sino que la fiabilidad de ese desfase es inversamente proporcional al tiempo que pasó desde la última conexión. Pero si se tiene almacenado este desfase, puede dar una idea a las estaciones de la secuencia de salto en frecuencias que está utilizando.

Para establecer una conexión se necesita conocer la identificación de la unidad con la que queremos conectar. Si no se conoce esta información, entonces se tendrá que enviar un mensaje broadcast y los receptores tendrán que contestar con su dirección (identificación) e información del reloj. Las unidades en modo idle también escuchan los mensajes de broadcast.

Durante los procesos de page e inquiry, se realizan 32 saltos en frecuencias.

2.4.11. Mecanismo de selección del salto en frecuencia.

Para seleccionar la siguiente frecuencia por la que se va a transmitir, una estación necesita conocer tanto la identificación como el reloj del maestro.

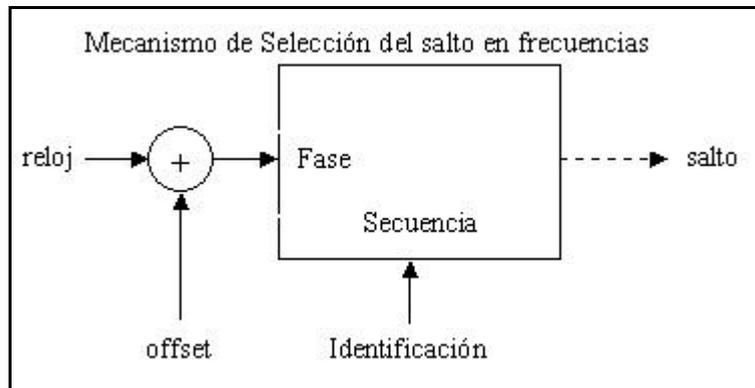


Figura 7. Concepto básico de la selección del salto en frecuencias de una unidad Bluetooth.

Este mecanismo cumple con los siguientes requerimientos:

- La secuencia se selecciona en función de la identificación de la unidad maestra y de su reloj.
- El ciclo de la secuencia cubre 23 horas.
- Todas las frecuencias tienen la misma probabilidad de ser visitadas.
- El número de secuencias de salto es grandísimo.
- Cambian el reloj o la identificación, la secuencia de saltos cambia inmediatamente.

En la siguiente figura se ilustra el mecanismo de selección de la secuencia de salto.

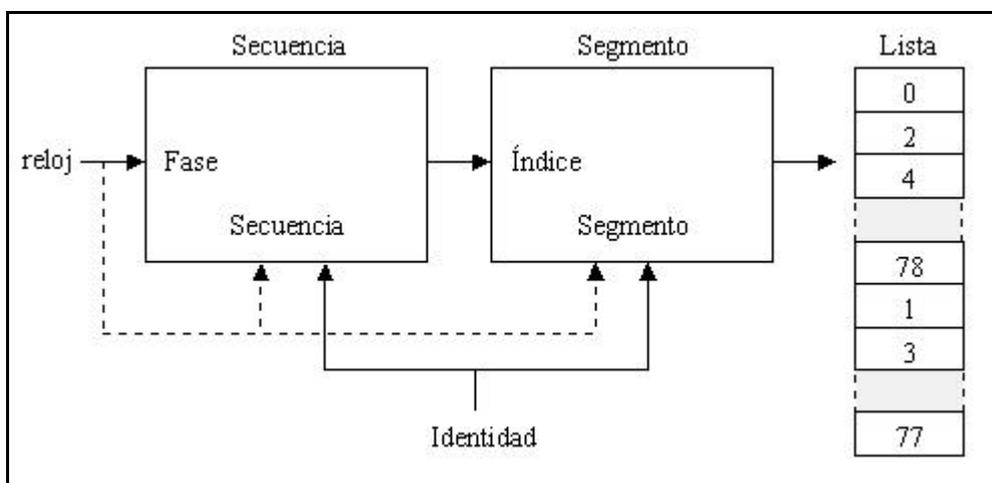


Figura 8. Mecanismo de selección del salto en frecuencias.

En el primer bloque, la identificación selecciona una secuencia de 32 saltos con propiedades seudos – aleatorias. Estos 32 saltos se realizan a través de 79 canales de frecuencias diferentes. Se dispone de una lista donde se almacenan diferentes secuencias de saltos en frecuencias. Para los procedimientos de page e inquiry, se elige una lista fija de saltos, pero en esta lista se haya diferentes secuencias de saltos. Durante la conexión, la parte más significativa del reloj influye tanto en la selección de la secuencia de salto como a la hora de mapear el segmento: después de 32 saltos (un segmento), se altera la secuencia de salto. Cambiando el reloj o / y la identidad se cambiará directamente tanto la secuencia de salto como el mapeo de segmentos (conjunto de 32 saltos, almacenados en una lista).

2.4.12. Corrección de errores.

Bluetooth define dos tipos de esquemas de corrección de errores: FEC y retransmisión de paquetes. Para FEC, se soportan códigos de tasas de 1/3 y de tasas 2/3. El propósito de estos esquemas es reducir el número de retransmisiones producidas por errores. La cabecera del paquete siempre está protegida con FEC con tasa de 1/3.

- Código FEC con tasa 1/3. Se implementa repitiendo el bit tres veces: Ejemplo: b0b0b0b1b1b1... Se utiliza para toda la cabecera y, adicionalmente, se puede utilizar en el campo de datos de usuarios de paquetes en enlaces SCO.
- Código FEC con tasa 2/3. Es un esquema FEC (15,10) abreviado del código Hamming. Este código puede aplicarse tanto al campo de datos de usuario de paquetes síncronos (en enlaces SCO) como al campo de datos de usuario de paquetes asíncronos (en enlaces ACL).
- En enlaces ACL, se aplica un esquema ARQ. Los paquetes se transmitirán y retransmitirán hasta que llegue el reconocimiento de una recepción correcta por parte del destinatario (u ocurrencia de timeout). La información de reconocimiento está incluida en la cabecera del paquete devuelto, y se añade un código CRC al paquete, para la comprobación de errores. El esquema ARQ sólo funciona en el campo de datos de usuario del paquete. La cabecera del paquete no está protegida con el esquema ARQ.

Bluetooth utiliza un esquema de reconocimiento rápido y no numerado, donde se le notifica al emisor la recepción de un paquete en el slot RX siguiente al slot TX por donde se envió el paquete. Esto se puede ver en la siguiente figura.

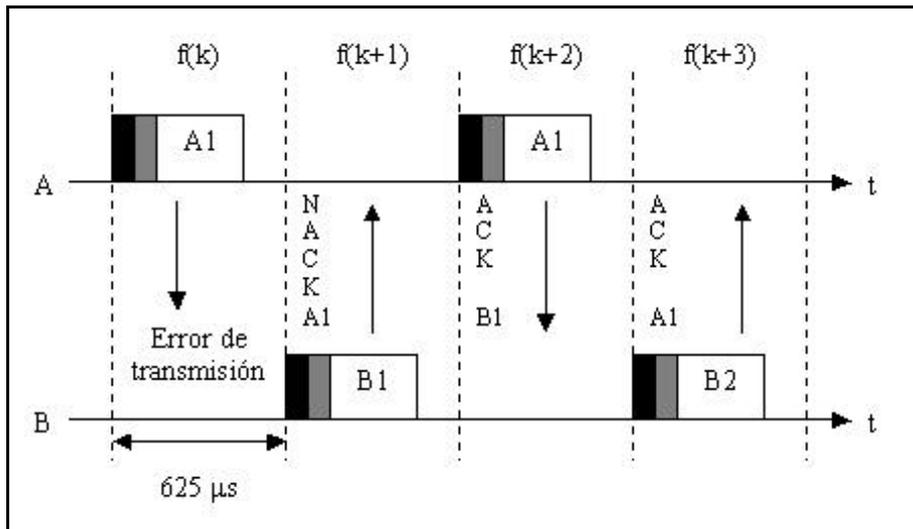


Figura 9. Ejemplo de una retransmisión en Bluetooth.

Las cabeceras de los paquetes tienen un campo de reconocimiento positivo o negativo (ACK / NACK). Si se recibe un paquete, en este campo se indica si el campo de datos de usuario del paquete enviado anteriormente se ha recibido correctamente. Si no se recibió correctamente, en este campo se indica NACK (ARQN = 0) y tendrá que retransmitirlo. Si se recibieron todos los datos bien, entonces no hace falta que lo vuelva a retransmitir (ARQN = 1). Este proceso se ilustra en la siguiente figura.

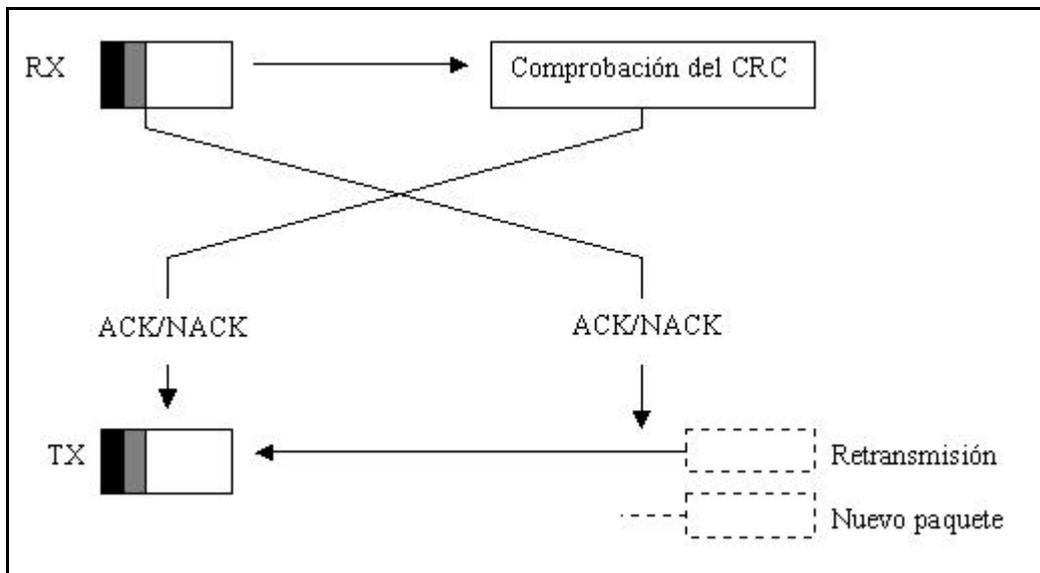


Figura 10. Mecanismo ARQ en Bluetooth.

En el caso de una piconet con múltiples esclavos el maestro llevará un protocolo ARQ independiente para cada uno de ellos. Los paquetes broadcast no utilizan esquema de reconocimiento, cada uno de estos paquetes se repite un número fijo de veces. Así el paquete broadcast se repite N veces antes de la repetición del siguiente paquete broadcast del mismo mensaje broadcast.

2.4.13. Administración de la energía.

Este es un punto importante en el diseño de todo sistema que esté alimentado mediante una batería, ya que interesa que el consumo de esta sea el menor posible. Para el ahorro de energía, Bluetooth define una serie de estados en los que entran y salen las estaciones. En el modo ocioso (idle), la estación solo escanea la red durante 10 ms cada T segundos, donde T puede estar entre [1.28 – 3.84] segundos. También se define un modo aparcado (PARK), donde el rango de T es algo más corto. Sin embargo, este modo sólo se puede aplicar cuando se haya establecido una piconet. Sólo los esclavos pueden ponerse en este modo. El esclavo sólo tiene que escuchar el código de acceso y la cabecera del paquete para estar sincronizado con el resto de estaciones de la red. Otro modo de bajo consumo durante la conexión es el modo SNIFF. En este modo, los esclavos no acceden a la red en todos los slot maestro-a-esclavo.

En periodos de largo silencio, el maestro tiene que enviar por el canal a todos los esclavos, para que estos puedan resincronizar sus relojes.

Durante varias operaciones de transmisión y recepción, una unidad mira el código de acceso al comienzo del slot de recepción. Si se recibe el código de acceso, entonces se decodifica la cabecera, ya que significa que el paquete puede ser para él. Si los 3 bits de la dirección del esclavo no coinciden con los del receptor, entonces deja de decodificar y vuelve a dormir.

2.4.14. Interconexión de piconets.

Bluetooth ha sido diseñado para que puedan haber decenas de piconets operando en la misma zona, sin reducir el rendimiento. A este conjunto de piconets se le conoce como scatternet. Esto es posible gracias a que Bluetooth utiliza una comunicación basada en paquetes sobre enlaces ranurados. Una estación puede participar en varias piconets, pero en un instante de tiempo determinado sólo puede comunicarse en una, sin embargo la estación puede ir saltando de piconet en piconet ajustando los parámetros del canal (identificación del maestro y reloj del maestro). Una estación puede cambiar de rol al pasar de una piconet a otra, es decir, puede ser esclava en una piconet y maestra en otra, pero nunca puede ser maestra en dos piconets diferentes. El mecanismo de selección del salto en frecuencias ha sido diseñado para permitir la comunicación entre diferentes piconets. En Bluetooth, se ha definido un modo HOLD, para permitir a una estación abandonar temporalmente una piconet y visitar otra (HOLD también puede ser utilizado como un modo adicional de bajo consumo).

2.4.15. Seguridad.

Aunque Bluetooth ha sido diseñado principalmente para conexiones de corto alcance entre dispositivos personales o periféricos, se han incluido algunos mecanismos de seguridad para prevenir un uso no autorizado. En el establecimiento de la conexión se lleva a cabo un proceso de autenticación para verificar las identidades de las unidades involucradas en la comunicación. El proceso de autenticación utiliza el esquema de desafío – respuesta que se puede observar en la siguiente figura.

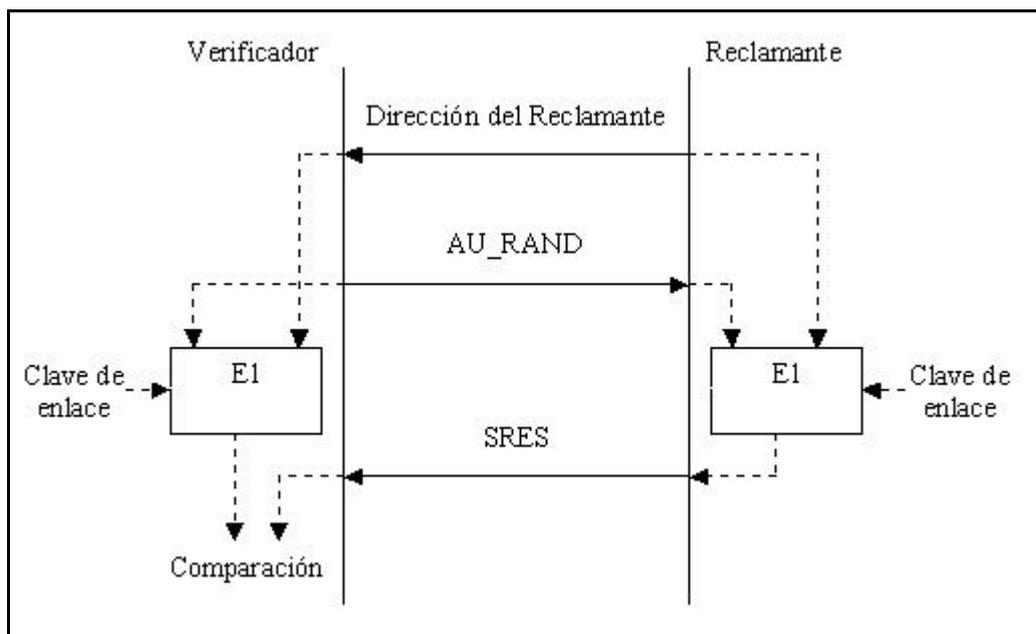


Figura 11. Procedimiento de autenticación en Bluetooth.

El reclamante (derecha) transmite su dirección de 48 bits al verificador (izquierda). El verificador le devuelve un número aleatorio (AU RAND) de 128 bits. El AU RAND, la dirección del reclamante y una clave secreta (compartida entre ambas estaciones) de enlace de 128 bits forman los parámetros de entrada a una función hash segura (E1) basada en el SAFER+. Esta produce un mensaje de respuesta de 32 bits (SRES). El SRES producido por el reclamante se envía al verificador, quien lo compara con su SRES propio. Sólo si los dos SRES calculados coinciden, se continuará con el establecimiento de la conexión. Este proceso de autenticación puede ser uni o bidireccional.

Además del SRES de 32 bits, el algoritmo E1 produce una clave autenticada de 96 bits para el proceso de cifrado (ACO). Esta clave sólo se utiliza para el cifrado del campo de datos de usuario. La encriptación no sólo se basa en esta clave, sino que además se cifran los datos mediante un flujo de claves. Este flujo de claves lo genera una segunda función hash E0, basada en unos registros de desplazamiento retroalimentados (LFSRs). Cuando el cifrado está activo, el maestro envía un número aleatorio (EN RAND) al esclavo. Antes de la transmisión de cada paquete, el LFSR se inicializa mediante la combinación del EN RAND, la identificación del maestro, la clave de encriptación y el número de slot. Puesto que el número de slot cambia para cada paquete nuevo, la inicialización también es nueva para cada paquete.

El elemento principal en la seguridad de Bluetooth es la clave de enlace de 128 bits. Esta clave es secreta y reside en el hardware de Bluetooth, además de que no es accesible por el usuario. Esta clave se genera durante la fase de inicialización. Para autorizar la inicialización, el usuario tiene que introducir un PIN idéntico en los dos dispositivos.

Bluetooth proporciona un número limitado de elementos de seguridad. Si se quieren instalar otros procedimientos más avanzados se tendrán que aplicar sobre las capas superiores.

2.5. Pila de protocolos.

La pila de protocolos se puede ver en la siguiente figura.

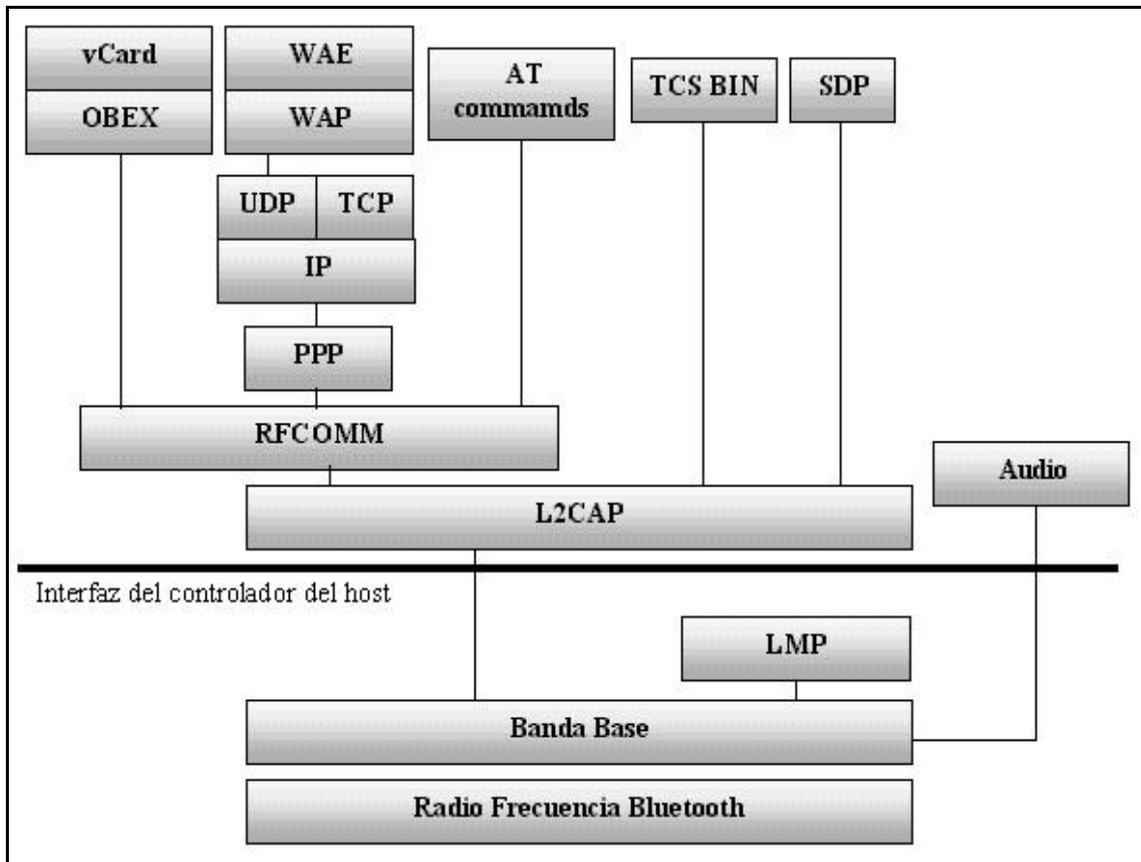


Figura 12. Pila de protocolos Bluetooth.

Las funciones básicas que desarrollan cada una de las capas se describen a continuación:

- La capa de radio frecuencia especifica los parámetros de radio.
- La capa de banda base nos define las operaciones de a nivel de bits y a nivel de paquete (operaciones FEC, cifrado, CRC, protocolo ARQ).
- La capa de gestión del enlace (LM) especifica el establecimiento y liberación de la conexión, autenticación, conexión y liberación de los canales SCO y ACL, supervisión del enlace y gestión de tareas para el control de la energía.
- El protocolo de adaptación y control el enlace lógico (L2CAP) se introduce para establecer una interfaz entre ciertos protocolos estándares de transporte de datos y el protocolo Bluetooth. Éste maneja la multiplexación de

protocolos de alto nivel y la segmentación y reensamblaje de grandes paquetes.

- Sobre la capa L2CAP se implementan capas como RFCOMM y otros protocolos de red (TCP/IP, PPP, OBEX, Wireless Application Protocol, ...).
- La capa RFCOMM proporciona una emulación del puerto serie.
- SDP es un servicio que permite a las unidades Bluetooth encontrar otras unidades que se encuentren en su mismo rango. También descubre los servicios que tienen disponibles y las características de esos servicios. Es útil para servicios comunes como impresión, faxes, ... y servicios más avanzados como teleconferencias, puntos de acceso, comercio electrónico,...

Además de los protocolos, que garantizan que dos estaciones puedan “hablar el mismo lenguaje”, se definen perfiles. Los perfiles se asocian con aplicaciones. Este concepto previene a dispositivos con baja capacidad de procesamiento o con poca memoria el implementar toda la pila de protocolos de Bluetooth, ya que puede ocurrir que sólo necesiten una pequeña parte. Dispositivos muy simples como pueden ser los cascos para escuchar música o los ratones se pueden usar implementando una pequeña parte de la pila de protocolos. Los perfiles son dinámicos, en el sentido de que cuando aparecen nuevas aplicaciones no se tiene más que añadir un nuevo perfil a la especificación de Bluetooth.

2.6. Estandarización de Bluetooth.

A comienzos de 1998 se formó el Bluetooth Special Interest Group (SIG) para promover los conceptos de Bluetooth y para establecer estándares para la industria. El SIG fue promovido por fabricantes de la industria de las comunicaciones móviles, de la industria de ordenadores portátiles y de la industria de integración de chips: Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba e Intel. En Julio de 1999 se publicó la Versión 1.0 de la especificación. Hoy en día, este estándar sigue en evolución, ya que aparecen aplicaciones nuevas basadas en Bluetooth y únicamente se deben de ir añadiendo más especificaciones a la pila de protocolos.

2.7. Aplicaciones de Bluetooth.

Existen infinidad de sitios donde nos podemos encontrar con unidades Bluetooth. A continuación se citan algunas de las aplicaciones más interesantes en las que se puede encontrar tecnología basada en Bluetooth.

- Podemos encontrar unidades Bluetooth para un auricular definitivo, manos libres para el móvil, coche, etc...
- Envío de postales. Podemos tomar fotos con una cámara Bluetooth, ésta se comunicará con un móvil Bluetooth, que envía por teléfono o por Internet la foto a los amigos.
- Acceso a Internet, aunque no es finalidad de Bluetooth, pero puede valer, en estaciones de autobús o aeropuertos.

- Sincronización de dispositivos. Por ejemplo entre PDAs y un ordenador sin necesidad de cables.
- Podemos tener tres teléfonos en un móvil: móvil, teléfono inalámbrico usando línea fija de la casa u oficina o como walkie dentro de una misma casa u oficina.
- Para conectar periféricos del PC sin cables. La empresa Logitech está volcada en esto.
- Automatización del hogar, entretenimiento, comercio electrónico, control industrial.
- Automoción. Saab (Volvo) quiere quitar cables de elementos electrónicos del coche.
- Aplicaciones de pago. Con una PDA o con un móvil Bluetooth se conecta con el vendedor o con el banco y se realiza la compra / transferencia del dinero. Incluso usando el portal wap del vendedor.
- Otra aplicación muy interesante es BLIP (Bluetooth Infotainment Point). Es una especie de punto de acceso que puede ofrecer acceso a Internet o a una intranet. Los ayuntamientos tienen pensado ponerlo en las paradas del autobús y al llegar allí puedes tener información en tiempo real del próximo autobús, horarios, rutas, datos de interés o incluso información de cercanía, como las farmacias o los restaurantes más cercanos.
- Se citan a continuación algunos productos que incorporan un dispositivo Bluetooth: kit de desarrollo, BLIP, ordenador portátil Toshiba Tecra 9000 (WiFi + BT), tarjetas PCMCIA, HP Deskjet 995c, teléfonos móviles Ericsson T39 y R520, IPAQ H3870, adaptadores Palm Blue5, adaptador para USB, lápices inalámbricos, modem Adsl BT, etc...

2.8. Conclusiones.

- Bluetooth es una especificación técnica de una nueva tecnología de comunicación inalámbrica diseñada, principalmente para eliminar cables entre equipos móviles, y permitir la comunicación entre ellos de voz y datos.
- El impulso definitivo para el desarrollo de Bluetooth fue la creación de un grupo de interés especial (SIG) formado por varias compañías de los sectores de las telecomunicaciones, informática y fabricantes de chips, entre las cuales se encontraban: Ericsson, IBM, Intel, Nokia y Toshiba. En la actualidad más de 2000 empresas son miembros del SIG, colaborando e impulsado ésta tecnología con el desarrollo de productos y aplicaciones.
- Bluetooth se utiliza para la creación de pequeñas redes de comunicación inalámbrica, por lo que cualquier equipo portátil que lo incorpore podrá compartir información con otros equipos, cómo teléfonos móviles, PDAs, PCs portátiles, módems, cámaras, etc. Debido al gran número de equipos que

se prevé que incorporen ésta tecnología, se abrirá en un futuro próximo un abanico de posibilidades de intercomunicación entre diversos tipos de aparatos no visto hasta ahora.

- Bluetooth se complementa perfectamente con WAP y GPRS, de hecho éstas tres tecnologías forman parte del concepto de internet móvil. Respecto a IEEE 802.11b, en un primer momento se vio a Bluetooth como una tecnología competidora, pero en éstos momentos muchos fabricantes se están planteando adoptar ambas tecnologías para sus equipos, sobre todo en PCs portátiles, y así poder abarcar todos los posibles escenarios de uso. IrDa es la tecnología que posiblemente se vea sustituida por Bluetooth, aunque todavía está presente en muchos equipos y en algunos de ellos también se complementa con Bluetooth.
- Dentro del grupo PAN (personal área networks) de la organización IEEE, está previsto adoptar a Bluetooth como el estándar IEEE 802.15.
- Los equipos que integren Bluetooth no tendrán porque ser más caros que los demás ya que ésta tecnología ha sido concebida como de bajo coste. Aunque en una primera fase el coste de la integración será un tanto elevado como es de esperar, posteriormente y según las previsiones el usuario final no lo apreciará, ya que los fabricantes lo incluirán en sus propios costes de fabricación.
- A finales del 2000 ya aparecieron las primeras tarjetas adaptadoras, en el año 2001 aparecieron los primeros equipos con Bluetooth integrado, como teléfonos, impresoras, etc. Se espera que el desarrollo final de ésta tecnología haga entre el 2002 y el 2005, por lo que en los próximos años encontraremos numerosos dispositivos con Bluetooth.

En la siguiente tabla se muestra un comparativa entre las diferentes tecnologías de redes locales inalámbricas que se han descrito brevemente.

Tecnología	Espectro	Órgano estandarizador	Selección de frecuencias	Velocidad
802.11 FH	2.4GHz	IEEE	FH (Frequency Hopping)	2 Mbps
802.11 DS	2.4GHz	IEEE	DS (Direct Sequence)	2 Mbps
802.11b	2.4GHz	IEEE	DS (Direct Sequence)	11 Mbps
802.11a	5 GHz	IEEE	Single carrier	54 Mbps
HIPERLAN	5 GHz	ETSI		23,5 Mbps
HIPERLAN2	5 GHz	ETSI	Single carrier with dynamic frequency selection	54 Mbps
Bluetooth	2.4GHz	Bluetooth SIG	FH (Frequency Hopping)	1 Mbps
HomeRF (SWAT 1.1)	2.4GHz	HomeRF Working Group	FH (Frequency Hopping)	1,6 Mbps

Tabla 1. Comparativa entre tecnologías WLAN.

Anexo I: Conceptos.

ALOHA

Es un método que se inventó en los años 70 para resolver el problema de reparto del canal.

Existen dos versiones de ALOHA: la pura y la ranurada.

- **ALOHA puro:**
Se permite que los usuarios transmitan cuando tengan datos por enviar. Si se produce una colisión, el transmisor espera un tiempo aleatorio y envía los datos de nuevo.
- **ALOHA ranurado:**
Lo que se hace en este caso, es dividir el tiempo en intervalos discretos, correspondientes cada uno a un marco. Una estación sólo puede enviar un dato al comienzo de la ranura (intervalo). Si cuando envía se produce una colisión, espera un tiempo aleatorio y vuelve a enviar el marco al comienzo de otro marco.

Información del control de enlace

Esta es la información que necesita conocer una estación para poder mantener la red.

Incluye lo siguiente:

- Una dirección de 3 bits. Se utiliza para diferenciar a las unidades de una piconet. Se mantienen identificadas por 3 bits ya que, como máximo, puede haber 8 unidades en una piconet.
- Un bit de reconocimiento positivo o negativo, para el esquema de petición de repetición automática (ARQ). Esto se explica con más detalle en el punto de Control de acceso al medio (MAC).
- 4 bits para indicar el tipo de paquete. Se indica uno de los 16 tipos de campos de usuario diferentes que hay. Se muestran algunos de estos tipos (los más significativos) en el punto Paquetes.
- Un código de comprobación de error (HEC) de 8 bits. Éste es un código redundante cíclico (CRC) para detectar errores en la cabecera.

Enlace full – dúplex

Existen tres tipos de enlaces:

- **Enlaces símplex:** Son aquellos enlaces que permiten la transferencia de los datos en una única dirección.
- **Enlaces semi – dúplex:** Son aquellos que dejan que los datos se transfieran en cualquier dirección, pero no de forma simultánea.

- Enlaces full – dúplex: Los datos se pueden transferir en ambas direcciones a la vez.

CDMA-One (Code Division Multiple Access One)

Una tecnología para transmitir señales digitales de radio entre, por ejemplo, un teléfono móvil y una estación radio base. En CDMA, una frecuencia es dividida en un número de códigos. El estándar original de CDMA es IS-95 CDMA (también conocido como CDMAOne). El siguiente paso evolutivo es CDMA2000.

CDMA (Code Division Multiple Access)

Acceso Multiple por División de Código; es una tecnología usada para telefonía celular con rehuso de frecuencia 1, a diferencia de las tecnologías de División de Tiempo no se utilizan canales multiplexados en tiempo para la transmisión de información (voz o datos) en lugar de ello todas las señales son montadas en una sola portadora (1.25 MHz) para su radio-transmisión y a cada señal se le asigna un código que la identifica para ser reconvertida a información (voz o datos).

CDMA2000 (Code Division Multiple Access 2000)

CDMA2000, también conocida como IS-136 e IMT-CDMA Multi-corner (1X/3X), es una tecnología de transmisión de radio para la evolución del ancho de banda de CdmaOne/IS-95 a la 3G añadiendo múltiples carriers.

CDMA2000 será desarrollada en dos fases. La primera, soporta paquetes de datos por encima de los 144 Kbps. Una extensión de esta fase aumenta este rango por encima de los 614 Kbps. En la segunda fase se llega a los 2 Mbps. El principal interés de CDMA reside en que es más eficiente espectralmente, pero necesita un control de potencia muy estricto, lo cual puede significar que se ha de transmitir un exceso de información que reduce la capacidad útil disponible.

DSSS ("Direct Sequence Spread Spectrum")

Tecnología que, a diferencia de FHSS, DSSS no requiere enviar la información a través de varias frecuencias, la manera en que DSSS logra esto es mediante un transmisor; cada transmisor agrega bits adicionales a los paquetes de información y únicamente el receptor que conoce el algoritmo de estos bits adicionales es capaz de descifrar los datos. Es precisamente el uso de estos bits adicionales lo que permite a DSSS transmitir información a 10 Mbps y una distancia máxima entre transmisores de 150 mt. Un estándar que utiliza DSSS es IEEE 802.11b.

EDGE (Enhanced Data para la Evolución GSM)

Una tecnología que da a GSM la capacidad de manejar servicios para la tercera generación de telefonía móvil. EDGE fue desarrollada para permitir la transmisión de largas cantidades de datos a grandes velocidades, 384 Kbps. EDGE utiliza la misma estructura que TDMA (Time Division Multiple Access), el mismo canal lógico y 200 kHz para el ancho de banda que utilizan las actuales redes de GSM, lo cual permite que los planes existentes de celdas se mantengan intactos.

FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Es la tecnología más común de acceso truncado. Con FDMA, se asigna a los usuarios un canal de un conjunto limitado de canales ordenados en el dominio de la frecuencia. Los canales de frecuencia son muy preciados, y son asignados a los sistemas por los cuerpos reguladores de los gobiernos de acuerdo con las necesidades comunes de la sociedad. Cuando hay más usuarios que el suministro de canales de frecuencia puede soportar, se bloquea el acceso de los usuarios al sistema. Cuantas más frecuencias se disponen, hay más usuarios, y esto significa que tiene que pasar más señalización a través del canal de control. Los sistemas muy grandes FDMA frecuentemente tienen más de un canal de control para manejar todas las tareas de control de acceso. Una característica importante de los sistemas FDMA es que una vez que se asigna una frecuencia a un usuario, ésta es usada exclusivamente por ese usuario hasta que éste no necesite el recurso. La tecnología FDMA separa el espectro en distintos canales de voz, al separar el ancho de banda en pedazos (frecuencias) uniformes. La tecnología FDMA es mayormente utilizada para la transmisión analógica. Esta tecnología no es recomendada para transmisiones digitales, aun cuando es capaz de llevar información digital.

FHSS ("Frequency Hopping Spread Spectrum")

Fue la primera tecnología de implementación del espectro extendido y funciona de la siguiente manera. Al igual que Ethernet los datos son divididos en paquetes de información, solo que estos paquetes son enviados a través de varias frecuencias, esto es conocido como "Hopping Pattern", la intención de enviar la información por varias frecuencias es cuestión de seguridad, ya que si la información fuera enviada por una sola frecuencia sería muy fácil interceptarla. Además, para llevar a cabo la transmisión de datos es necesario que tanto el aparato que envía como el que recibe información coordinen este denominado "Hopping Pattern". El estándar IEEE 802.11 utiliza FHSS, aunque hoy en día la tecnología que sobresale utilizando FHSS es Bluetooth.

GSM (Global System for Mobile Communications)

GSM, introducido en 1991, es uno de los sistemas celulares digitales líderes. Utiliza un ancho de banda angosto y TDMA. 8 llamadas simultáneas pueden ocupar la misma radio frecuencia. GSM simplifica la transmisión de datos para permitir a portátiles y palmtops ser conectados a teléfonos GSM. Ofrece la integración de servicios como mail de voz, datos de alta velocidad, fax, radio localizador y mensajes cortos, así como comunicación segura. Ofrece la mejor calidad de voz de cualquier estándar digital inalámbrica actual.

Originalmente un estándar Europeo para telefonía móvil digital, GSM se ha vuelto el sistema móvil más usado a nivel global, en alrededor 100 países. Las redes de GSM operan en la banda de 900 MHz y 1800 MHz en Europa, Asia y Australia, y en la banda de 1900 MHz en Norte América y en partes de Latinoamérica y África.

GPRS (General Packet Radio Service)

GSM, introducido en 1991, es uno de los sistemas celulares digitales líderes. Utiliza un ancho de banda angosto y TDMA. 8 llamadas simultáneas pueden ocupar la misma

radio frecuencia. GSM simplifica la transmisión de datos para permitir a laptops y palmtops ser conectadas a teléfonos GSM. Ofrece la integración de servicios como mail de voz, datos de alta velocidad, fax, radio localizador y mensajes cortos, así como comunicación segura. Ofrece la mejor calidad de voz de cualquier estándar digital inalámbrica actual.

Originalmente un estándar Europeo para telefonía móvil digital, GSM se ha vuelto el sistema móvil más usado a nivel global, en alrededor 100 países. Las redes de GSM operan en la banda de 900 MHz y 1800 MHz en Europa, Asia y Australia, y en la banda de 1900 MHz en Norte América y en partes de Latinoamérica y África.

IRDA (Infrared Data Association, IrDA)

La asociación de datos por infrarrojos es una organización patrocinada por la industria y establecida en 1993 para crear estándares internacionales para el equipo y programas usados en los enlaces de comunicación por infrarrojos.

En esta forma especial de transmisión de radio, un haz enfocado de luz en el espectro de frecuencia infrarrojo, medido en terahercios o billones de hertzios (ciclos por segundo) se modula con información y se envía de un transmisor a un receptor a una distancia relativamente corta. La radiación infrarroja (IR) es la misma tecnología usada para controlar un televisor con un mando a distancia.

La comunicación infrarroja involucra un transceptor (una combinación de transmisor y receptor) en los dos dispositivos que se comunican. Hay microchips especiales que proporcionan esta capacidad. Adicionalmente, uno o ambos dispositivos pueden requerir software especial para que la comunicación pueda sincronizarse.

En el estándar IrDA-1.1, el máximo tamaño de datos que se pueden transmitir es de 2048 bytes y la tasa máxima de transmisión es de 4 Mbps.

La IR también puede usarse para interconexiones un tanto más largas y es una posibilidad para las interconexiones en redes de área local (LAN). La distancia efectiva máxima es algo menor a los ocho kilómetros y el máximo ancho de banda proyectado es de 16 megabits por segundo. Dado que la IR es transmisión en línea visual (ambos dispositivos deben poder "verse" entre sí), es sensible a la niebla y otras condiciones atmosféricas.

TDMA (Time Division Multiple Access)

TDMA (también conocido como D-AMPS) es un tecnología para transmisión digital de señales de radio entre, por ejemplo, un teléfono móvil y una estación radio base. En TDMA, la frecuencia de banda es dividida en cierto número de canales, los cuales son apilados en unidades de tiempo cortas, de manera varias llamadas pueden compartir un solo canal sin interferir una con otra. TDMA es utilizado por el estándar móvil digital de GSM.

TDMA esta basado en el estándar IS-136. Uno de los sistemas inalámbricos digitales más ampliamente desarrollados a nivel global. Ofrece un patrón evolutivo natural de las redes analógicas AMPS, ofrece cobertura eficiente y está bien equipado para el

desarrollo de aplicaciones emergentes, como Wireless Virtual Private Networks (VPNs), y es la plataforma ideal para PCS (Personal Communication Services).

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

Es el nombre que recibe el estándar Europeo para la tercera generación de telefonía móvil, estandarizado por ETSI. La Unión Internacional de Telecomunicaciones auspició el desarrollo de este sistema de tercera generación bajo la norma IMT-2000. UMTS tendrá un papel protagonista en la creación del mercado futuro para las comunicaciones multimedia inalámbricas de alta calidad que alcanzarán a 2000 millones de usuarios en todo el mundo en el año 2010. En los últimos diez años, UMTS ha sido objeto de intensos esfuerzos de investigación y desarrollo en todo el mundo, y cuenta con el apoyo de numerosos e importantes fabricantes y operadores de telecomunicaciones ya que representa una oportunidad única de crear un mercado masivo para el acceso de la sociedad a servicios móviles altamente personalizados y de uso fácil. UMTS busca basarse en y extender las actuales tecnologías móviles inalámbricas y satelitales proporcionando mayor capacidad, posibilidades de transmisión de datos y una gama de servicios mucho más extensa, usando un innovador programa de acceso radioeléctrico y una red principal mejorada.

WAP (Wireless Application Protocol)

WAP es un protocolo gratuito y sin licencia para las comunicaciones inalámbricas, que hace posible crear servicios de telecomunicaciones avanzados y acceder a páginas de Internet a partir de un teléfono o terminal móvil. WAP soporta la mayoría de los estándares de redes inalámbricos incluyendo CDMA, GSM, TDMA. Las terminales WAP entienden el lenguaje WML, el cual es optimizado por pequeñas pantallas y navegación sin la necesidad de un teclado. WAP incluso soporta un lenguaje WMLScript.

WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)

Es una tecnología para comunicaciones de radio digital con un ancho de banda para Internet, Multimedia, video y otras aplicaciones de alta capacidad. Se considera una evolución de GSM hacia la tercera generación. Soporta velocidades de hasta 2 Mbps, banda ancha (5 MHz portadora) y servicios multimedia con múltiples conexiones de circuitos o paquetes desde un único terminal. WCDMA, desarrollada por Ericsson, ha sido seleccionada para los sistemas de telefonía móvil de 3G en Europa, Japón y Estados Unidos. Voz, imágenes, datos y video son convertidos primero a una señal de radio digital que es distinguida de la señal de otros usuarios. WCDMA utiliza técnicas de rangos variables en procesamiento digital y puede conseguir transmisiones de rango-múltiples.