



Análisis de Prestaciones de Sistemas de Comunicaciones Inalámbricas en Aplicaciones de Robótica: Sistema Software

Proyecto Final de Carrera

AUTORA: Elisabeth García Mancebo

DIRECTOR: Joan Oliver Malagelada

Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones
Esp. Sistemas Electrónicos

Bellaterra 16 de Junio de 2009

ÍNDICE

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Introducción..... | 4 |
| 2. | Planificación | 6 |
| 2.1 | Tecnologías Inalámbricas | 6 |
| 2.2 | Micro-controlador ATmega8 | 6 |
| 2.3 | Control servomotor y sonar | 7 |
| 2.4 | Interfaz Gráfica | 7 |
| 2.5 | Implementación Bluetooth..... | 7 |
| 2.6 | Implementación RF..... | 7 |
| 3. | Tecnologías Inalámbricas | 8 |
| 3.1 | Wi-Fi..... | 8 |
| 3.1.1. | Características generales..... | 9 |
| 3.1.2. | Arquitectura de funcionamiento | 10 |
| 3.1.3. | Conexión..... | 11 |
| 3.2 | Radiofrecuencia | 12 |
| 3.2.1. | Características generales..... | 13 |
| 3.2.2. | Componentes | 13 |
| 3.3 | Bluetooth..... | 16 |
| 3.3.1. | Características generales..... | 16 |
| 3.3.2. | Arquitectura de funcionamiento | 17 |
| 3.3.3. | Conexión..... | 18 |
| 3.3.4. | Protocolos de comunicación..... | 19 |
| 3.3.5. | Componentes | 20 |
| 3.4 | ZigBee..... | 25 |
| 3.4.1. | Características generales..... | 25 |
| 3.4.2. | Arquitectura de funcionamiento | 27 |
| 3.4.3. | Conexión..... | 28 |
| 3.4.4. | Características generales del protocolo | 28 |
| 3.4.5. | Componentes | 28 |
| 4. | Criterios de selección de red y componentes..... | 30 |
| 5. | Interfaz Gráfica..... | 32 |
| 5.1 | Microsoft Visual Basic | 32 |
| 5.2 | Aplicación..... | 32 |

| | | |
|-----|----------------------|----|
| 5.3 | Funcionamiento | 33 |
| 6. | Conclusiones..... | 35 |
| 7. | Bibliografía..... | 37 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 1. | Planificación del Proyecto | 6 |
| Figura 2. | Red Wi-Fi..... | 9 |
| Figura 3. | Diferentes elementos de una red Wi-Fi..... | 10 |
| Figura 4. | Router Wi-Fi. | 11 |
| Figura 5. | Tarjeta PCI para conexión Wi-Fi. | 11 |
| Figura 6. | Tarjeta PCMCIA para conexión Wi-Fi. | 11 |
| Figura 7. | Tarjeta USB para conexión Wi-Fi..... | 11 |
| Figura 8. | Tabla de componentes RF..... | 15 |
| Figura 9. | Bandas de Frecuencia..... | 16 |
| Figura 10. | Salto de frecuencia..... | 17 |
| Figura 11. | Piconet..... | 17 |
| Figura 12. | División de una trama de bits en Bluetooth. | 18 |
| Figura 13. | Tabla componentes Bluetooth..... | 24 |
| Figura 14. | Casa domótica vía ZigBee. | 25 |
| Figura 15. | Topologías ZigBee..... | 26 |
| Figura 16. | Tabla de componentes ZigBee..... | 29 |
| Figura 17. | Tabla comparativa de las tecnologías seleccionadas. | 31 |
| Figura 18. | Icono MSComm..... | 32 |
| Figura 19. | Programa Bluetooth. | 33 |
| Figura 20. | Programa RF. | 34 |

1. Introducción

Hoy en día, cada vez es más común el uso de robots, tanto en la industria como en otros ámbitos de la vida cotidiana. La robótica se ha convertido en un elemento de uso esencial para muchas personas y empresas, debido a que el empleo de todo tipo de robots minimiza esfuerzos y facilita la ejecución de multitud de tareas que pudieran resultar peligrosas o repetitivas para el hombre. El auge de la robótica está intrínsecamente relacionado con el desarrollo de la tecnología, con el abaratamiento de costes y con la reducción del tamaño de los dispositivos microelectrónicos.

Una característica importante de la robótica es la comunicación entre sistema base y robot que puede establecerse de forma remota. Ello representa la base del proyecto que se describe a continuación, el cual se descompone de dos partes, una por cada miembro del proyecto: sistema software y sistema hardware.

En el sistema software analizaremos las diferentes tecnologías inalámbricas (características, funcionamiento, seguridad, etc.), se realizará una comparativa de los diferentes módulos de comunicación y finalmente decidiremos aquellos que nos interesa para la implementación en Radiofrecuencia (RF) y Bluetooth. En este sistema también estudiaremos la interfaz gráfica que se utilizará, así como los programas creados en este entorno para realizar las implementaciones.

En el sistema hardware trataremos de realizar el control de dos periféricos de forma independiente, un servomotor y un sonar, que nos servirán como ejemplo para analizar una posible comunicación entre varios robots y un PC. Por lo tanto, en este apartado analizaremos a fondo los diferentes componentes que harán posible tanto la comunicación, vía RF y Bluetooth, como el control de los diferentes dispositivos.

Por lo tanto, los objetivos del proyecto son:

- Utilizar la comunicación inalámbrica como elemento de autonomía para un robot.
- Analizar los sistemas inalámbricos para aplicarlos a la robótica, profundizando en el sistema Bluetooth y en el sistema de Radiofrecuencia.
- Aplicación a diferentes robots en un mismo instante (comunicación multiterminal): Crear una red de control sobre diferentes dispositivos y a la vez, permitir la comunicación entre ellos.

Cabe destacar que para nosotros la profundización en ambas tecnologías tiene su base en las telecomunicaciones, aunque como se verá en posteriores apartados intervienen diferentes disciplinas, como teoría de control, lenguajes de programación, etc.

2. Planificación

En la planificación de nuestro proyecto hemos destacado las etapas que se describen a continuación y que se observan en orden cronológico en la Figura 1.

| | Nombre de tarea | Comienzo | Fin | Predecesoras | Nombres de los recursos |
|----|------------------------------|---------------------|---------------------|--------------|---|
| 1 | ☐ Proyecto Final de Carrera | lun 03/11/08 | vie 05/06/09 | | |
| 2 | ☐ Tecnologías Inalámbricas | lun 03/11/08 | vie 19/12/08 | | |
| 3 | Información General | lun 03/11/08 | vie 21/11/08 | | Elisabeth García Mancebo |
| 4 | Hardware | lun 24/11/08 | vie 12/12/08 | 3 | Elisabeth García Mancebo |
| 5 | Elección de Dispositivos | lun 15/12/08 | vie 19/12/08 | 4 | Elisabeth García Mancebo; José Lao Albadalejo |
| 6 | ☐ Micro-controlador ATmega8 | lun 03/11/08 | vie 21/11/08 | | |
| 7 | Hardware | lun 03/11/08 | vie 14/11/08 | | José Lao Albadalejo |
| 8 | Software | lun 17/11/08 | vie 21/11/08 | 7 | José Lao Albadalejo |
| 9 | ☐ Control servomotor y sonar | lun 24/11/08 | vie 16/01/09 | | |
| 10 | ATmega8-Periféricos | lun 24/11/08 | vie 16/01/09 | 8 | José Lao Albadalejo |
| 11 | ☐ Interfaz Gráfica | mié 07/01/09 | vie 16/01/09 | | |
| 12 | Microsoft Visual Basic | mié 07/01/09 | vie 16/01/09 | 5 | Elisabeth García Mancebo |
| 13 | ☐ Implementación Bluetooth | lun 16/02/09 | vie 17/04/09 | | |
| 14 | Estudio del Blumore200 | lun 16/02/09 | vie 20/02/09 | 10 | Elisabeth García Mancebo; José Lao Albadalejo |
| 15 | Analizar Comunicación | lun 02/03/09 | vie 13/03/09 | 14 | José Lao Albadalejo |
| 16 | Funcionamiento | lun 16/03/09 | vie 03/04/09 | 15 | José Lao Albadalejo |
| 17 | Extraer Resultados | mar 14/04/09 | vie 17/04/09 | 16 | Elisabeth García Mancebo; José Lao Albadalejo |
| 18 | ☐ Implementación RF | lun 23/02/09 | vie 05/06/09 | | |
| 19 | Estudio del RTF-DATA-SAV | lun 23/02/09 | vie 27/02/09 | 10 | Elisabeth García Mancebo; José Lao Albadalejo |
| 20 | Analizar Comunicación | lun 20/04/09 | vie 01/05/09 | 19 | José Lao Albadalejo |
| 21 | Funcionamiento | lun 04/05/09 | vie 29/05/09 | 20 | José Lao Albadalejo |
| 22 | Extraer Resultados | lun 01/06/09 | vie 05/06/09 | 21 | Elisabeth García Mancebo; José Lao Albadalejo |

Figura 1. Planificación del Proyecto

2.1 Tecnologías Inalámbricas

Este es el punto de partida del proyecto. Analizamos las diferentes tecnologías inalámbricas existentes (características, funcionalidad, seguridad, etc.), y realizamos un estudio de mercado de los componentes asociados a cada una de las tecnologías para poder establecer una comparativa teniendo en cuenta factores como: tasa de transmisión, consumo, precio, etc.

2.2 Micro-controlador ATmega8

Podríamos decir que el micro-controlador ATmega8 es una de las piezas claves en todo el prototipo. Es por ello, que merece una etapa en la planificación del proyecto, en la cual se analiza el hardware del ATmega8, así como el software asociado a éste y tratamos pequeños programas a modo de ejemplo para ir familiarizándonos con el micro-controlador.

2.3 Control servomotor y sonar

Dos de los periféricos que se utilizan a modo de ejemplo para analizar la comunicación host > robot, son un servomotor y un sonar. Es en esta parte de la planificación donde estudiamos las diferentes técnicas para tener control sobre ambos periféricos y se realiza el programa óptimo en el ATmega8 para gobernarlos.

2.4 Interfaz Gráfica

El PC, nuestra estación base, requiere de un software encargado de realizar el control sobre los diferentes periféricos. Por lo tanto, hemos de ver cuál es el software idóneo para establecer la comunicación y las posibilidades que nos ofrece, para empezar a diseñar el prototipo de la comunicación.

2.5 Implementación Bluetooth

Es en esta etapa donde entramos a fondo en el prototipo Bluetooth. Se empieza analizando el módulo encargado de establecer la comunicación (Bluemore200), el software asociado, así como las posibilidades que nos ofrece para establecer la red de comunicación. Seguidamente se realizan diferentes pruebas punto a punto, para acabar diseñando la placa que permita gobernar todo el sistema. Como en todo diseño electrónico, se acaban extrayendo resultados.

2.6 Implementación RF

Es una etapa muy similar a la anterior, en lo que ha estudio se refiere, pero muy diferente a la hora de implementación. Se han de trabajar con niveles RS232, lo que conlleva el estudio del chip MAX232 y las diferentes pruebas para ver que los datos se reciben correctamente. En este caso, el módulo de comunicación es el RTF-DATA-SAW. Igual que en la etapa anterior, se analizan las posibilidades de la comunicación y se diseña la placa del prototipo para gobernar todo el sistema, se concluye extrayendo resultados.

3. Tecnologías Inalámbricas

Las comunicaciones inalámbricas son aquellas que no utilizan un medio de propagación físico, sino que utilizan ondas electromagnéticas con una cierta modulación, que se propagan por el aire, sin necesidad de una conexión directa con los dispositivos a comunicar.

Este tipo de tecnología usa unas bandas de frecuencia específicas, la cual depende de las aplicaciones de la comunicación, para transmitir y recibir la información. Esta banda puede tener licencia o no, y puede ser privada o estar abierta a cualquier usuario.

La velocidad y la distancia de cobertura de la comunicación inalámbrica, depende de forma exclusiva de la tecnología inalámbrica utilizada, así como de los dispositivos que forman parte de la red de comunicación.

Como es de esperar, este tipo de comunicaciones presentan una mayor sensibilidad a las interferencias. Por esta razón deben integrar métodos de corrección de errores para evitar la pérdida total de la información, además de implementar una serie de características para evitar que la información que viaje por una misma banda de frecuencias se solape con la de otros usuarios.

A lo largo del proyecto, únicamente se analizarán con detalle, cuatro tecnologías inalámbricas (entre las múltiples que hay), para posteriormente implementar físicamente dos de las anteriores.

Las cuatro tecnologías analizadas son Wi-Fi, RF, Bluetooth y ZigBee; y las implementadas RF y Bluetooth.

3.1 Wi-Fi

Wi-Fi es un sistema de envío de datos sobre redes computacionales, que utiliza ondas de radio en lugar de cables, con el fin de permitir conectar un equipo a una red y entre ellos haber un intercambio de información sin necesidad de cables. Es una tecnología inalámbrica basada en el estándar IEEE 802.11. Actualmente, las principales tecnologías inalámbricas certificadas son 802.11b y 802.11g, compatibles entre ellas.



Figura 2. Red Wi-Fi.

3.1.1. Características generales

En primer lugar, es una red que ofrece una comodidad superior a las redes cableadas, porque cualquiera que tenga acceso a la red puede conectarse desde distintos puntos dentro de un rango suficientemente amplio de espacio.

Además, una vez configurada, la red WI-FI permite el acceso de múltiples ordenadores al mismo punto de acceso sin problemas de gasto ni infraestructura, siempre que compartan la misma capacidad de transmisión de datos que el punto de acceso.

Debido a las interferencias y pérdidas de señal que el ambiente puede acarrear, presenta una menor velocidad en comparación a una conexión con cables.

En cuanto a la seguridad de red, existen varios programas capaces de capturar paquetes y calcular la contraseña red. Es por eso que se utilizan protocolos de cifrado de datos que se encargan de codificar la información transmitida para proteger su confidencialidad, proporcionados por los propios dispositivos inalámbricos. Otra alternativa para la seguridad de estas redes es la WEP, que consiste en cifrar los datos en su red de forma que sólo el destinatario deseado pueda acceder a ella. WEP codifica los datos mediante una clave de cifrado antes de enviarlo al aire. También encontramos el filtrado MAC, de manera que sólo se permite acceso a la red a aquellos dispositivos autorizados, o incluso la ocultación de los puntos de acceso para que sean invisibles a otros usuarios.

Sin embargo ninguna de estas alternativas es totalmente fiable, ya que todas ellas pueden ser vulneradas.

La velocidad de transmisión inalámbrica depende del estándar, es decir, en la tecnología 802.11b es de 11Mbps aunque la velocidad típica es sólo la mitad. En cambio, la tecnología 802.11g transmite a una velocidad de 54Mbps (llegando a una velocidad de 108Mbps gracias a tecnologías de aceleramiento), teniendo en cuenta que la velocidad

típica de ésta es solamente unas 3 veces mayor que la tecnología 802.b. esta velocidad puede verse reducida debido a la distancia y al envío simultáneo de información de los PC's al punto de acceso. Ambos trabajan a una frecuencia de 2.4GHz.

La información transmitida entre diferentes dispositivos inalámbricos, viaja en forma de tramas, secuencias de bits, divididas en dos zonas:

- Cabecera, dónde se gestionan los datos que se envían, así como la modulación, la paridad...
- Datos, aparece la información que quiere transmitirse.

| | | | | |
|------|----------|--|-------|--|
| | Cabecera | | Datos | |
| OFDM | OFDM | | OFDM | |
| CCK | BARKER | | CCK | |

CCK. Complementary Code Keying

PBCC. Packet Binary Convolutional Coding

OFDM. Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

3.1.2. Arquitectura de funcionamiento

La tecnología Wi-Fi necesita una serie de dispositivos externos e internos para que diferentes elementos puedan interactuar inalámbricamente entre ellos.

Estos elementos son: los routers y puntos de acceso para la emisión de la señal, y las tarjetas receptoras (PCI o USB) para conectarlo al PC.

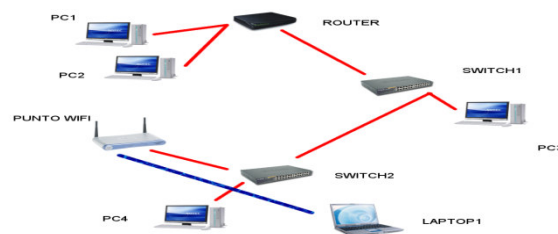


Figura 3. Diferentes elementos de una red Wi-Fi.

- Puntos de acceso: son el emisor remoto. Se colocan en los lugares donde la señal del router no accede.

Estos dispositivos reciben la señal bien por cable UTP o bien capturan la señal y la amplifican.

- Router: Es el encargado de recibir la señal de la línea ofrecida por el operador de telefonía. Se encarga de la recepción, incluyendo el control de errores y la extracción de la información para que puedan trabajar los otros niveles de red. También es el encargado de distribuir la señal.



Figura 4. Router Wi-Fi.

- Hubs y switches: Pueden distribuir la señal, pero no se encargan de las tareas de recepción.
- Dispositivos de recepción (tarjetas PCI, tarjetas PCMCIA y tarjetas USB).
 - Tarjetas PCI: Se conectan a los PC's de sobremesa.



Figura 5. Tarjeta PCI para conexión Wi-Fi.

- Tarjetas PCMCIA: Se utilizaban en los primeros ordenadores portátiles, aunque prácticamente no se utilizan ya que éstos las llevan incorporadas en la actualidad.



Figura 6. Tarjeta PCMCIA para conexión Wi-Fi.

- Tarjetas USB: Las más utilizadas tanto en ordenadores de sobremesa como en portátiles.



Figura 7. Tarjeta USB para conexión Wi-Fi.

3.1.3. Conexión

Una vez establecida la red Wi-Fi, pueden distinguirse dos topologías básicas de conexasiónado:

- Topología Ad-Hoc: Cada dispositivo puede comunicarse con todos los demás.

Cada nodo forma parte de una red de igual a igual, por tanto todos tendrán una misma SSID. Únicamente necesitamos no sobrepasar un número de dispositivos para evitar disminuir el rendimiento. Puede establecerse comunicación aunque algunos dispositivos no lleguen a verse entre ellos.

- Topología Infraestructura: Existe un nodo central (Punto de Acceso Wi-Fi) que sirve de enlace para todos los demás. Para poder establecer la comunicación todos los dispositivos deben estar dentro del radio de cobertura del AP (Access Point). En este tipo de topología, la velocidad de transmisión se ve reducida ya que no hay un límite de usuarios. Además se hace mucho más difícil mantener la red segura ya que los procesos de Autenticación, Autorización y Accounting se dificultan a mayor número de usuarios.

Ambas topologías están basadas en un sistema llamado AAA (Autenticación, Autorización y Accounting).

La Autenticación consiste en identificar al individuo mediante un nombre de usuario y una contraseña previamente preestablecida entre los integrantes de una misma red de comunicación.

La Autorización se basa en la aceptación o denegación del acceso a según qué contenidos de la red, al individuo ya autenticado. Al igual que el caso anterior, son los miembros de la red de comunicación los encargados de asignar el nivel de autorización para cada elemento del grupo.

El Accounting es el proceso que se basa en el rastreo de la actividad del usuario, es decir, los datos transmitidos, el tiempo que permanece conectado, los servicios a los que accede. Todo ello se utiliza para hacer una estadística y considerar la posible reautorización a ciertos accesos, etc.

3.2 Radiofrecuencia

También llamada espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético situado entre 3 Hz y 300GHz.

Las ondas electromagnéticas pueden transmitirse aplicando la corriente alterna originada en un generador a una antena.

3.2.1. Características generales

Dentro del rango de frecuencias que abarca dicha tecnología, únicamente nos interesa el rango de frecuencias que va de 30-3000MHz y cuya longitud de onda es de 1m-100mm, ya que es la banda donde encontramos las comunicaciones inalámbricas.

Esta tecnología no tiene un protocolo establecido, es por eso que no tiene unas características generales, una arquitectura de funcionamiento, etc, hecho que también la hace más versátil y dependiente de las características del dispositivo utilizado en la comunicación.

Para poder establecer una comunicación multipunto es necesario crear un protocolo que permita el intercambio de información entre los diferentes dispositivos.

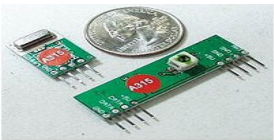
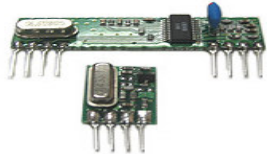

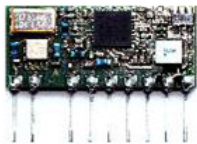
Este protocolo debe contener tanto unos bits asignados a la información que quiere transmitirse, como unos bits que indiquen el dispositivo receptor de la información, bits de error para evitar pérdidas de comunicación, bits destinados a definir la modulación de dicha información, etc.

El protocolo RF más usado para la comunicación inalámbrica de dispositivos es el RS-232.

La velocidad de transmisión y de recepción de información depende en exclusiva de los dispositivos utilizados. En el caso de los componentes utilizados en la implementación desarrollada posteriormente (RTF-Data Saw), para evitar interferencias la velocidad de transmisión no debe superar los 4800Baudios y la de recepción los 2400Baudios. Como el mismo dispositivo integra tanto transmisor como receptor, el baud rate máximo para evitar las interferencias está entorno a los 2400Baudios.

A continuación se muestra una tabla dónde aparece una comparativa entre los diferentes dispositivos RF que cumplen los requisitos del objetivo del proyecto.

3.2.2. Componentes

| <i>NOMBRE</i> | <i>IMAGEN</i> | <i>PRECIO</i> | <i>DISTANCIA</i> | <i>FRECUENCIA</i> | <i>TENSIÓN</i> | <i>CONSUMO</i> | <i>VELOCIDAD</i> | <i>GENERAL</i> |
|---|--|----------------|----------------------|------------------------------|---|-----------------------------------|------------------|--|
| SFE- RF Link | http://www.robotshop.ca  | 13.95\$ | 152.40 metros | 315 MHz | 2V-12V | 3.5mA | 2400bps | -RX/TX. -Incorpora antena. Sensibilidad RX 3μV. |
| On Shine Transmitter/Receiver Pair | http://www.robotshop.ca  | 4.99\$ | 92 metros | 433 MHz | -4.75V-5.25V (RX) -3V-12V (TX) | -4.5mA (RX) -15mA (TX) | 4.8Kbps | -RX/TX. |
| RTF-DATA-SAW | http://www.aurelwireless.com  | 10,31€ | 100metros | 433.92MHz | 5V | 4.5mA (TX) 2.5mA (RX) | 9.6Kbps | -RX/TX. Sensibilidad de -100dBm. |
| RTX-MID(3V ó 5V) | http://www.aurelwireless.com  | | - | 433.42MHz ó 434.42MHz | 5V ó 3V | 13mA (TX) 2.5mA (RX) | 9.6Kbps | -RX/TX. -Alta sensibilidad en RX. |

| | | | | | | | | |
|--------------------|--|-------|-----|------------|----|--|------------------|------------------------------------|
| RTX-RTL 434 | http://www.aurelwireless.com  | | - | 433.92MHz | 3V | 17mA(máx) (TX) 90μA(máx) (RX) | | -RX/TX. Sensibilidad -95dBm. |
| Emisor RF | http://www.bricogeek.com  | 7.90€ | 1Km | 434MHz | 5V | | 2400- 4800bps | |
| Receptor RF | http://www.bricogeek.com  | 7.10€ | 1Km | 315-434MHz | 5V | 3mA | 4800bps | Sensibilidad -103dBm. |

Figura 8. Tabla de componentes RF.

3.3 Bluetooth

Bluetooth es un estándar concebido para establecer conexiones sin hilos, de corto alcance, entre un amplio número de dispositivos. Ésta tecnología funciona a través de transmisores y receptores radio de alta frecuencia y baja potencia.

3.3.1. Características generales

Bluetooth, está diseñado para operar en un entorno de radio frecuencia ruidoso, es por eso que utiliza un esquema de reconocimiento rápido y acceso múltiple por división en el código con saltos de frecuencia (CDMA-FH): 79 saltos en frecuencia desplazados 1MHz. Los módulos de radio Bluetooth eliminan la interferencia con otras señales saltando a una nueva frecuencia inmediatamente después de transmitir o recibir un paquete. Además, también se ve reducido el efecto del ruido aleatorio en enlaces de larga distancia gracias al empleo de una corrección de errores hacia delante (FEC), que incorpora Bluetooth.

El estándar ha definido dos niveles de potencia: el nivel de potencia menor (1mW) que cubre una distancia de 10 metros, y el nivel de potencia mayor (100mW) que cubre una distancia de hasta 100 metros. Dicha tecnología es capaz de transmitir voz o datos en tiempo real, con una capacidad máxima por canal de 720Kbps aproximadamente. Actúa en la banda de frecuencia de 2,45GHz, abierta a cualquier sistema de radio de todo el mundo, con rangos que van de los 2400MHz a los 2500MHz.

En cuanto a la seguridad de la red bluetooth, se define un nivel básico de encriptación, basado en la autenticación y en la generación de una clave de acceso de forma aleatoria en cada dispositivo.

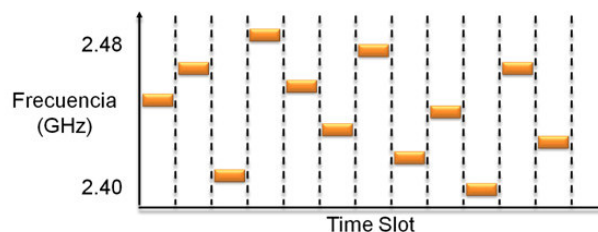


Figura 9. Bandas de Frecuencia

Bluetooth utiliza un sistema *FH/TDD* (salto de frecuencia/división de tiempo dúplex), en el que el canal queda dividido en intervalos de 625us, llamados slots, donde cada

salto está ocupado por un slot. Del mismo modo, un paquete de datos ocupa un slot para la emisión y otro para la recepción.

Dos o más unidades Bluetooth pueden compartir el mismo canal dentro de una piconet (pequeña red que establecen automáticamente los terminales Bluetooth para comunicarse entre sí).

El salto de frecuencia del canal está determinado por la secuencia de la señal, es decir, el orden en que llegan los saltos y por la fase de ésta secuencia. En Bluetooth la secuencia queda fijada por la identidad de la unidad maestra de la piconet (código único para cada equipo), y por su frecuencia de reloj.

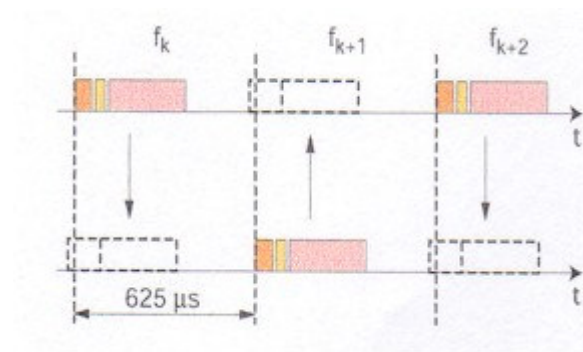


Figura 10. Saltos de frecuencia.

3.3.2. Arquitectura de funcionamiento

Bluetooth se basa en el modo de operación maestro-esclavo.

La red de comunicación basada en esta tecnología, puede constar de un maestro y un esclavo, llamada comunicación punto a punto, o de un maestro y varios esclavos, llamada comunicación punto-multipunto o “piconet”.

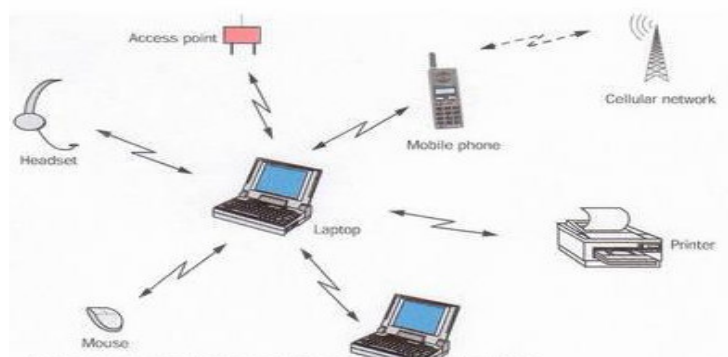


Figura 11. Piconet.

El término “piconet” se utiliza para hacer referencia a la red formada por un dispositivo y todos los dispositivos que se encuentran en su rango. Estos últimos poseen una dirección lógica de 3 bits (MAC), que sirve para identificarlos, para un máximo de 8 dispositivos.

Aunque parezca que el maestro esté conectado simultáneamente con todos los dispositivos, no es así, sino que cambia rápidamente de esclavos para que lo parezca. En el momento que se conectan dos “piconets” entre ellas, forman una red más amplia denominada “scatternet”. El rendimiento en conjunto e individualmente de los usuarios de una “scatternet” es mayor que el que tiene cada usuario cuando participa en un mismo canal de 1 MHz. Además, individualmente cada piconet tiene un salto de frecuencias diferentes, y por lo tanto diferentes piconets pueden usar simultáneamente diferentes canales de salto. Debe tenerse en cuenta que cuantas más piconets se añadan a la scatternet, el rendimiento del sistema FH (salto de frecuencia), disminuye poco a poco, habiendo una reducción por término medio de un 10%.

La información que se intercambia entre dos unidades Bluetooth, se realiza mediante un conjunto de slots que forman un paquete de datos. Cada paquete comienza con un código de acceso de 72 bits, que se deriva del maestro, seguido de un paquete de datos de cabecera de 54 bits; y contiene información sobre: Origen, destino, frecuencia utilizada, compresión de los datos, orden de los paquetes transmitidos e información para verificar la efectividad de la transmisión.

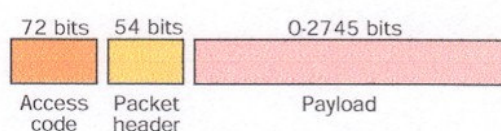


Figura 12. División de una trama de bits en Bluetooth.

3.3.3. Conexión

Durante el uso normal del proceso de Transmisión/Recepción, un dispositivo funciona en “modo pasivo” (está escuchando la red). La conexión, empieza con una fase denominada “solicitud”, durante la cual el maestro envía una solicitud a todos los dispositivos que encuentra dentro de su rango. El maestro elige una dirección, y se sincroniza con el dispositivo correspondiente mediante la paginación (sincronización del reloj y la frecuencia de ambos). Gracias a esto, se pasa a una fase de descubrimiento del servicio del dispositivo escogido. Es posible que el dispositivo incluya un

mecanismo de seguridad denominado emparejamiento (mediante una clave cifrada (PIN)), que restringe el uso a usuarios autorizados. Si el PIN recibido es el correcto, puede llevarse a cabo la conexión.

Un dispositivo bluetooth se puede encontrar en diferentes modos de conexión: modo activo o modo ahorro de energía en el cual pueden distinguirse tres modos: *sniff*, *hold* y *park*.

- *Active*: El dispositivo participa activamente en el canal. El maestro planifica la transmisión basada en las demandas de tráfico desde y hacia los esclavos. Los esclavos activos escuchan en los slots de tiempo maestro-esclavo a la espera de paquetes.
- *Sniff*: En este modo, un dispositivo esclavo escucha la piconet en una tasa de tiempo reducida, de modo que se reduce el ciclo de trabajo. Los esclavos entran en este modo cuando lo ordena el maestro o cuando el esclavo quiere participar en otra piconet.
- *Hold*: El maestro y el esclavo se ponen de acuerdo en la duración del tiempo de este modo. La entrada en este modo puede efectuarse por el maestro o por que lo solicite el esclavo para tener libertad para hacer otras cosas. Una vez se abandona este modo, se reprinde de forma instantánea la transferencia de información.

3.3.4. Protocolos de comunicación

Existen diferentes protocolos que gestionan la comunicación en esta tecnología:





- *Protocolo de gestión de enlace (LMP)*: Es el responsable de la configuración y el control del enlace entre los dispositivos Bluetooth, incluyendo el control y la negociación de la medida de los paquetes de banda base.





También se utiliza para la seguridad, es decir, autenticación y cifrado, generación, intercambio y comprobación de las claves de cifrado y de enlace. Controla los modos de administración de energía y los ciclos de trabajo del dispositivo de radio Bluetooth; así como los estados de conexión de una unidad Bluetooth dentro de una piconet.





Los mensajes LMP tienen una prioridad más elevada que los datos del usuario.

- *Protocolo de adaptación y control de enlace (L2CAP)*: Soporta la multiplexación de protocolos de nivel superior, la segmentación y el emparejamiento de paquetes, y los mecanismos de calidad de servicio (Qos). L2CAP permite que protocolos y aplicaciones de nivel superior transmitan y reciban paquetes de datos de hasta 64kbytes de longitud. Este protocolo está definido sólo para enlaces ACL, y no está planteado para soportar enlaces SCO (aplicaciones de audio y telefonía). No obstante, los datos de audio pueden parecerse en paquetes y enviarse utilizando protocolos de comunicación que funcionen con L2CAP.
- *Protocolo de descubrimiento de servicios (SDP)*: Son un elemento importante en la arquitectura Bluetooth, ya que proporciona la base para todos los modelos de uso. Mediante SDP se puede consultar la información de los dispositivos, los servicios que ofrecen y las características de los servicios. Una vez localizados los servicios disponibles en las proximidades, el usuario puede escoger cualquiera de ellos e inmediatamente se puede establecer la conexión.
- *RFCOMM*: proporciona emulación de puerto serie sobre el protocolo L2CAP. Se basa en el estándar ETSI TS 07.10. La capa RFCOMM es simplemente una capa de transporte con elementos adicionales de emulación de circuitos de puerto serie RS-232. Soporta hasta 60 puertos serie emulados simultáneamente. Este protocolo está pensado para facilitar la adaptación de comunicación Bluetooth a todos los dispositivos que utilicen puerto serie.

3.3.5. Componentes

| NOMBRE | IMAGEN | PRECIO | DISTANCIA | FRECUENCIA | TENSIÓN | CONSUMO | VELOCIDAD | GENERAL |
|---|--|----------------|-------------------|----------------------|----------------|--|------------------------|---|
| SFE Bluetooth Modem-BlueSMIRF Gold | http://www.robots-hop.ca  | 67.55\$ | 106 metros | 2.4-2.524GHz | 3.3V-6V | 25 mA | 2400-115200bps | -Incluye antenna - RX/TX. |
| SFE Bluetooth Modem-BlueSMIRF Silver | http://www.robots-hop.ca  | 49.95\$ | 30 metros | 2.4-2524GHz | 3.3V-6V | 25mA | 2400-11520bps | - RX/TX. -Incorpora antenna. -no conectar a Puerto RS232. |
| SFE Bluetooth V 1.1 USB Dongle WRL 00150 | http://www.robots-hop.ca  | 16.95\$ | 20 metros | - | 3V-10V | 24.8mA 33mA TX | 9600-11520bps | -RX/TX. |
| SFE Bluetooth DIP Module RN-41 | http://www.robots-hop.ca  | 64.95\$ | 100 metros | 2402-2480 MHz | 3.3V | 30mA normal 50mA TX 40mA RX | 721Kbps-2.0Mbps | - RX/TX. - Incorpora antenna -protocolo: RFCOMM,LAN,B CSP... |

| | | | | | | | | |
|---|--|----------------|---------------------|----------------------|-------------|--|------------------------|--|
| SFE Bluetooth SMD Module RN-41 | http://www.robots-hop.ca  | 44.95\$ | 100 metros | 2402-2480 MHz | 3.3V | 30mA normal 50mA TX 40mA RX | 721Kbps-2.0Mbps | - RX/TX. - Incorpora antena -protocolo: RFCOMM,LAN,B CSP... |
| Adaptador USB Bluetooth S140200 | http://www.superrobotica.com  | 13.95\$ | 10-50 metros | - | - | - | - | - |
| Energy sistem Link 1290 adaptador V2.0 | http://www.pccomponentes.com  | 8.95€ | 80 metros | 2.4- 2.48 GHz | 3.3V | 100mA TX: 80mA | 3Mbps | -Antena integrada -Bajo consumo de potencia. |
| Conceptronic 200M Bluetooth USB Adapter V2 | http://www.pccomponentes.com  | 12€ | 200 metros | - | - | - | 3Mbps | -Seguridad de ciframiento y encriptación. |

| | | | | | | | | |
|--|---|---------|-----------|----------------|-----------------|---|----------------------------|---|
| Bluetooth USB Dongle  | http://www.totallycellphones.com | 29.99\$ | 10 metros | 2.4-2.48GHz | - | - | 721Kbps | -Sensibilidad 89dBm. -Compatible con Windows XP. |
| Bluemore106  | http://www.blue2bfree.com | 39.00€ | - | - | 3.3V ó 5V | Master: 35mA Slave: 46mA | 1200bps a 230400bps | -Antena integrada. -RX/TX. |
| Bluemore200  | http://www.blue2bfree.com | 45.00€ | - | - | 3.3V ó 5V | Master: 65mA Slave: 60mA | 1200bps a 230400bps | -RX/TX. -Memoria Flash de 8Mb. |
| F2M03ALA  | http://www.free2move.net | 25.20€ | 100metros | 2.402-2.480GHz | 2.7-3V | 14mA | 115200bauds | -RX/TX. -Sensibilidad -86dBm. -Capaz de soportar 7 esclavos. -Antena integrada. -Envía y recibe datos y audio. |



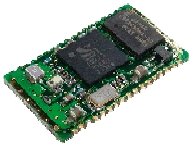
| | | | | | | | | |
|-----------------|--|---------------|------------------|-----------------------|---------------|-------------|--------------------|---|
| F2M03MLA | http://www.free2move.net  | 29.90€ | 150metros | 2.402-2.480GHz | 2.7-3V | 21mA | 115200bauds | -RX/TX. -Sensibilidad -81dBm. -Soporta 7 esclavos. -Antena integrada. _Envía y recibe datos y audio. |
| F2M03C1 | http://www.free2move.net  | 29.20€ | 100metros | 2.4GHz | 3.3V | 17mA | 723.2Kbps | -RX/TX. -No incorpora antena. -Soporta 7 esclavos. |
| F2M03C2 | http://www.free2move.net  | 29.40€ | 20metros | 2.441GHz | 3V | 17mA | 723.2Kbps | -RX/TX. -No incorpora antena. -Soporta 7 esclavos. |

Figura 13. Tabla componentes Bluetooth.

3.4 ZigBee

Es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

En principio, el ámbito donde se prevé que esta tecnología cobre más fuerza es en domótica debido a su bajo coste, su topología de red en malla y su fácil integración.

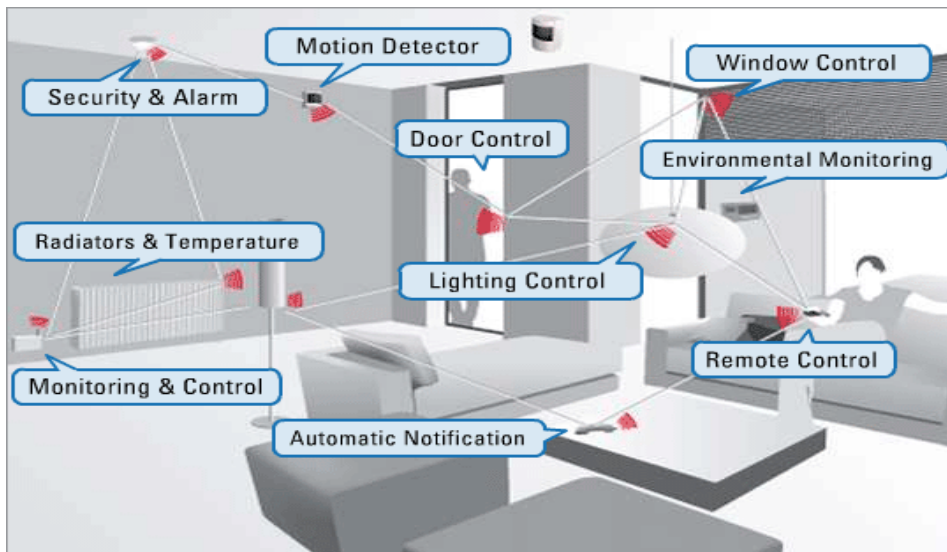


Figura 14. Casa domótica vía ZigBee.

3.4.1. Características generales

ZigBee puede constar de un máximo de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos, lo que la hace más que suficiente para cubrir cualquier necesidad. Tiene un consumo de 30 mA cuando el dispositivo está transmitiendo y de 3uA cuando éste está en reposo. Además, el sistema ZigBee se queda la mayor parte del tiempo dormido, pudiendo pasar al estado activo en menos de 15 ms. Con velocidades de 20, 40 y 250 Kbps y un alcance en el rango de 10 a 75 metros, ZigBee puede funcionar en las bandas de frecuencia ISM de 2,405-2,480 GHz (16 canales), 902-928 MHz (10 canales) y 868 MHz (1 canal), aunque la mayoría de fabricantes optan por la primera.

Está diseñado para proporcionar conectividad de alta eficiencia entre los pequeños paquetes de dispositivos y permite la conexión multipunto. ZigBee implementa las siguientes capas:

- Capa de red que puede operar con un direccionamiento de 16 a 64 bits según el número de nodos o dispositivos que se interconecten.
- Capa de seguridad usada para garantizar la correcta transmisión de los diferentes tramos. Aunque la capa MAC utilice un tipo de algoritmo llamado AES (*Advanced Encryption Standard*), es ZigBee quien se encarga de establecer los niveles de seguridad mediante la asignación de unas claves. Entonces, la metodología que sigue es la siguiente:
 - a) Cuando la capa MAC transmite, recibe una trama encriptada con AES.
 - b) Identifica la fuente de la trama que ha recibido.
 - c) Recupera de la fuente la clave usada para hacer la encriptación.
 - d) Desencripta el mensaje con esa clave.
- Capa de aplicación, la cual se divide en 3 bloques principales:
 - a) La APS sub-layer: Las principales funciones de esta capa son el mantenimiento de las tablas “*binding*”, la cuales sirven para establecer la comunicación entre dos dispositivos basándose en las necesidades y servicios de éstos. También determina qué otros dispositivos operan en el ámbito de un cierto dispositivo.
 - b) La ZDO define la función de cada dispositivo sin hacer uso de la red, y establece la relación de seguridad entre dispositivos dentro de la red.
 - c) Objetos definidos y manufacturados para diferentes aplicaciones, los cuales implementan aplicaciones actuales establecidas definidas a ZigBee.

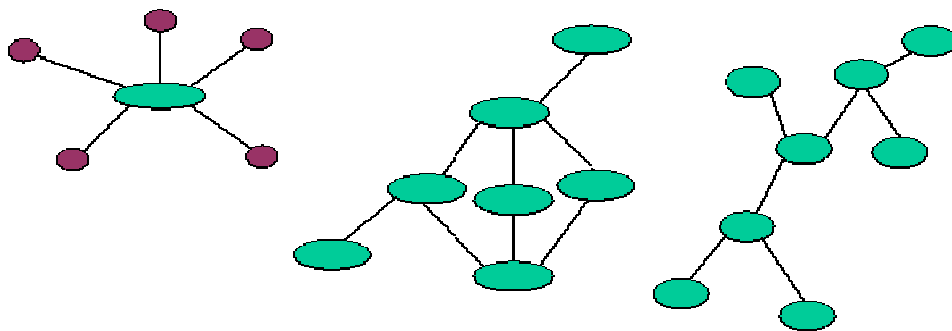


Figura 15. Topologías ZigBee.

En cuanto a la seguridad, un aspecto muy a tener en cuenta al usar un canal radio, al igual que Bluetooth, contempla tres niveles: “ninguno”, “lista de acceso” y “encriptado con clave simétrica AES-128 bits”, por lo que dependiendo de las necesidades y del tipo de aplicación a que se destine se podrá optar por uno u otro.

Por otra parte, la topología en malla permite elegir la mejor ruta posible para el intercambio de datos y elimina la presencia de un punto único de fallo, lo que hace que siempre exista una vía libre para la comunicación.

A cada dispositivo se le asigna una dirección MAC que le sirve como clave de identificación ante el dispositivo encargado de la comunicación.

3.4.2. Arquitectura de funcionamiento

En las redes ZigBee, se pueden usar dos tipos de entornos o sistemas:

- *Con balizas*: Es un mecanismo de control del consumo de potencia en la red. Permite a todos los dispositivos saber cuándo pueden transmitir. En este modelo, los dos caminos de la red tiene un distribuidor que se encarga de controlar el canal y dirigir las transmisiones. Las balizas que dan nombre a este tipo de entorno, se usan para poder sincronizar todos los dispositivos que conforman la red.

Un dispositivo que quiera intervenir en la comunicación, lo primero que tendrá que hacer es registrarse para el coordinador, y es entonces cuando mira si hay mensajes para él. En el caso de que o haya mensajes, este dispositivo vuelve a dormir, y se despierta de acuerdo a un horario que ha establecido previamente el coordinador. En cuanto el coordinador termina el “balizamiento”, vuelve a dormirse.

- *Sin balizas*: Se usa el acceso múltiple al sistema ZigBee en una red punto a punto cercano. En este tipo, cada dispositivo es autónomo, pudiendo iniciar una conversación, en la cual los otros dispositivos pueden interferir.

Este sistema se usa típicamente en sistemas de seguridad, en los cuales sus dispositivos duermen prácticamente todo el tiempo. Para que se les tenga en cuenta, estos elementos se “despiertan” de forma regular para anunciar que siguen en la red.

3.4.3. Conexión

Las redes ZigBee han sido diseñadas para conservar la potencia en los nodos “esclavos”. De esta forma se consigue el bajo consumo de potencia.

La estrategia consiste en que, durante mucho tiempo, un dispositivo “esclavo” está en modo “dormido” y sólo se “despierta” por una fracción de segundo para confirmar que está “vivo” en la red de dispositivos de la que forma parte.

3.4.4. Características generales del protocolo

- Dual PHY (2.4GHz y 868/915MHz).
- Velocidades de transmisión de 250Kbps (2,4GHz), 40Kbps (915MHz) i 20Kbps (868MHz).
- Optimizado para ciclos de trabajo corto (<0,1%).
- CSMA-CA Channel Access.
- Alto rendimiento y baja latencia para dispositivos que trabajan con ciclos de trabajo pequeños.
- Bajo consumo.
- Multitud de topología de redes: estrella, peer-topper, mesh.
- Fully Hand-shaked protocol, garantiza el tiempo de slot para aplicaciones que requieren baja latencia.
- Alcance: típicamente 50 metros (5-500 metros dependiendo del medio).

3.4.5. Componentes

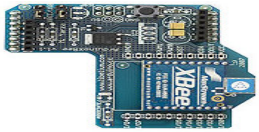





| <i>NOMBRE</i> | <i>IMAGEN</i> | <i>PRECIO</i> | <i>DISTANCIA</i> | <i>FRECUENCIA</i> | <i>TENSIÓN</i> | <i>CONSUMO</i> | <i>VELOCIDAD</i> | <i>GENERAL</i> |
|--|--|----------------|-------------------|----------------------|-------------------|--|-----------------------|--|
| Arduino Xbee Shield | http://www.robotshop.ca  | 79.95\$ | 100 metros | 2.4GHz | 2.8V-3.4V | - 45mA (TX) - 50mA (RX) | 115.2kbps | - RX/TX. - sensibilidad RX -92DBm. |
| Robotis ZIG-100 | http://www.robotshop.ca  | 89.99\$ | 33 metros | 2.4 GHz | 2.7V-3.6V | 30mA | 9600-115200bps | - RX/TX. - 11pins. |
| EM 250 SOC | http://www.ember.com  | - | - | 2400-2485 MHz | 2.1V- 3.6V | - 28mA (RX) - 24mA (TX) | 250Kbps | -TX/RX. |
| EM 260 CO-PROCESSOR | http://www.ember.com  | - | - | 2400-2485MHz | 2.1V-3.6V | -35.5mA (TX) -35.5mA (RX) | 250Kbps | -TX/RX. |
| JN5139 Wireless Microcontroller | http://www.jennic.com  | - | - | - | 2.2V-3.6V | -34mA (TX) -34mA (RX) | - | -RX/TX. -96KB RAM. -Bajo consumo de potencia. |
| JN5121 Wireless Microcontroller | http://www.jennic.com  | - | - | - | 2.2V-3.6V | -Menos de 45 mA (TX) -Menos de 50 mA (RX) | - | -64K ROM. -96KB RAM. -TX/RX. |

Figura 16. Tabla de componentes ZigBee.

4. Criterios de selección de red y componentes

En apartados anteriores se han introducido y caracterizado diferentes tecnologías inalámbricas que nos permiten establecer una comunicación entre diversos dispositivos sin la necesidad de cableado.

De las diferentes tecnologías explicadas con detalle anteriormente, únicamente se han implementado Bluetooth y RF, debido a la mayor versatilidad de ambas con respecto a las otras tecnologías inalámbricas, y la gran variedad de productos que presentan, frente a la escasez de productos de ZigBee y Wi-Fi adaptados a los objetivos del proyecto.

La elección de estas tecnologías es debido a la complejidad de implementación de Wi-Fi y ZigBee. En primer lugar, Wi-Fi necesita Puntos de acceso directo a red en aquella zona donde se quiera establecer la comunicación, y esto restringe la funcionalidad del proyecto; ZigBee sólo nos permite la comunicación punto a punto entre dos dispositivos, además de ser una tecnología que varía mucho dependiendo de las características de los componentes utilizados en la comunicación.

La elección de los componentes de las tecnologías seleccionadas (en el caso de Bluetooth, el *Bluemore200* y de RF el *RTF Data Saw*), es debido a los criterios que debe cumplir nuestra red de comunicación. A partir de ahí, se han seleccionado aquellos componentes que más se acoplan a nuestras perspectivas.

En primer lugar, la comunicación debe abarcar unos 100 metros aproximadamente, es por eso que buscamos componentes que soporten distancias medias; En segundo lugar, cada elemento de la comunicación debe ser capaz de transmitir y recibir datos, hecho que comporta que los componentes incorporen en un mismo chip RX/TX; En tercer lugar, nos interesa una velocidad de transmisión de datos lo más alta posible: esto no quiere decir que la velocidad de transmisión/recepción sea elevada, ya que al influir otros aspectos como el económico(componentes baratos), la velocidad se ve muy reducida; Otro aspecto a tener en cuenta es la tensión a la que se alimentan los dispositivos. A la hora de implementar es más sencillo que ambas tecnologías se alimenten con los mismos voltios para simplificar el circuito. Y por último el coste unidad del dispositivo (nos interesa el más económico, siempre que cumpla las características requeridas por la comunicación que se quiere establecer).

| Tecnología | Requerimientos de la implementación | Características del dispositivo |
|------------|--|--|
| Bluetooth | -Velocidad de transmisión de 4.8Kbps. -Rango de funcionamiento: 3 metros. -Alimentación de 5V. | -Velocidad de transmisión de 1.2Kbps hasta 230Kbps. -Rango de funcionamiento: 100 metros. -Alimentación tanto a 3.3V como a 5V. |
| RF | -Velocidad de transmisión/recepción de 2.4Kbps. -Rango de funcionamiento: 3 metros. -Alimentación de 5V. | -Velocidad de transmisión de 4.8Kbps y velocidad de recepción de 2.4Kbps. -Rango de funcionamiento de: 100 metros. -Alimentación a 5V. |

Figura 17. Tabla comparativa de las tecnologías seleccionadas.

Como se observa en la figura 17, la velocidad de transmisión/recepción es la característica más perjudicada en toda la implementación. El resto de características son similares en la implementación, y por tanto no alteran el correcto funcionamiento de la implementación.

5. Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica seleccionada para interactuar con el usuario ha sido Microsoft Visual Basic, un lenguaje de programación orientado a objetos, el cual permite crear un entorno visual muy sencillo de interpretar por el usuario y ofrece la posibilidad de comunicación serie, la cual se detalla a continuación.

5.1 Microsoft Visual Basic

El objeto que nos permite la comunicación a través del puerto serie del ordenador es el MSComm. Dicho objeto posee diferentes características como la configuración del bit rate, los bits de paridad y los bits de stop, pero cabe destacar las dos funciones principales que utilizaremos a lo largo de toda la aplicación: *Output* e *Input*. La función *Output* permite enviar un dato de 8 bits y la función *Input* lee un dato de 8 bits del buffer.

A continuación veremos como se hace servir el módulo MSComm y en que consiste la aplicación en Visual Basic para el control remoto de los periféricos.



Figura 18. Icono MSComm

5.2 Aplicación

El módulo MSComm, en el caso de Bluetooth interpreta tanto los grados del servomotor como la distancia del sonar; mientras que en RF controla únicamente los grados del servomotor.

En el caso de la aplicación Bluetooth, se utilizan tantos módulos MSComm como dispositivos Bluetooth haya. Ésto es debido a que el USB Dongle utilizado para hacer la implementación crea un puerto serie virtual para cada dispositivo, por lo tanto debe utilizarse este módulo para cada uno de los puertos serie virtuales.

En cambio, en la aplicación RF únicamente se utiliza un módulo MSComm, que es común en todos los dispositivos inalámbricos, ya que sólo se envían los datos por un puerto serie.

El funcionamiento del MSComm en la aplicación Bluetooth es el siguiente:

- Para la recepción de datos (grados del servomotor y distancia del sonar), se utiliza la función MSComm.Input. Únicamente se dispara dicho módulo cuando contiene 8 bits en el buffer.
- Para el envío de los datos de parada y de arranque, se utiliza la función MSComm.Output. Es por el puerto serie por donde se envían los ocho bits deseados.

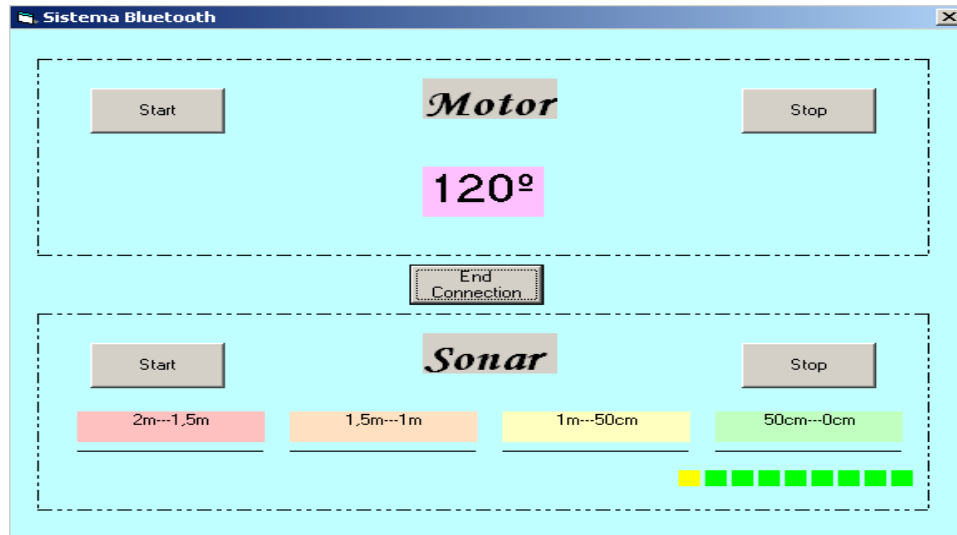


Figura 19. Programa Bluetooth.

5.3 Funcionamiento

La implementación del programa realizado en Visual Basic para la tecnología Bluetooth, como puede observarse en la figura 19, consta de las siguientes partes:

- En primer lugar, tenemos el *Command1* (Start) y *Command2* (Stop), ambos asociados a un *timer*. En el momento que se pulsa Start, se activa *el timer1*, y se desactivan el resto de timers, permitiendo a la vez que el MSComm se dispare cuando tengo los 8 bits en el buffer. De este modo, se envía constantemente un mismo dato que hace que el sistema funcione del modo deseado, llegando a la vez al *Label* los datos correspondientes a la posición del motor.

Del mismo modo actúa el sistema cuando se pulsa el botón de Stop, es decir, se activa el *timer2* y se desactivan el resto, pero en este caso, también se desactiva la opción de captura de datos en el *Label*.

- También encontramos el *Command3*. Este sigue un patrón de funcionamiento muy similar al *Command1*, la diferencia es que los datos se capturan mediante un conjunto de objetos agrupados formando una matriz, y que el dato representado es la distancia del sonar en metros.

Cabe destacar que para cada uno de los dispositivos (motor y sonar) encontramos un puerto MSComm diferente, de modo que tendremos un MSComm para los *Command1* y *Command2* y otro para el *Command3*.

En el caso de RF, como puede observarse en la figura 20, debido a los problemas que se han presentado en la implementación del sistema, los cuales están explicados en la aplicación hardware, no mostramos los datos correspondientes a la posición del motor; únicamente controlamos su movimiento. Sin embargo, los datos correspondientes al sonar, se muestran de la misma manera que en Bluetooth. En este caso, únicamente tenemos un puerto MSComm común en los dos dispositivos.

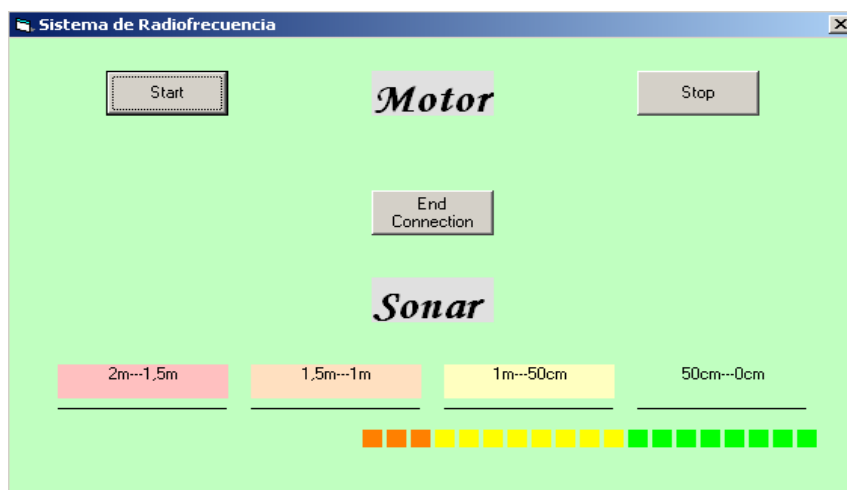


Figura 20. Programa RF.

6. Conclusiones

El estudio de las diferentes tecnologías inalámbricas existentes en el mercado, nos permite realizar una comparativa de las diferentes prestaciones de cada una de ellas. De ahí que el proyecto se realice mediante tecnología Bluetooth y vía Radiofrecuencia, debido a la mayor versatilidad de ambas con respecto a las otras tecnologías inalámbricas y la gran variedad de productos que presentan.

Otro aspecto a destacar, es el hardware de cada uno de los medios inalámbricos. En el mercado existen multitud de alternativas en función de nuestros requerimientos, lo cual nos ha llevado a seleccionar dos componentes aptos para nuestros prototipos teniendo en cuenta: distancia, velocidad, precio, prestaciones, etc. De una banda tenemos el Bluemore200, un módulo Bluetooth económico para sus prestaciones y fácil de conectar y, el RTF-DATA-SAW, módulo de Radiofrecuencia con una fácil operatividad y muy económico. Y lo más importante nos permite desarrollar los prototipos de nuestro proyecto.

Por lo tanto, una vez analizadas las implementaciones Bluetooth y RF y observar los resultados obtenidos, las conclusiones que se extraen son las siguientes:

- El sistema Bluetooth presenta pocas interferencias, y las que aparecen son debidas al movimiento del servomotor. Los módulos se conectan perfectamente con el PC y en la comunicación Bluemore200-ATmega8 no existe ningún problema, siempre y cuando se tenga en cuenta que se ha de eliminar el protocolo *handshake*.
- Por el contrario, el sistema de Radiofrecuencia presenta muchas interferencias, ya que cualquier equipo electrónico conectado alrededor ya introduce errores en la implementación. La conversión de niveles TTL-RS232 y viceversa permite un entendimiento perfecto entre PC y microcontrolador.
- En ambos sistemas no ha sido posible establecer una red en la que todos se pudiesen comunicar entre ellos. En el caso Bluetooth, el objetivo era crear una red piconet, pero después de contactar con Eikon, se nos informó que dicho módulo sólo podía establecer una conexión punto a punto, por lo que se optó por utilizar un USB *Dongle* para controlar todos los periféricos con conexiones punto a punto. En el caso de RF, el problema es más de tipo electrónico, cuando el prototipo está formado por dos módulos la comunicación TX/RX funciona sin

problemas, pero al añadir otro módulo de comunicación falla la transmisión o bien la recepción del RTF-DATA-SAW de la estación base.

Por último, respecto a la aplicación del proyecto, remarcar que el abanico de posibilidades es inmenso, sólo depende de la finalidad del prototipo. Lo que nos permite concluir que a pesar de existir diferentes inconvenientes para realizar una comunicación entre todos los dispositivos, el prototipo Bluetooth, ya no el de RF debido a las interferencias, puede ser de gran utilidad en la vida diaria, por ejemplo, en el sistema de vigilancia remota de un establecimiento. Ello nos permitiría controlar dos periféricos, un servomotor para indicar el punto de visibilidad y una cámara para visualizar el entorno, dando al usuario diferentes opciones dependiendo de la aplicación software.

7. Bibliografía

▪ *Bluetooth:*

- [1] Tecnología Bluetooth (Editorial Mc. Graw Hill).
- [2] Información general de Bluetooth. Acceso on-line disponible en marzo de 2009. <http://es.kioskea.net/>
- [3] Página de Ramón Millán. Características generales, funcionamiento y protocolos de Bluetooth. Acceso on-line disponible en marzo de 2009. <http://www.ramonmillan.com>
- [4] Información general de Bluetooth. Acceso on-line disponible en febrero de 2009. <http://www.bluezona.com>
- [5] Información sobre la arquitectura de funcionamiento de Bluetooth. Acceso on-line disponible en marzo de 2009. <http://www.seguridadmobile.com>
- [6] <http://www.explicame.org>

▪ *Zigbee:*

- [7] Características, funcionamiento y arquitectura de ZigBee. Acceso on-line disponible en marzo de 2009. <http://rfdesign.com>
- [8] Información general de ZigBee. Acceso on-line disponible en marzo de 2009. <http://www.tutorial-reports.com>
- [9] Información general de ZigBee. Acceso on-line en marzo de 2009. <http://www.idg.es/>
- [10] Información general de ZigBee. Acceso on-line en marzo de 2009. <http://www.wisegeek.com>

▪ *Wi-Fi:*

- [11] Información general de Wi-Fi. Acceso on-line disponible en mayo de 2009. <http://www.mailxmail.com/curso-redes-inalambricas-wi-fi-futuro-comunicacion/introduccion-redes-inalambricas>
- [12] Características y funcionamiento de Wi-Fi. Acceso on-line disponible en mayo de 2009. http://www.josechu.com/tecnologia_inalambrica/faq.htm