

**SOLUCIONES INALÁMBRICAS BASADAS EN TECNOLOGÍAS
BLUETOOTH E IrDA**

**JOSE CONCEPCIÓN NOTH SUÁREZ
WILMER ORLANDO LINARES PÉREZ**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CARTAGENA DE INDIAS**

2003

**SOLUCIONES INALÁMBRICAS BASADAS EN TECNOLOGÍAS
BLUETOOTH E IrDA**

Autores

JOSE CONCEPCIÓN NOTH SUÁREZ

WILMER ORLANDO LINARES PÉREZ

Monografía, presentada para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director

GIOVANNY VÁSQUEZ

Ingeniero de Sistemas

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA. DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CARTAGENA
2003**

Nota de aceptación

Firma de presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del jurado

Cartagena, Mayo de 2003

Cartagena, Mayo de 2003

Señores:

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO.

Facultad de Ingeniería Electrónica – CUTB.

La Ciudad

Cordial saludo:

A través de la presente me permito entregar la monografía titulada **“SOLUCIONES INALÁMBRICAS BASADAS EN LAS TECNOLOGÍAS BLUETOOTH E IrDA”** para su estudio y evaluación, como requisito fundamental para obtener el Título de Ingeniero Electrónico.

En espera que éste cumpla con las normas pertinentes establecidas por la Institución me despido.

Atentamente.

José Concepción Noth Suárez

Código: 9804018

Cartagena, Mayo de 2003

Señores:

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO.

Facultad de Ingeniería Electrónica – CUTB.

La Ciudad

Cordial saludo:

A través de la presente me permito entregar la monografía titulada **“SOLUCIONES INALÁMBRICAS BASADAS EN LAS TECNOLOGÍAS BLUETOOTH E IrDA”** para su estudio y evaluación, como requisito fundamental para obtener el Título de Ingeniero Electrónico.

En espera que éste cumpla con las normas pertinentes establecidas por la Institución me despido.

Atentamente.

Wilmer Orlando Linares Pérez

Código: 9704036

Cartagena, Mayo de 2003

Señores:

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO.

Facultad de Ingeniería Electrónica – CUTB.

La Ciudad.

Cordial saludo.

A través de la presente me permito entregar la monografía titulada **“SOLUCIONES INALÁMBRICAS BASADAS EN LAS TECNOLOGÍAS BLUETOOTH E IrDA”**, para su estudio y evaluación, la cual fue realizada por los estudiantes WILMER ORLANDO LINARES PÉREZ Y JOSÉ CONCEPCÓN NOTH SUÁREZ, del cual acepto ser su director.

En espera que éste cumpla con las normas pertinentes establecidas por la institución me despido.

Atentamente.

Giovanny Vásquez

Ingeniero de Sistemas.

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias, D.T.C.H.

Yo **José Concepción Noth Suárez** , identificado con número de cédula 73183511 de la ciudad de Cartagena, autorizo a la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar para hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catálogo online de la Biblioteca.

JOSÉ CONCEPCIÓN NOTH SUÁREZ

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias, D.T.C.H.

Yo **Wilmer Orlando Linares Pérez**, identificado con número de cédula 7920075 de la ciudad de Cartagena, autorizo a la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar para hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catálogo online de la Biblioteca.

WILMER ORLANDO LINARES PÉREZ

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	
1. REDES INALÁMBRICAS	3
1.1 TIPOS DE REDES INALÁMBRICAS	4
1.2 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	6
1.2.1 Banda de frecuencia libre (ISM).	7
2. TECNOLOGÍA INALÁMBRICA BLUETOOTH	8
2.1 ANTECEDENTES DE LA TECNOLOGÍA BLUE TOOTH	8
2.1.1 De donde el nombre de Bluetooth	8
2.1.2 Cómo surgió Bluetooth	8
2.1.3 El SIG (Bluetooth Special Interest Group)	8
2.2 ¿QUE ES BLUETOOTH?	9
2.3 ESTÁNDAR DE BLUETOOTH	10
2.4 ESPECIFICACIONES DE LA TECNOLOGÍA BLUETOOTH	11
2.5 ARQUITECTURA DE HARDWARE	13
2.6 ESTRUCTURA DEL SOFTWARE	15
2.7 PROTOCOLOS DE BLUETOOTH	16
2.8 PERFILES Y MODOS DE USO	20
2.9 SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE SEÑALES	21
2.9.1 Salto de Frecuencia (Frequency Hopping)	21

2.9.2	Tipos y tasas de transmisión	22
2.9.3	Radiofrecuencia	23
2.9.4	Banda Base (Base Band)	23
2.9.5	Transmisión de voz	24
2.9.6	Definición de canal	25
2.9.7	Definición de paquete	26
2.9.8	Definición del enlace físico	28
2.9.9	Control de enlace	28
2.9.10	Establecimiento de una conexión de red	29
2.10	TECNOLOGÍA DE RED	30
2.10.1	Piconets	30
2.10.2	Scatternet	31
2.10.3	Comunicación Inter-Piconet	31
2.10.4	Topología de red	32
2.11	TÉCNICAS O MODOS DE CONEXIÓN	33
2.12	PROBLEMAS Y DESVENTAJAS	35
2.13	CORRECCIÓN DE ERRORES Y SEGURIDAD	36
2.13.1	Corrección de errores	36
2.13.2	Seguridad	37
2.14	APLICACIONES DE BLUETOOTH	38
2.15	EL FUTURO BLUETOOTH 2.0	40
3	TECNOLOGÍA INALÁMBRICA IRDA	42
3.1	ANTECEDENTES DE LA TECNOLOGÍA IrDA	42

3.2	RADIACIÓN INFRARROJA (IR)	42
3.3	¿QUE ES IRDA?	43
3.4	CARACTERÍSTICAS DE IrDA	44
3.5	PROCESO DE CONEXIÓN Y RECONOCIMIENTO DE DISPOSITIVOS IrDA	46
3.6	CAPAS Y PROTOCOLOS DEL MODELO IrDA	47
3.6.1	Capa física (Physical Layer)	47
3.6.2	Capa de enlace	48
3.6.3	Capa de red	49
3.6.4	Capa de transporte	49
3.7	PROTOCOLOS DE NIVEL SUPERIOR	50
3.8	SEGURIDAD	50
3.9	APLICACIONES DE IrDA	51
3.10	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA IrDA	52
4	COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS	53
5	INFLUENCIA DE LAS TECNOLOGÍAS BLUETOOTH E IrDA EN EL MEDIO ACTUAL	56
6	CONCLUSIONES	58
7	RECOMENDACIONES	60
	ANEXOS	
	GLOSARIO	
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Tipos de redes inalámbricas	5
Figura 2. Espectro Electromagnético	6
Figura 3. Controlador Digital	14
Figura 4. Arquitectura de Software – Protocolos	16
Figura 5. Saltos de frecuencia	22
Figura 6. Interfaz Bluetooth RF	23
Figura 7. Asignación de slots	24
Figura 8. Secuencia de saltos de señal	25
Figura 9. Paquete de datos	26
Figura 10. Paquete de datos – Access code	27
Figura 11. Paquete de datos – Header	27
Figura 12. Red Scatternet	33

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Bandas del Espectro Electromagnético	7
Tabla 2. Ventajas y desventajas del IrDA	52
Tabla 3. Cuadro comparativo entre Bluetooth e IrDA	53

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
ANEXO A. Rápido Establecimiento de Conexión Heterogéneo	61

INTRODUCCIÓN

Las necesidades actuales para la transmisión de datos entre dispositivos electrónicos (equipos de red) que se encuentran a corta distancia se han incrementado considerablemente al igual que la infraestructura de comunicaciones requeridas, tales como protocolos y acceso a Internet.

El incremento en el número de usuarios, y la constante reducción de tamaño de los computadores personales al igual que la tendencia a remplazar computadores de escritorio por portátiles, forman un ambiente de mercado ideal para una solución que elimine los cables y sus limitaciones con respecto a la flexibilidad y el rango de cobertura; muchas de estas características nos las ofrecen las tecnologías de comunicación inalámbricas IrDA y Bluetooth.

La tecnología de conectividad inalámbrica de corto alcance de la Infrared Data Association (IrDA) ha sido integrada en muchos dispositivos móviles, tiene más de 100 millones de dispositivos electrónicos incluyendo desktop, agendas, Palm PCs, impresoras, cámaras digitales, teléfonos públicos, teléfonos celulares, PDA's, libros electrónicos, billeteras electrónicas, y otros dispositivos móviles". IrDA ofrece gran fortaleza en la conectividad ad hoc, pero es limitada con toda seguridad para usar en modelos que requieran de corta distancia y línea de vista entre dispositivos.

Como una tecnología recién llegada al mercado, Bluetooth está mostrando fuertes signos de aceptación inicial. La especificación Bluetooth ha sido apoyada por muchas corporaciones, con más de 2.000 compañías registradas en el Grupo de Interés Especial Bluetooth. Los dispositivos inalámbricos Bluetooth están proyectados para exceder un millón de unidades en el año 2005. Bluetooth ofrece flexibilidad en distancia y dirección, pero es más incómodo que IrDA en cuanto al establecimiento dinámico y conexión entre dispositivos móviles ad hoc. La iniciativa Bluetooth tiene como objetivo aumentar la efectividad de las comunicaciones entre cortas distancias, tanto en el área de trabajo como en los espacios públicos.

Este trabajo está organizado básicamente en cuatro capítulos. El primero, se define de forma general lo que son las comunicaciones inalámbricas; el segundo, describe la tecnología Bluetooth y cubre aspectos relacionados como son: características, hardware, software, protocolos, entre otros; el tercero, describe la tecnología IrDA y cubre en general, los mismos aspectos que la anterior; mientras que el último, se enfoca al estudio de la combinación entre IrDA y Bluetooth, destacando las características más relevantes de cada tecnología e integrarlas en solo dispositivo híbrido para obtener de ésta forma mayores beneficios y brindar mejores soluciones que las ofrecidas por cada tecnología individual, esto es posible ya que una es complemento de la otra.

1. REDES INALÁMBRICAS

Los computadores móviles, tales como PDA (Personal Digital Assistants) y agendas, han tenido un crecimiento muy rápido dentro de la industria. Su uso es amplio, el más común es tener una oficina portátil, donde se pueda recibir y enviar llamadas telefónicas, fax, correo electrónico, leer archivos remotos y acceder a máquinas remotas; y todo ello desde tierra, mar o aire.

Las comunicaciones inalámbricas son aquellas donde el canal de comunicación entre emisor y receptor es el espacio libre (incluyendo el vacío), es decir, que las señales se propagan en forma de ondas electromagnéticas a través de este medio. Dependiendo de la frecuencia en la cual se transmitan estas ondas, se ubicarán dentro del espectro electromagnético, como se verá más adelante.

La generalizada confianza sobre redes en los negocios y el crecimiento meteórico de Internet y de servicios en línea son fuertes testimonios de los beneficios de compartir datos y compartir recursos. Con las redes inalámbricas, los usuarios pueden acceder a información compartida sin buscar un lugar donde enchufarse, y los administradores de red pueden establecer o aumentar las redes sin instalar o mover cables. Las redes inalámbricas ofrecen las siguientes ventajas de productividad, servicio, conveniencia, y costos sobre las redes cableadas.

Simplicidad y rapidez de instalación: instalar redes inalámbricas puede ser rápido y fácil y puede eliminar la necesidad de poner cables a través de murallas y techos.

Movilidad: las redes inalámbricas pueden proveer a usuarios LAN acceso a información en tiempo real en cualquier parte dentro de su organización.

Flexibilidad de Instalación: la tecnología inalámbrica permite a la red ir donde los cables no pueden.

Reducción de costos: mientras la inversión inicial requerida para el hardware de una red inalámbrica puede ser más alto que el costo de hardware de una LAN cableada, en conjunto los gastos de instalación y costos de ciclo de vida pueden ser significativamente más bajos.

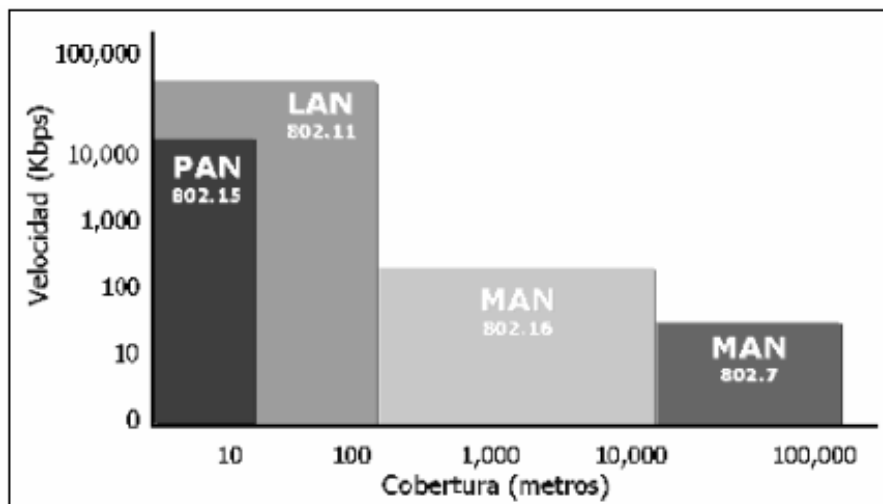
Escalabilidad: las redes inalámbricas pueden ser configuradas en una variedad de topologías para conocer las necesidades de aplicaciones específicas e instalaciones.

1.1 TIPOS DE REDES INALÁMBRICAS

Al igual que las redes tradicionales cableadas, éstas se clasifican según su cobertura en tres categorías (ver figura 1), que son:

- ❖ WAN/MAN (Wide Area Network/Metropolitan Area Network)
- ❖ LAN (Local Area Network)
- ❖ PAN (Personal Area Network)

Figura 1. Tipos de redes inalámbricas

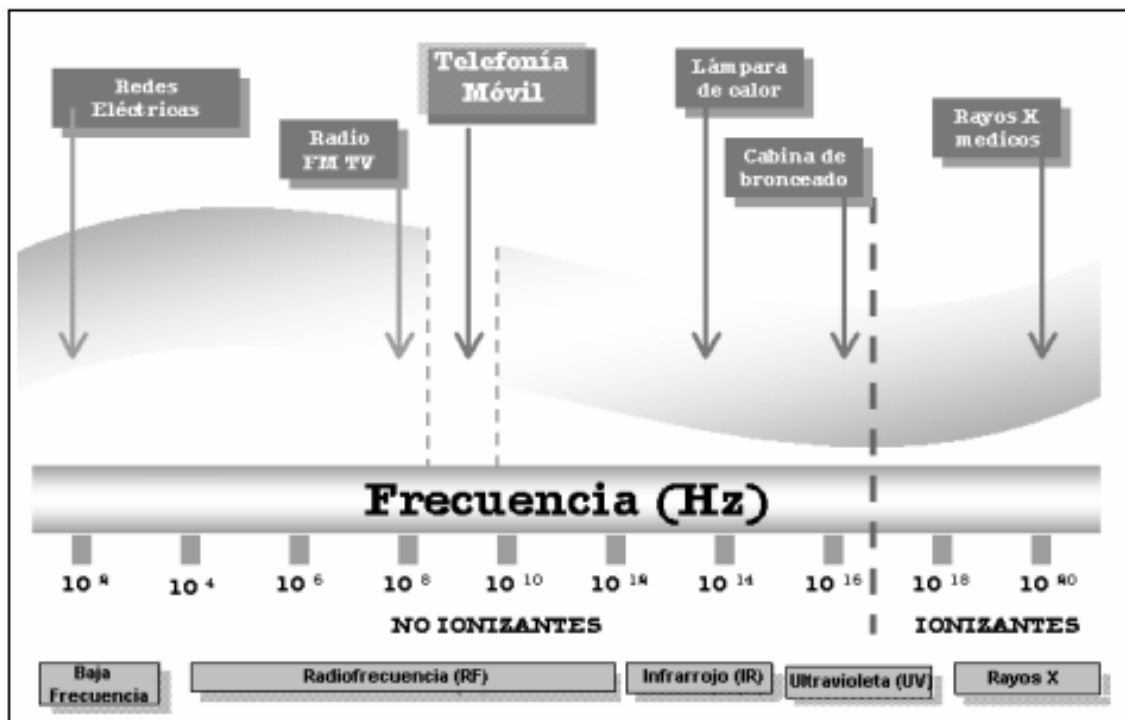


Las WAN/MAN, son aquellas que cubren cientos de kilómetros. Las LAN, son las que comprenden de unos a varias decenas de metros. Y las PAN (que utiliza la tecnología Bluetooth), comprenden no más de 30 metros. Las PAN constituyen un esquema de red de bajo costo que permite conectar entre sí equipos informáticos y de comunicación portátil y móvil, como PDA, impresoras, Mouse, micrófonos, auriculares, lectores de código de barras, sensores, displays, teléfonos móviles, puntos de accesos de red (access points), computadoras y otros dispositivos de electrónica de consumo. El objetivo es que todos estos equipos se puedan comunicar y operar entre sí sin interferencias.

1.2 EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro electromagnético se encuentra dividido en *Bandas de frecuencias*, sobre las cuales se realizan las comunicaciones y son reguladas (tanto en frecuencia, como en potencia de transmisión) a nivel mundial por la ITU. Para operar en estas bandas de frecuencias, se debe contar con una licencia expedida por el Ministerio de Comunicaciones de cada país, excepto sobre la banda ISM (médico-científica internacional), que como se verá más adelante, no requiere licencia de operación. En la figura 2 se muestra el espectro electromagnético, especificando las diferentes bandas de frecuencia y sus actuales aplicaciones.

Figura 2. Espectro Electromagnético



Los rangos de cada banda de frecuencia se especifican en la tabla 1.

Tabla 1. Bandas del Espectro Electromagnético

NOMBRE		RANGO DE FRECUENCIAS
VLF	Very Low Frequency	3 a 30 KHz
LF	Low Frequency	30 a 300 KHz
MF	Medium Frequency	300 a 3000 KHz
HF	High Frequency	3 a 30 MHz
VHF	Very High Frequency	30 a 300 MHz
UHF	Ultra High Frequency	300 a 3000 MHz
SHF	Super High Frequency	3 a 30 GHz
EHF	Extremely High Frequency	30 a 300 GHz

1.2.1 Banda de frecuencia libre (ISM). Para poder operar en todo el mundo es necesaria una banda de frecuencia abierta a cualquier sistema de radio independientemente del lugar del planeta donde se encuentre. Sólo la banda ISM de 2,4 GHz cumple con éste requisito, con rangos que van de los 2.402 MHz a los 2.480 MHz, con algunas restricciones en países como Francia, España y Japón, que no se puede usar toda esa banda o no está permitido tener los niveles de potencia que permitan llegar a tener coberturas hasta 100 metros.

2. TECNOLOGIA INALAMBRICA BLUETOOTH

2.1 ANTECEDENTES DE LA TECNOLOGIA BLUETOOTH

2.1.1 ¿De donde el nombre de Bluetooth? La tecnología Bluetooth (diente azul) debe su nombre al rey Harald Blaatand II de Dinamarca -y luego de Noruega-, que alcanzó el cenit de su poder hacia finales del siglo X (940 – 918 AC.) y que sucumbió bajo la flecha lanzada por el tutor de uno de sus hijos, que conspiraba sin rubor contra su padre.

2.1.2 ¿Cómo surgió Bluetooth? En 1994 Ericsson inició un estudio para investigar la viabilidad de una interfase vía radio, de bajo costo y bajo consumo, para la interconexión entre teléfonos móviles y otros accesorios con la intención de eliminar cables entre dispositivos. El estudio partía de un largo proyecto que investigaba sobre unos multicomunicadores conectados a una red celular, hasta que se llegó a un enlace de radio de corto alcance, llamado *MC link*. Conforme éste proyecto avanzaba se fue viendo claro que éste tipo de enlace podía ser utilizado ampliamente en un gran número de aplicaciones, ya que tenía como principal virtud el que se basaba en un chip de radio relativamente económico.

2.1.3 El SIG (Bluetooth Special Interest Group). A comienzos de 1997, según avanzaba el proyecto MC link, Ericsson fue despertando el interés de otros

fabricantes de equipos portátiles. En seguida se vio claramente que para que el sistema tuviera éxito, un gran número de equipos deberían estar equipados con ésta tecnología. Esto fue lo que originó a principios de 1998, la creación de un grupo de interés especial Bluetooth, formado por 5 promotores que fueron: Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba e Intel, la idea era lograr un conjunto adecuado de áreas de negocio, dos líderes del mercado de las telecomunicaciones, dos líderes del mercado de los PCS portátiles y un líder de la fabricación de chips. El propósito principal del consorcio fue y es, el establecer un standard para la interface aérea junto con su software de control, con el fin de asegurar la interoperabilidad de los equipos entre los diversos fabricantes.

En el año de 1999, se le unieron a estas empresas cuatro grandes compañías como 3COM, Lucent Technology, Microsoft y Motorola y crearon la norma *Wi-Fi* (la norma asegura que un equipo Bluetooth sea capaz de entenderse con otro, con independencia del fabricante o modelo). Hoy más de 2.000 empresas de todas partes del mundo hacen parte de la familia Bluetooth. Esto hace de la tecnología Bluetooth el estándar de mayor crecimiento en el mundo de la industria.

2.2 ¿QUÉ ES BLUETOOTH?

La tecnología Bluetooth es una especificación abierta de radio de corto alcance para comunicaciones inalámbricas de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia. Se centra alrededor de un microchip de

9mm x 9mm de tamaño que funciona como un enlace de radio de corto alcance y bajo costo. Dicha tecnología provee seguridad tanto a equipos estacionarios como móviles. Su función básica es la de proveer una tecnología inalámbrica estándar que reemplace la cantidad de cables utilizados en los enlaces hoy en día.

Bluetooth aparece asociado a las Redes de Área Personal Inalámbricas (WPAN – Wireless Personal Area Network). Este concepto hace referencia a una red sin cables que se extiende a un espacio de funcionamiento personal o POS (personal operating space).

Desde su nacimiento el Bluetooth se concibió como un sustituto del RS-232 o del puerto IrDA, ya que mejora las prestaciones de estos porque evita el uso de cables, aumenta la velocidad binaria y aporta movilidad dentro de un rango de hasta 10 metros (o 100 metros dependiendo de la versión y/o país como se verá posteriormente).

2.3 ESTÁNDAR DE BLUETOOTH

La norma IEEE 802.11 nació en 1997, y sólo estaban contempladas las velocidades de transferencia de 1 y 2 Mbps. La reforma en 1999 dotó a esta norma de mayor velocidad, hasta 11 Mbps con adaptación automática, dándoles a los usuarios disponibilidades similares a las de Ethernet. Los sistemas IEEE 802.11b utilizan mayor potencia de transmisión. Gracias a ello el sistema tiene un

alcance de entre 30 y 360 metros, dependiendo de obstáculos entre los equipos. El sistema de adaptación permite reducir la velocidad de transferencia si la señal es más débil, evitando así errores y fallos de comunicación.

En Marzo de 1998, se creó el grupo de estudio WPAN (Wireless Personal Area Networks) en la IEEE. Más tarde, en Mayo, se forma el SIG de Bluetooth. Un año después, en Mayo de 1999, el grupo de estudio WPAN pasa a ser IEEE 802.15, el grupo de trabajo WPAN. El estándar 802.15 aceptó gran parte de las especificaciones de *Bluetooth* y agregó nuevas normas para resolver de forma eficiente los problemas de coexistencia e interoperabilidad con otras redes alámbricas o inalámbricas, el proyecto también se involucró con la conectividad inalámbrica de datos estándar. Principalmente con el grupo 11 (IEEE 802.11), específicamente con las aplicaciones semejantes a las Ethernet y las WPAN, dando la posibilidad de que dispositivos vecinos se conecten entre si o a una red mayor. Este grupo de trabajo se concentró principalmente en la capa física y de control de acceso al medio o de enlace de datos.

2.4 ESPECIFICACIONES DE LA TECNOLOGÍA BLUETOOTH

- ❖ Realiza una transmisión simultánea Full duplex de voz y datos.

- ❖ Las señales pueden ser transmitidas a través de paredes y portafolios, eliminando así la necesidad de línea de vista.

- ❖ Las señales son omnidireccionales, por lo que los equipos no necesitan estar apuntados los unos con los otros.

- ❖ Banda de Frecuencia: banda libre ISM 2.4 GHz (rango de 2.402 GHz a 2.48GHz).

- ❖ Soporta aplicaciones tanto síncronas como asíncronas, facilitando la implementación de una gran variedad de equipos para una gran variedad de servicios tales como voz e Internet.

- ❖ Potencia del transmisor: 1 mW para 10 metros, y 100 mW para 100 metros.

- ❖ Modulación: espectro Expandido, Secuencia Directa Híbrida y Saltos en Frecuencia.

- ❖ Canales máximos de voz: 3 por Piconet (64 Kbps bidireccional).

- ❖ Canales máximos de datos: 7 por Piconet.

- ❖ Velocidad de datos: hasta 721 kbps asimétrico (hasta 57.6 Kbps de retorno) o 433.9 Kbps simétrico. Se espera doblar en la siguiente generación.

- ❖ Rango óptimo del sistema: 10 metros.

- ❖ Número de dispositivos: 8 por Piconet y hasta 10 Piconets juntas.

- ❖ Seguridad: la provee la capa de enlace.

- ❖ Consumo de potencia: desde 30 uA en stand-by hasta 8-30 mA (a 2,7 v) transmitiendo.

- ❖ Interferencia: Bluetooth minimiza la interferencia potencial al emplear saltos rápidos en frecuencia (1600 veces por segundo).

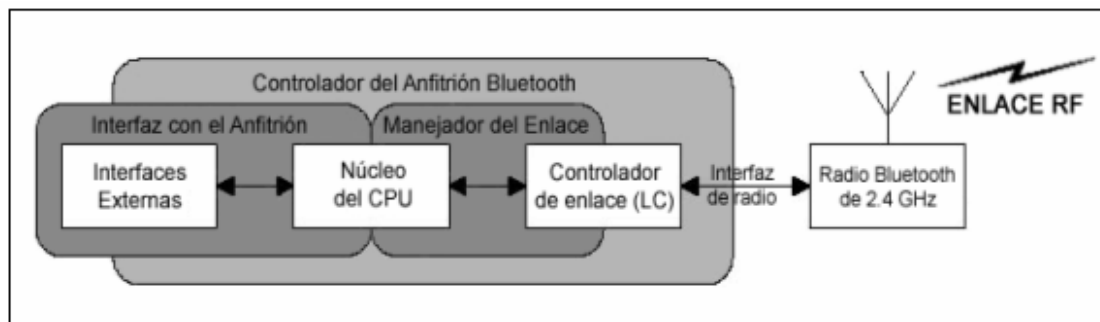
La tecnología Bluetooth comprende hardware, software y requerimientos de interoperabilidad (como protocolos) para establecer una conexión de red, por lo que para su desarrollo ha sido necesaria la participación de los principales fabricantes de los sectores de las telecomunicaciones y la informática. Se prevé que en poco tiempo se presentará un panorama de total conectividad de entre dispositivos electrónicos del trabajo y del hogar.

2.5 ARQUITECTURA DE HARDWARE

El hardware de Bluetooth esta compuesto por dos partes. *Un dispositivo de radio*, encargado de modular y transmitir la señal; y *un Controlador digital*.

El Controlador Digital está compuesto por una CPU, un procesador de señales digitales (DSP - Digital Signal Processor) llamado controlador de enlace (LC – Link Controller) y de los interfaces con el dispositivo anfitrión. La figura 3 muestra el esquema del controlador digital de un dispositivo Bluetooth.

Figura 3. Controlador Digital



El LC está encargado de hacer el procesamiento de la señal banda base y del manejo de los protocolos ARQ y FEC de capa física. Además, se encarga de las funciones de transferencia (tanto asíncrona como síncrona), codificación de Audio y encriptación de datos.

La CPU del dispositivo se encarga de atender las instrucciones relacionadas con Bluetooth del dispositivo anfitrión, para así simplificar su operación. Para ello, sobre la CPU corre un software denominado *Link Manager* que tiene la función de comunicarse con otros dispositivos por medio del protocolo LMP. Entre las tareas realizadas por el LC y el Link Manager, se destacan las siguientes:

- ❖ Envío y Recepción de Datos.
- ❖ Peticiones y Paginación (Inquirir y Paging).
- ❖ Determinación de Conexiones.
- ❖ Autenticación.
- ❖ Negociación y determinación de tipos de enlace, por ejemplo SCO o ACL.
- ❖ Determinación del tipo de cuerpo de cada paquete.
- ❖ Ubicación del dispositivo en modo sniff o hold.

2.6 ESTRUCTURA DEL SOFTWARE

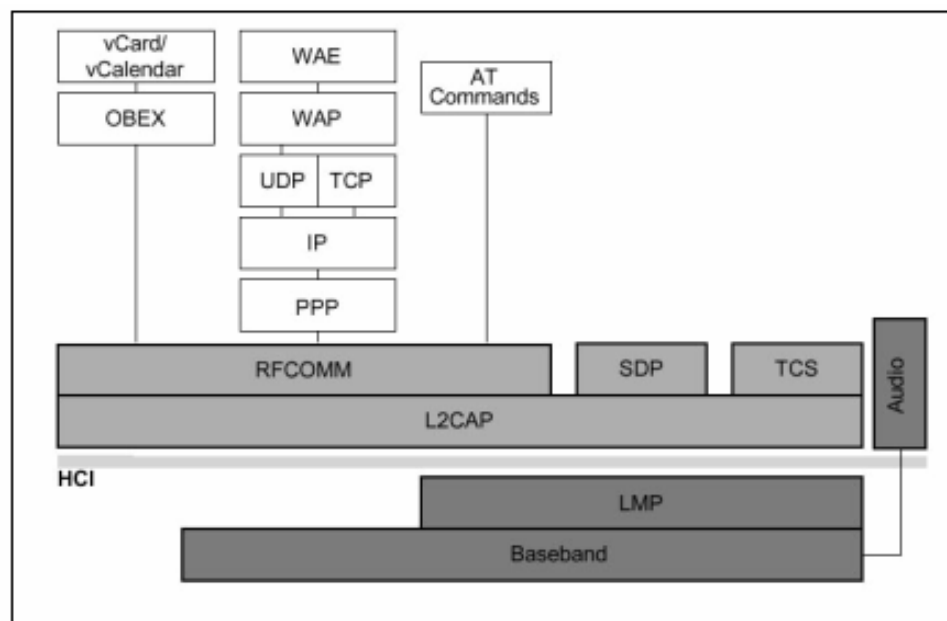
Los equipos Bluetooth requieren una base de soporte para interoperabilidad, para así brindarle al consumidor una experiencia positiva. Para algunos equipos, estos requerimientos se extienden desde el cumplimiento de módulos de radio y protocolos para el aire, hasta protocolos de nivel de aplicación y formatos de intercambio de objetos. Para otros dispositivos tales como el manoslibre, los principales requerimientos serán menos.

La interoperabilidad a nivel de software empieza con el protocolo Bluetooth de nivel de enlace. Los dispositivos Bluetooth deben poder reconocerse entre sí y cargar el software adecuado para detectar el nivel superior de habilidades que cada uno soporta. La interoperabilidad a nivel de aplicación requiere una pila de protocolos idéntica. Las siguientes son las funciones de la estructura del software:

- ❖ Utilidad de configuración y diagnóstico.
- ❖ Detección de dispositivos.
- ❖ Emulación de cableado.
- ❖ Comunicación con periféricos
- ❖ Audiocomunicación y control de llamada.
- ❖ Intercambio de objetos para cartas de negocios y protocolo de redes de libretas de direcciones.

2.7 PROTOCOLOS DE BLUETOOTH

Figura 4. Arquitectura de Software – Protocolos



Buscando ampliar la compatibilidad de los dispositivos Bluetooth, los dispositivos que se apegan al estándar utilizan como interfaz entre el dispositivo anfitrión

(laptop, teléfono celular, etc) y el dispositivo Bluetooth (chip Bluetooth) una interfaz denominada HCI (Host Controller Interface). La figura 4 muestra la arquitectura de software y los protocolos que la conforman.

LMP (Link Manager Protocol). Es un protocolo multifuncional que permite básicamente:

1. Control de Piconet

- a. Adjuntar y liberar esclavos (Attach y detach slaves)
- b. Conmutación Master-slave switch
- c. Establecer enlaces ACL y SCO
- d. Control de modos de baja potencia: Hold, Sniff, Park.

2. Configuración de enlace (Link configuration)

- a. Servicios soportados
- b. Calidad de servicio, tipos de paquetes disponibles
- c. Control de potencia.

3. Funciones de seguridad

- a. Autenticación
- b. Encriptado
- c. Información de enlace.

L2CAP (Logical Link Control & Adaptation Protocol). Este protocolo se utiliza para la multiplexación de bits; permite la Segmentación y Reensamblado de paquetes para poder enviar paquetes de mayor tamaño a través de la conexión Bluetooth. Y además, define Calidad de Servicio (QoS), Sus características son las siguientes:

1. Orientado a conexión
 - a. Canales entre aplicaciones/capas de protocolos.
 - b. Identificador de canal.
 - c. Canal full duplex.
 - d. QoS asignada a cada dirección.

2. Basado en datagramas, no en flujos continuos
 - a. Preservación de límites de paquetes.
 - b. Longitud de paquete máxima de 64 Kbyte

3. Depende de Baseband para seguridad y entrega ordenada.

SDP (Service Discovery Protocol). Es un protocolo utilizado para encontrar otros dispositivos Bluetooth, además proporciona un mecanismo para que las aplicaciones puedan descubrir cuáles son los servicios disponibles en el entorno RF cercano y determinar las características de dichos servicios.

RFCOMM Protocolo utilizado para emular conexiones de puerto serial sobre un enlace de RF. Está basado en el estándar TS 07.10 de ETSI, utiliza las señales de control y Permite emular los nueve circuitos de la norma RS-232 (EIA/TIA-232-E). RFCOMM es un protocolo de transporte que utiliza los servicios de la capa L2CAP. Puede soportar hasta 60 conexiones simultáneas entre dos dispositivos Bluetooth.

TCS (Telephony Control Protocol Specification) Protocolo de control de telefonía utilizado para interactuar con el controlador de banda base a través del Protocolo L2CAP, sus características son:

1. Call control
 - a. Establecimiento y liberación de llamadas.
 - b. Basado en Q.931

2. Gestión de grupos
 - a. Gateway puede servir a varios dispositivos inalámbrico.
 - b. Distribución de información de grupos.

WAP (Web Access Protocol) Es un protocolo para navegación, permite el acceso a páginas web mediante PDA's, teléfonos con pantalla, y otros dispositivos con escaso poder de procesamiento.

PPP (Point-to-Point Protocol) Protocolo utilizado para transportar datagramas de diferentes protocolos de red sobre enlaces punto a punto. PPP-Networking es el mecanismo utilizado para transportar paquetes IP desde/hacia la capa PPP y entregarlos a la LAN. En Bluetooth está diseñado para funcionar sobre RFCOMM, utilizando conexiones virtuales punto a punto.

OBEX (Object Exchange) Protocolo que facilita la coexistencia de Bluetooth e IrDA, las aplicaciones pueden operar independientemente de la tecnología de transmisión empleada.

2.8 PERFILES Y MODOS DE USO

Los perfiles son especificaciones de cómo utilizar un conjunto de estándares de base para conseguir interoperabilidad entre dispositivos. Los Perfiles describen un conjunto de características funcionales para cada aplicación que Bluetooth soporta. Existen cuatro perfiles generales, que se describen a continuación:

GAP (Generic Access Profile): se utiliza para definir los modos de operación genéricos para todos los perfiles y describe los procedimientos generales para establecer conexiones con otros dispositivos Bluetooth.

SDAP (Service Discovery Application Profile): define los protocolos y procedimientos a utilizar por una aplicación que quiera averiguar información

sobre los servicios disponibles en dispositivos Bluetooth dentro del área de cobertura.

GOEP (Generic Object Exchange Profile).

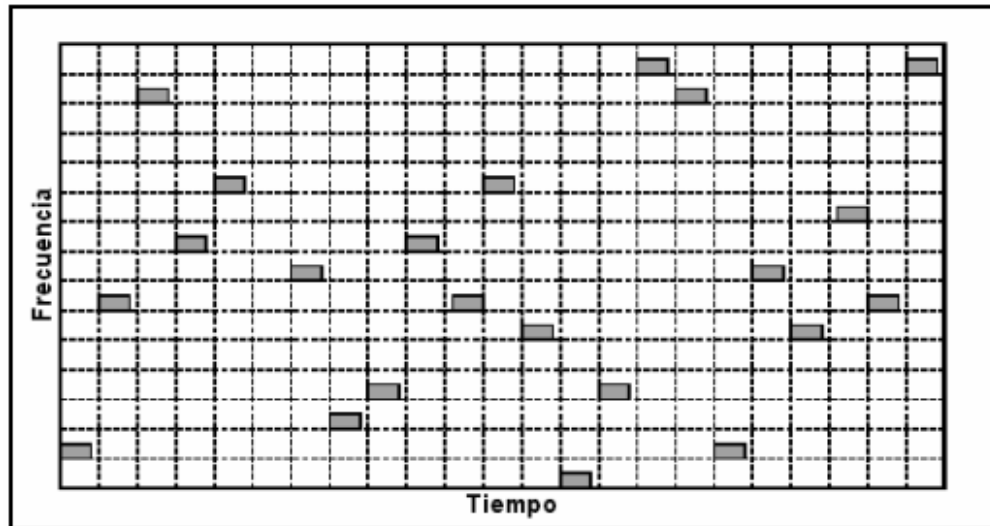
SPP (Serial Port Profile): protocolos y procedimientos que deben utilizarse entre dispositivos Bluetooth para emular un puerto serie.

Como se mencionó previamente, los perfiles definen los estándares mínimos requeridos para conseguir interoperabilidad entre dispositivos Bluetooth, es por esto, que es necesario definir un sistema de transmisión de señal, que involucre el tipo de transmisión, la definición del canal y de paquetes, la sincronización, los saltos de frecuencia, para lograr así una confiable y exitosa transmisión de información.

2.9 SISTEMA DE TRANSMISION DE SEÑALES

2.9.1 Salto de Frecuencia (Frequency Hopping). En los sistemas de radio Bluetooth se suele utilizar el método de salto de frecuencia debido a que ésta tecnología puede ser integrada en equipos de baja potencia y bajo costo. Éste sistema divide la banda de frecuencia en varios canales de salto, donde, los transceptores, durante la conexión van cambiando de uno a otro canal de salto de manera pseudo-aleatoria.

Figura 5. Saltos de frecuencia



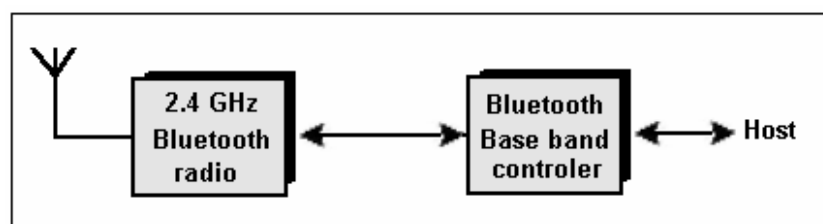
Con esto se consigue que el ancho de banda instantáneo sea muy pequeño y también una propagación efectiva sobre el total de ancho de banda. En conclusión, con el sistema FH (Salto de frecuencia), se pueden conseguir transceptores de banda estrecha con una gran inmunidad a las interferencias. Este esquema se muestra en la figura anterior (Figura 5).

2.9.2 Tipos y tasas de transmisión. El protocolo de banda base (un canal por línea) combina conmutación de paquetes y de circuitos. Para asegurar que los paquetes no lleguen en desorden, se pueden reservar hasta cinco ranuras (slots) para paquetes asíncronos. Como se ha mencionado, para cada paquete se utiliza una señal de salto diferente. La conmutación de circuitos puede ser tanto síncrona como asíncrona. Puede haber hasta tres canales de datos asíncronos (voz), o un

canal síncrono y otro asíncrono de datos dentro de un canal. Cada canal síncrono puede soportar una tasa de transmisión de 64 Kbps, la que es totalmente adecuada para transmisiones de voz. Un canal asíncrono puede transmitir a una velocidad de hasta 721 Kbps en una dirección y 57.6Kbps en la dirección opuesta. También es posible que una conexión asíncrona pueda soportar 432.6 Kbps en ambas direcciones si el enlace es simétrico.

2.9.3 Radiofrecuencia. La interfaz de Bluetooth con el aire (RF) como se ilustra en la figura 6, está basada en una antena nominal de 0dBm de potencia. Dicha interfaz cumple con la reglamentación de la ITU para la banda ISM a niveles de potencia de hasta 0 dBm. Se ha incluido una dispersión del espectro de frecuencia para facilitar la operación opcional a niveles de potencia de hasta 100mW en todo el mundo. Dicha dispersión se logra con los ya mencionados saltos de frecuencia.

Figura 6. Interfaz Bluetooth RF

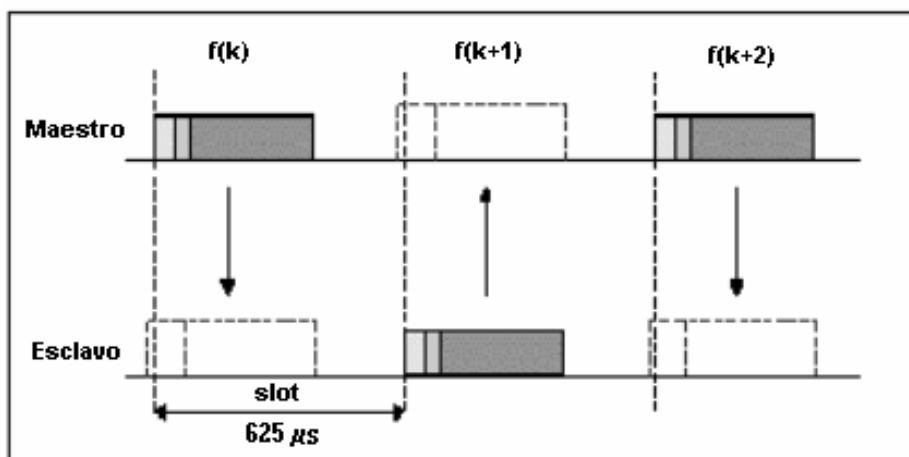


2.9.4 Banda Base (Base Band). La banda base describe las especificaciones del procesamiento de la señal digital por parte del hardware (LC), lo que realiza los protocolos de Banda base y otras rutinas de enlace de bajo nivel.

2.9.5 Transmisión de voz. Los canales de voz utilizan el esquema de código CVSD (Modulación Delta Continua con Pendiente Variable) y nunca retransmite paquetes de voz. El método CVSD fue escogido por ser tan robusto a la hora de manejar muestras de voz dañadas o abandonadas. Un aumento en los niveles de interferencia es experimentado al aumentar el ruido de fondo: incluso con un BER (tasa de error de bit) hasta del 4%, el código de voz CVSD es algo audible.

Para transmitir voz son necesarios tres canales de 64 Kbps, para transmitir vídeo es necesario comprimirlo en formato MPEG-4 y usar 340 Kbps para conseguir refrescar 15 veces por segundo una pantalla VGA de 320x240 puntos. Están previstas dos potencias de emisión en función de la distancia que se desea cubrir, 10 metros con 1 miliwatio y 100 metros con 100 miliwatios.

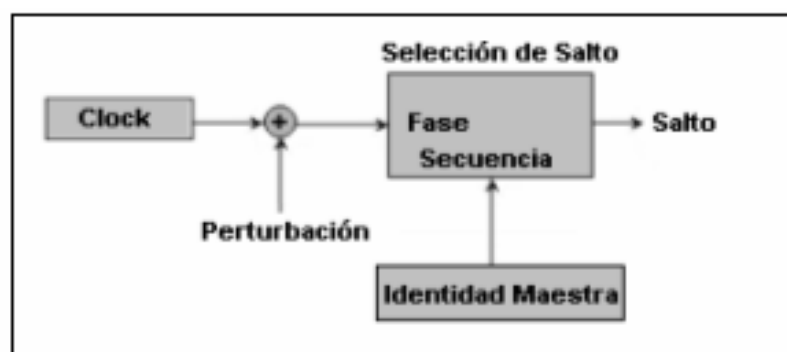
Figura 7. Asignación de slots.



2.9.6 Definición de canal. Como se ha mencionado, Bluetooth utiliza un sistema FH, donde el canal queda dividido en intervalos de 625 μ segundos, llamados slots, cada salto de frecuencia es ocupado por un slot, esto se ilustra en la figura 7.

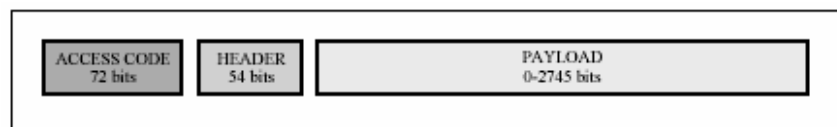
Dos o más unidades Bluetooth pueden compartir el mismo canal dentro de una Piconet, donde una unidad actúa como maestra, controlando el tráfico de datos en la Piconet que se genera entre las demás unidades, donde estas actúan como esclavas, enviando y recibiendo señales hacia el maestro. El salto de frecuencia del canal está determinado por la secuencia de la señal, la cual queda fijada por la identidad maestra de la Piconet (un código único para cada equipo), y por su frecuencia de reloj. Por lo que, para que una unidad esclava pueda sincronizarse con una unidad maestra, ésta primera debe añadir un ajuste a su propio reloj nativo y así poder compartir la misma portadora de salto, éste procedimiento se esquematiza en la figura 8.

Figura 8. Secuencia de saltos de señal



2.9.7 Definición de paquete. La información que se intercambia entre dos unidades Bluetooth se realiza mediante un conjunto de slots que forman un paquete de datos. Cada paquete (ver figura 9) comienza con un código de acceso (*Access code*) de 72 bits, que se deriva de la identidad maestra, seguido de un paquete de datos de encabezado (*Header*) de 54 bits. Éste contiene importante información de control, como tres bits de acceso de dirección, tipo de paquete, bits de control de flujo, bits para la retransmisión automática de la pregunta, y chequeo de errores de campos de encabezado. Finalmente, el paquete que contiene la información (*Payload*), que puede seguir al encabezado, tiene una longitud de 0 a 2745 bits.

Figura 9. Paquete de datos.



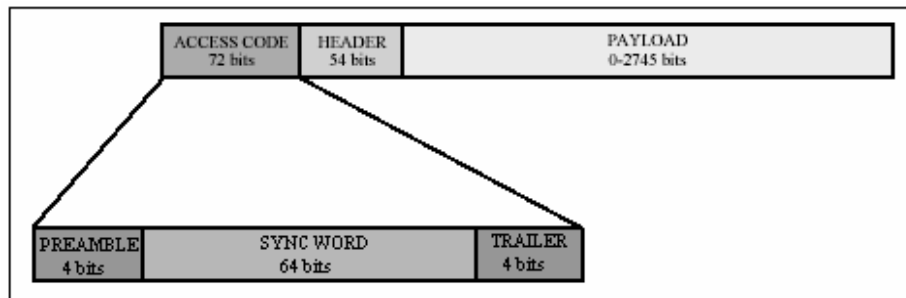
Los receptores de la Piconet comparan las señales que reciben con el código de acceso, si éstas no coinciden, el paquete recibido no es considerado como válido en el canal y el resto de su contenido es ignorado. En la figura 10 se muestra el contenido del *Access code*, los cuales son:

CAC (Channel Access Code): identifica una Piconet. Se incluye en los paquetes Intercambiados en el canal de una Piconet.

DAC (Device Access Code): utilizado para procesos de señalización especiales.

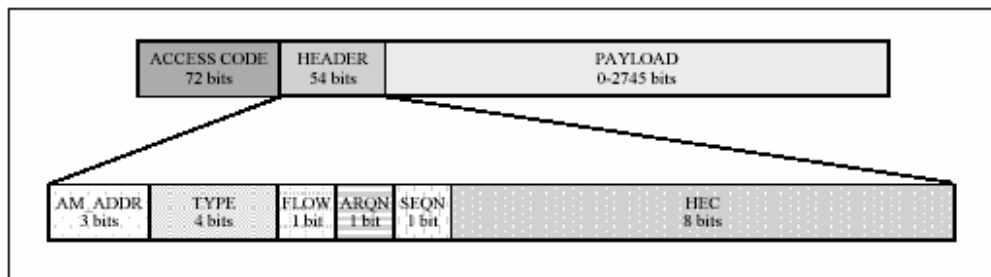
IAC (Inquirí Access Code): utilizado para procesos de búsqueda de dispositivos.

Figura 10. Paquete de datos – Access code



En la figura 11 se muestra el contenido del *Header* de un paquete de datos:

Figura 11. Paquete de datos – Header



SEQN: es un bit que proporciona un secuenciador para controlar la repetición de paquetes.

FLOW: éste bit se usa para control de flujo de los paquetes en un enlace ACL.

AM_ADDR (Active Member Address): se utiliza para distinguir los dispositivos activos en una Piconet.

HEC: código de redundancia para comprobar errores en la transmisión.

ARQN: identifica los paquetes correctos o incorrectos en el ultimo recibido.

2.9.8 Definición del enlace físico. En la especificación Bluetooth se han definido dos tipos de enlace que permiten soportar incluso aplicaciones multimedia, dándole priorización de servicio al usuario, que son: los enlaces SCO (Asynchronous Connection Oriented) soportan conexiones asimétricas, punto a punto, usadas normalmente en conexiones de voz, estos enlaces están definidos en el canal, reservándose dos slots consecutivos (envío y retorno) en intervalos fijos; y los enlaces ACL (Asynchronous Connection Less), que soportan conmutaciones punto a punto simétricas o asimétricas, típicamente usadas en la transmisión de datos.

2.9.9 Control de enlace. La parte básica de los sistemas Bluetooth consiste en el controlador del *Radiochip*. El Manejador de enlace LM (Link Manager), es un software que controla la organización, autenticación y configuración del enlace y otros protocolos. El hardware controlado por el LM es el Controlador de Enlace LC

(Link Controller). El LM se encarga de detectar LMs remotos y se comunica con ellos a través del Protocolo de Manejador de Enlace LMP (Link Manager Protocol).

2.9.10 Establecimiento de una conexión de red. De un conjunto total de 79 portadoras del salto, un subconjunto de 32 portadoras activas han sido definidas. El subconjunto, que es seleccionado pseudo-aleatoriamente, se define por una única identidad.

Acerca de la secuencia de activación de las portadoras, se establece que, cada una de ellas visitará cada salto de portadora una sola vez, con una longitud de la secuencia de 32 saltos. En cada uno de los 2.048 saltos, las unidades que se encuentran en modo *standby* (en espera) mueven sus saltos de portadora siguiendo la secuencia de las unidades activas. El reloj de la unidad activa siempre determina la secuencia de activación. Durante la recepción de los intervalos, en los últimos 18 slots o 11,25 ms, las unidades escuchan una simple portadora de salto de activación y correlacionan las señales entrantes con el código de acceso derivado de su propia identidad.

Para establecer la Piconet, la unidad maestra debe conocer la identidad del resto de unidades que están en modo *standby* en su radio de cobertura. El maestro o aquella unidad que inicia la Piconet transmiten el código de acceso continuamente en periodos de 10 ms, que son recibidas por el resto de unidades que se

encuentran en *standby*. El tren de 10 ms. de códigos de acceso de diferentes saltos de portadora, se transmite repetidamente hasta que el receptor responde o bien se excede el tiempo de respuesta.

Cuando una unidad emisora y una receptora seleccionan la misma portadora de salto, la receptora recibe el código de acceso y devuelve una confirmación de recibo de la señal, es entonces cuando la unidad emisora envía un paquete de datos que contiene su identidad y frecuencia de reloj actual. Después de que el receptor acepta éste paquete, ajustará su reloj para seleccionar el canal de salto correcto determinado por emisor. De éste modo se establece una Piconet en la que la unidad emisora actúa como maestra y la receptora como esclava. Después de haber recibido los paquetes de datos con los códigos de acceso, la unidad maestra debe esperar un procedimiento de requerimiento por parte de las unidades esclavas, diferente al proceso de activación, para poder seleccionar una unidad específica con la que comunicarse.

2.10 TECNOLOGÍA DE RED

2.10.1 Piconets. Si un equipo se encuentra dentro del radio de cobertura de otro, éstos pueden establecer conexión entre ellos. En principio sólo son necesarias un par de unidades con las mismas características de hardware para establecer un enlace. Dos o más unidades Bluetooth que comparten un mismo canal forman una Piconet.

2.10.2 Scatternet. También conocida como Red Dispersa. Las unidades que se encuentran en el mismo radio de cobertura pueden establecer potencialmente comunicaciones entre ellas. Sin embargo, sólo aquellas unidades que realmente quieran intercambiar información comparten un mismo canal creando la Piconet. Éste hecho permite que se creen varias Piconets en áreas de cobertura superpuestas. A un grupo de Piconets se le llama 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, estadísticamente se obtienen ganancias por multiplexión y rechazo de canales salto. Debido a que individualmente cada Piconet tiene un salto de frecuencia diferente, diferentes Piconets pueden usar simultáneamente diferentes canales de salto. Se debe tener en cuenta que cuantas más Piconets se añaden a la scatternet el rendimiento del sistema FH disminuye poco a poco, habiendo una reducción por término medio del 10%. sin embargo el rendimiento que finalmente se obtiene de múltiples Piconets supera al de una simple Piconet.

2.10.3 Comunicación Inter-Piconet. En un conjunto de varias Piconets, éstas seleccionan diferentes saltos de frecuencia y están controladas por diferentes maestros, por lo que si un mismo canal de salto es compartido temporalmente por Piconets independientes, los paquetes de datos podrán ser distinguidos por el código de acceso que les precede, que es único en cada Piconet.

La sincronización de varias Piconets no está permitida en la banda ISM. Sin embargo, las unidades pueden participar en diferentes Piconets en base a un sistema TDM (múltiplexación por división de tiempo). Esto es, una unidad participa secuencialmente en diferentes Piconets, a condición de que ésta este sólo activa en una al mismo tiempo. Una unidad al incorporarse a una nueva Piconet debe modificar el offset (ajuste interno) de su reloj para minimizar la deriva entre su reloj nativo y el del, por lo que gracias a éste sistema se puede participar en varias Piconets realizando cada vez los ajustes correspondientes una vez conocidos los diferentes parámetros de la Piconet. Cuando una unidad abandona una Piconet, la unidad esclava informa al maestro actual que ésta no estará disponible por un determinado periodo, que será en el que estará activa en otra Piconet. Durante su ausencia, el tráfico en la Piconet entre el maestro y otros esclavos continúa igualmente.

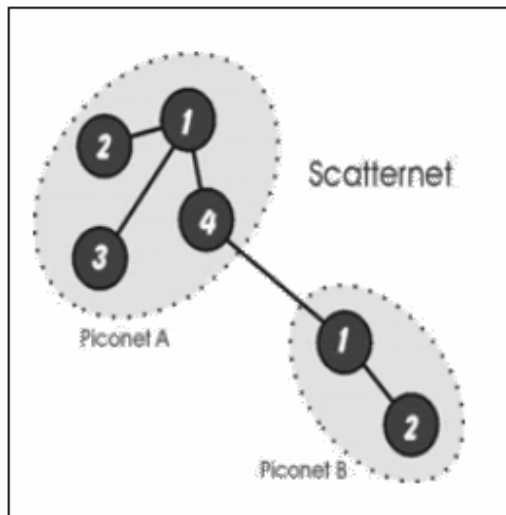
De la misma manera que una unidad esclava puede cambiar de una Piconet a otra, una maestra también lo puede hacer, con la diferencia de que el tráfico de la Piconet se suspende hasta la vuelta de la unidad maestra. La maestra que entra en una nueva Piconet, en principio, lo hace como esclava, a no ser que posteriormente ésta solicite actuar como maestra.

2.10.4 Topología de red. Puede ser tanto *punto a punto* como *punto a multipunto*.

Observe la figura 12, que muestra el diagrama de una Red Dispersa en la que la Piconet A (que consiste de 4 unidades), se conecta a la Piconet B (que consiste

de dos unidades). La tasa de transmisión full duplex dentro de la estructura de una Piconet con 10 unidades independientes totalmente cargadas, es más de 6 Mbps. Esto se debe a la tasa de reducción continua de datos de más del 10% de acuerdo con sistemas de simulación basados en una potencia de transmisión de 0dBm (en la antena).

Figura 12. Red Scatternet



2.11 TÉCNICAS O MODOS DE CONEXIÓN

Standby: los equipos no conectados a una Piconet están en este modo, en el cual escuchan mensajes cada 1.28 segundos.

Page/Inquiry (llamada/petición): Si un equipo desea realizar una conexión con otro, envía un mensaje de Page, si la dirección es conocida, sino, envía un

Inquiry seguido de un mensaje Page. La Unidad Maestro envía a la Unidad Esclava 16 mensajes Page idénticos en 16 saltos de frecuencia. El método de Inquirir requiere de una respuesta adicional por parte de la unidad esclava ya que su dirección MAC es desconocida por la Unidad Maestra.

Activo: durante el cual ocurre la transmisión de datos.

Hold (Espera): cuando la unidad maestro y esclava así lo deseen, se puede establecer el modo de espera, durante el cual no se transmite ninguna información. Esto se hace para ahorrar potencia, de lo contrario habría un intercambio de datos continuo. Una razón típica para estar en modo de espera es cuando se conectan varias Piconets.

Sniff (Olfateo): este modo es aplicable sólo a unidades esclavas para bajo consumo de potencia, aunque no tan bajo como en el modo de espera. Durante este modo, el esclavo no juega un papel activo en la Piconet, pero escucha a un nivel reducido. Esto es programable.

Park (Parquear): éste es un modo de nivel de actividad más reducida que en el modo de espera. Durante este modo, los esclavos son sincronizados a la Piconet de manera que no requieren una completa reactivación; esta unidad esclava no será parte del tráfico. En este estado no tienen direcciones MAC, solo escuchan lo

suficiente para mantener su sincronización con el maestro y revisar los mensajes difundidos.

2.12 PROBLEMAS Y DESVENTAJAS

Como todo, la tecnología Bluetooth, también presenta algunos problemas que solucionar. Los microchips no son baratos aún, se espera que dentro de unos años disminuyan los costos, de lo contrario, el objetivo de esta tecnología no sería alcanzado. Por su parte, la velocidad de transmisión, aunque considerable, pronto quedará insignificante por la capacidad de los móviles de tercera generación. Y a pesar de que los prototipos de dispositivos Bluetooth se reproducen rápidamente, no sucede lo mismo con los programas informáticos que deben regular su funcionamiento. Además, el espectro de radiofrecuencia en el que opera no está abierto al público en todos los países. En lugares como Francia o España el uso del espectro está restringido y se requiere la aprobación explícita del gobierno para poder operar en la banda ISM.

Quizás el mayor problema que tiene la tecnología, es que gasta demasiado tiempo en el reconocimiento de un dispositivo para el establecimiento de una conexión, claro esta, que actualmente se está trabajando mucho en ésta área para eliminar en las futuras generaciones dicho problema. una de estas investigaciones es la que se incluye en el anexo A (Descubrimiento de Dispositivos Bluetooth ayudado por IrDA) de éste documento.

Aun así, las desventajas son mínimas cuando se comparan con los beneficios de disfrutar de un mundo sin cables y con las flexibilidades que ofrecería un mundo interconectado de manera inalámbrica y sin altos costos de conexión.

2.13 CORRECCIÓN DE ERRORES Y SEGURIDAD

2.13.1 Corrección de errores. Tres técnicas de corrección de errores se han definido para el estándar Bluetooth:

- ❖ Código de corrección de 1/3 de la tasa del error delantero (FEC).
- ❖ Código de corrección de 2/3 de la FEC.
- ❖ Petición automática de respuesta (ARQ).

Los métodos FEC (Forward Error Check) han sido diseñados para disminuir el número de retransmisiones. Sin embargo, esto implica una disminución en la velocidad de transmisión, por lo cual generalmente no se utiliza en ambientes relativamente libres de errores, con la excepción de los encabezados de los paquetes.

El esquema ARQ (Automatic Repeat Request) requiere que el CRC (Código de Redundancia Cíclica) del encabezado este correcto. Si lo está se envía una señal de acuse de recibo, de lo contrario se reenvían los datos. Un esquema ARQ sin numeración es aplicado cuando los datos transmitidos en una ranura (slot) son

directamente reconocidos por el receptor en la siguiente ranura. Para que la transmisión de datos sea reconocida, el encabezado y el CRC deben estar correctos, de lo contrario será enviado un mensaje de acuse negativo.

2.13.2 Seguridad. La banda base de Bluetooth le provee al usuario mecanismos de protección y privacidad de la información en la capa física. La autenticación y encriptación a 128 bits protegen contra simulaciones o intercepciones de datos, son implementadas de igual forma para cada equipo Bluetooth, lo que es conveniente para la naturaleza *ad hoc* de la red. Las conexiones pueden requerir autenticación en una dirección, en dos direcciones, o simplemente no requerir información. La autenticación se basa en un algoritmo de acuse de respuesta. La autenticación es un componente clave de cualquier sistema Bluetooth, permitiéndole al usuario por ejemplo, que solamente su agenda electrónica se comunique a través de su celular. En general existen tres formas de brindar seguridad:

1. *A través de saltos de frecuencia pseudo-aleatorios:* esto hace que se le dificulte a cualquier persona escuchar la información de los demás.
2. *Autenticación:* le permite al usuario controlar la conectividad de ciertos equipos especificados, utilizando una rutina de pregunta-respuesta.

3. *Encriptación*: utiliza claves secretas de 1, 40 y 64 bits de longitud, es utilizada para proteger la privacidad de la conexión.

2.14 APLICACIONES DE BLUETOOTH

Dentro de las aplicaciones que se le pueden dar a los dispositivos Bluetooth, se destacan las siguientes:

Teléfono Móvil y PC Portátiles. Con la tecnología Bluetooth, todas las conexiones entre su computador portátil y los otros dispositivos Bluetooth se realizan de forma instantánea y automática. Usted puede enviar archivos de un computador portátil como si lo estuviera haciendo a través de una LAN. O usted puede navegar por Internet, Enviar y recibir correos electrónicos y faxes, sin importar su ubicación, a través de un teléfono móvil o mediante cualquier acceso Bluetooth con conexión a Internet. Al implementar Bluetooth en su oficina y contar con una estación Bluetooth en casa, usted podrá utilizar su teléfono donde quiera que se encuentre. En la oficina, su teléfono funcionaría como un simple repetidor, sin cargo telefónico adicional. En casa, funcionará como un teléfono inalámbrico, con tarifa de telefonado fijo.

Agendas Electrónicas. Podrá acceder a toda la información almacenada en su agenda electrónica desde otro dispositivo Bluetooth o viceversa sin necesidad de realizar ninguna conexión alámbrica. Con su agenda electrónica conectada

inalámbicamente con un teléfono móvil, o con cualquier conexión Bluetooth, usted puede enviar y recibir correos electrónicos, documentos y notas presionando con un dedo la pantalla de la agenda. La conexión es establecida automáticamente y se mantendrá aunque los dispositivos no se encuentren en línea de vista.

Manoslibre. El manoslibre inalámbrico se puede conectar de forma ágil a un teléfono móvil o a cualquier otro dispositivo Bluetooth. Mediante el manoslibre, se pueden responder llamadas entrantes de forma automática y marcar o colgar utilizando únicamente la voz, siempre y cuando el teléfono móvil se encuentre equipado con ésta funcionalidad. También es posible transferir llamadas entre el manoslibre y el teléfono móvil o el computador portátil.

Equipo de oficina. La tecnología Bluetooth conecta todos sus dispositivos de oficina de forma inalámbrica. Usted puede, por ejemplo, conectar su computador a scanners, impresoras y faxes sin necesidad de cables. Podrá incrementar su sensación de libertad al conectar tanto el mouse como el teclado de forma inalámbrica a su computador.

Cámaras, imagen instantánea y video. La posibilidad de transferir imágenes instantáneas y videoclips entre una cámara y un computador portátil es un buen ejemplo de la versatilidad de la tecnología Bluetooth. Mientras su cámara digital sea un dispositivo Bluetooth, usted podrá transferir postales o videos desde

cualquier lugar de forma inalámbrica entre su cámara y un teléfono móvil o un punto de acceso a una conexión cableada.

Puntos de acceso a conexiones cableadas. La tecnología Bluetooth busca conectar entre si a todos los dispositivos digitales. La tecnología ha tenido un estándar global de facto para el área personal, la conectividad inalámbrica. Para conectarse con el resto del mundo, es necesario contar con un punto de acceso que se encuentre dentro del área de cobertura de su dispositivo Bluetooth. Cuando se encuentra en movimiento, el punto de acceso podrá ser su teléfono móvil. Cuando se encuentra en un punto fijo como en casa o en un hotel el punto de acceso podrá ser simplemente una conexión cableada.

2.15 EL FUTURO BLUETOOTH 2.0

Ericsson, miembro fundador del Bluetooth SIG, ha desvelado como será la nueva especificación 2.0 de esta tecnología. Soportará velocidades brutas de 4, 8 y 12 Mbps, dependiendo del dispositivo, pero todas ellas compatibles entre sí. Por otro lado, se proporcionará un nivel de acceso al medio más eficiente que garantice los tiempos de respuesta de aplicaciones de audio y vídeo en tiempo real (Calidad de Servicio). La distancia seguirá siendo unos 10 metros y consumirá el doble de potencia.

Una de las características más importantes de la versión 2.0 es que evita los problemas de la versión cuando se cae el maestro de una Piconet. En la nueva versión, cualquier dispositivo de la Piconet puede ser el supervisor o maestro de las comunicaciones cuando algún otro desaparece o falla. Según los representantes de Ericsson, Bluetooth 2.0 no sustituirá a la versión inicial sino que será un complemento a esta.

3. TECNOLOGIA INALAMBRICA IrDA

3.1 ANTECEDENTES DE LA TECNOLOGÍA IrDA

En el año 1993, 50 empresas se juntaron en lo que se llamo la Infrared Data Association (IrDA) para definir los estándares para la transmisión de datos usando infrarrojo de corto alcance, que permita la conexión y entendimiento entre sí de productos de distintos fabricantes. A partir de ahí, cientos de empresas se han unido a la asociación. La comunicación por infrarrojo es aquella que utiliza la radiación infrarroja para su transmisión a través del espacio libre.

3.2 RADIACIÓN INFRARROJA (IR)

La radiación infrarroja es la región del espectro electromagnético comprendida entre las *microondas* y la *luz visible*. En la comunicación Infrarroja, un LED transmite la señal infrarroja como destellos de luz no visible. En el lado del receptor un Fotodiodo o fotoreceptor detecta y captura los pulsos de luz, que son luego procesados para recuperar la información que contienen.

La radiación infrarroja (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 Mbps. Dado que la IR es transmisión en línea visual, es sensible a la niebla y otras condiciones atmosféricas.

3.3 ¿QUÉ ES IrDA?

Es el protocolo de la IrDA, el cual es un grupo integrado por muchas empresas y particulares interesadas en la comunicación Infrarroja como solución para diferentes sistemas. Específicamente, su objetivo es *“crear una norma de interconexión de datos en forma serie, half duplex, de baja potencia y bajo costo, que soporte un modelo de usuario punto a punto adaptable a un amplio rango de dispositivos”*. La IrDA especifica tres comunicaciones infrarrojas estándares:

- ❖ **IrDA-Data** (Datos)
- ❖ **IrDA-Control**
- ❖ Nuevo estándar emergente llamado **Alr**.

Esta investigación tratara exclusivamente acerca del IrDA-Data, que es la enfocada a la transmisión de datos. IrDA es una conexión punto a punto, con un ángulo agudo de 30° en forma de cono. Ad-hoc estándar para transmisión de datos diseñado para operar en una distancia de unos cuantos metros, a velocidades de 9600 bps a 16 Mbps.

La comunicación de datos infrarroja involucra un transceptor 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. A través del tiempo, se han creado diferentes estándares para la transmisión por infrarrojo, partiendo desde la versión 1.0 hasta la más actual, la versión 2.0. En el estándar IrDA-1.1, el máximo tamaño de datos que se puede transmitir es de 2048 bytes (2 MB) y la tasa máxima de transmisión es de 4 Mbps.

3.4 CARACTERÍSTICAS DE IrDA

- ❖ Bajo costo de implementación: el objetivo es facilitar el uso de emisores y receptores de uso comercial para poder asegurar costo de fabricación de algunos dólares. La meta a alcanzar es que la conexión IR (Radiación Infrarroja) sea más económica que el simple cable actual y sus conectores.
- ❖ Bajos requerimientos de potencia: el uso de potencia ha sido limitado a fin de no imponer una carga de importancia a sistemas portátiles, como Notebooks, teléfonos u otro instrumental de mano.
- ❖ Conectividad direccional, punto a punto: el empleo de vínculos mediante dispositivos con diagramas de emisión/detección direccionales permite

establecer vínculos múltiples que no interfieran entre sí, así como mantener un grado importante de confidencialidad en el flujo de datos.

- ❖ Alta inmunidad al ruido: el empleo de luz infrarroja (con 850 a 900 nanómetros de longitud de onda) presenta ventajas notables frente a las otras alternativas inalámbricas, como serían señales de radiofrecuencia o ultrasonidos, en cuanto a que el espectro de ruido en el infrarrojo se encuentra en muy bajas frecuencias (fundamentalmente un nivel de base casi continuo dado por la luz solar); el empleo de técnicas de modulación permite obtener una elevada relación señal/ruido, que queda definida mayormente por el ruido propio del detector.

- ❖ Optimización para transferencia de datos: el tipo de modulación propuesto por la IrDA está orientado a la transferencia de datos, y pensado para que el alcance sea directamente manejado por UARTs comunes, con velocidades de hasta 115.2 Kbaudios.

- ❖ Velocidad de transmisión de 8 Mbps con un alcance hasta 8 metros, de 4 Mbps con un alcance menor de 4 metros y de 16 Mbps aún en desarrollo.

- ❖ La conexión IR es Half Duplex, ya que no tiene sentido recibir mientras se está transmitiendo en esta tecnología. La razón es sencilla, si sueltas el haz de luz

el receptor queda cegado por este y no es capaz de ver el que le llega al mismo tiempo que tu transmites.

La tecnología IrDA especifica los procesos de conexión de red, para los dispositivos que deseen establecer una comunicación por infrarrojo. Además, define los requerimientos de interoperabilidad entre equipos haciendo uso de los lenguajes de comunicación, así como protocolos que le permita realizar una óptima transferencia de datos.

3.5 PROCESO DE CONEXIÓN Y RECONOCIMIENTO DE DISPOSITIVOS IrDA

El reconocimiento de dispositivos IrDA usa un esquema de sondeo para recolectar respuestas de todos los dispositivos en línea de vista dentro de un rango de un metro. El dispositivo que realiza el reconocimiento se llama *dispositivo primario* y los dispositivos que responden son llamados *dispositivos secundarios*. El dispositivo primario manda un mensaje de Broadcasts para iniciar el reconocimiento del dispositivo. Este mensaje identifica el número de slot de tiempo en que el dispositivo secundario puede responder. Los reconocimientos de dispositivos pueden contener 1, 6, 8, o 16 slot de tiempo. Cada dispositivo secundario genera un número aleatorio que especifica el slot en que responderá. El dispositivo primario manda un paquete de reconocimiento de dispositivo al principio de cada slot de tiempo. Si el número de slot de tiempo es igual al número

aleatorio escogido por el dispositivo secundario, enviará un paquete de respuesta de reconocimiento al dispositivo primario.

3.6 CAPAS Y PROTOCOLOS DEL MODELO IrDA

IrDA está organizada en las cuatro primeras capas o niveles del modelo de referencia OSI, cada una de las cuales se identifican por protocolos que proveen servicios a las capas superiores. Las cuatro capas son:

- ❖ Capa física.
- ❖ Capa de enlace.
- ❖ Capa de red.
- ❖ Capa de transporte.

3.6.1 Capa física (Physical Layer). La Physical Layer o nivel físico aporta todas las características físicas. Las transmisiones se realizan en broadcast en un cono de 30 grados desde el punto intermedio, hasta unos 65 grados aproximadamente. El enlace de capa física de IrDA es llamado *IrDA-SIR* (Serial Infrared Physical Layer Link) y su hardware es sumamente simple y consta de *un codificador/decodificador* (CODEC), que transforma los niveles (“1” y “0”) de la señal de datos a transmitir en pulsos de duración a formato especificados y viceversa y *un transductor* (IrTxRx), que consta de un emisor (LED) y un detector (Fotodiodo).

Empleando este esquema, una UART convencional es conectada al CODEC y éste al transductor, para componer una unidad de comunicaciones IrDA funcional, donde el formato temporal de la señal óptica es el siguiente: un "0" es representado por un pulso, con una duración nominal mínima de 1.6 μ segundos y un máximo de 3/16 del periodo de bit; y un "1" es representado por la ausencia de pulso.

3.6.2 Capa de enlace. La capa de enlace se identifica con **IrLAP** (*IrDA Infrared Link Access Protocol*). IrLAP Es un protocolo de conexión, que se encarga de preservar la comunicación entre los puertos IR. El IrLAP es una modificación del protocolo HDLC reflejado a las necesidades de la comunicación IrDA y se compara al protocolo IP, aunque la resolución de direccionamiento es diferente. Básicamente su función es proveer un intercambio de datos y una conexión en la que se pueda confiar. En caso de que esto no suceda, garantiza informar a la capa superior sobre los errores ocurridos.

En general, este protocolo encapsula los cuadros y se asegura que los dispositivos IrDA no entren en conflicto entre ellos en una comunicación múltiple, al detectarse errores en la transmisión, el IrLAP se encarga de retransmitir los paquetes perdidos y aplica control de flujo.

Esta capa consta de otro protocolo muy importante, el **Frame/Driver**, que comprende dos partes: la parte *Frame*, convierte el formato de datos a un formato que el hardware entiende (comprobación CRC, bits de inicio y final, transparencia); mientras que la parte *Driver*, inicializa el hardware (velocidades de transmisión e intercambia datos desde el controlador hasta el transceptor).

3.6.3 Capa de red. La capa de red se identifica con **IrLMP** (*IrDA Infrared Link Management Protocol*). El objetivo del IrLMP es detectar la presencia de dispositivos ofreciendo un servicio, controla el flujo de datos y actúa como un multiplexor para configuraciones de dispositivos con diferentes características (comparado a los sockets en la comunicación TCP/IP).

Existen 2 componentes de la capa de red, que son: el *Multiplexor IrLMP*, que permite que haya múltiples clientes del servicio de red sobre una sola conexión de enlace y el IAS (Servicio de acceso a la información), encargado de buscar los diferentes dispositivos IR.

3.6.4 Capa de transporte. El protocolo a nivel de transportes el **Tiny TP** (*IrDA Transport Protocols*), que maneja canales virtuales entre los dispositivos, realiza corrección de errores (lost packets, etc.), y engloba el control de flujo, divide los datos en paquetes, y reensambla el dato original de los paquetes.

3.7 PROTOCOLOS DE NIVEL SUPERIOR

IrCOMM: da soporte a aquellas aplicaciones que funcionan sobre el puerto COM (puerto serie).

IrLPT: da soporte a aquellas aplicaciones que funcionan sobre el puerto LPT (puerto paralelo).

IrOBEX (*IrDA Object Exchange Protocol*): protocolo diseñado para que un objeto pueda ser movido de un dispositivo a otro. Esta construido sobre el Tiny TP. Existe una extensión de éste protocolo utilizada para dispositivos movibles, PDA, teléfonos celulares, el cual define como transferir informaciones pertenecientes a una red GSM.

IrTran-P (Infrared Transfer Picture): este protocolo se desarrollo por la inquietud de grandes compañías fabricantes de cámaras digitales y especifica como transferir fotos a través de la interfase infrarroja. Esta construida sobre TinyIP.

3.8 SEGURIDAD

Una de las ventajas de la transmisión infrarroja es que no representa un riesgo o desventaja para la seguridad. Debido a que el infrarrojo debe estar en línea visible, tiene menos rango de transmisión, lo que hace más difícil de interceptar cualquier

dato que sea intercambiado vía IR, comparado con las radiofrecuencias. Sin embargo es posible introducirse en una conversación detectando la luz reflejada.

El IrDA no tiene capacidad de seguridad a un nivel de conexión como el Bluetooth, en su lugar confía en un nivel de protocolo superior y de mayores aplicaciones para proporcionar autenticación y/o encriptación.

Una posible solución para temas de seguridad puede ser una forma de encriptación de datos. Estándares de encriptación de datos (DES) están siendo desarrolladas rápidamente para el intercambio de información a través de Internet, y muchos de estos DES son aplicables a la tecnología inalámbrica.

3.9 APLICACIONES DE IrDA

- ❖ Cámaras digitales que envían imágenes directamente a un PC.

- ❖ Transferir un documento desde el computador portátil hacia una impresora.

- ❖ Coordinar agendas y libretas telefónicas entre los distintos PCs y los portátiles.

- ❖ Envío de faxes desde el computador portátil a un fax distante por medio de un teléfono público.

❖ Dispositivos de acceso a LAN (Access point).

❖ Variedad de equipos médico industrial.

3.10 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA IrDA

Tabla 2. Ventajas y desventajas del IrDA.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Requerimientos de bajo voltaje, ideal para Laptops, PDA, etc.• Circuito de bajo costo.• Circuiteria simple, no requiere hardware especial.• Alta seguridad.	<ul style="list-style-type: none">• Se bloquea la transmisión con materiales comunes.• Corto alcance.• Velocidad de transmisión relativamente baja.• Sensible a la luz y el clima.

4. COMPARACION DE TECNOLOGÍAS

Existen similitudes entre ambas tecnologías, destacando que Bluetooth ha tomado prestado el protocolo de transferencia OBEX de IrDA (pero difieren en la capa física), mientras que la IrDA está aparentemente dispuesta a fomentar la cooperación con su homólogo Bluetooth. La tabla 3 nos muestra las principales comparaciones entre dichas tecnologías:

Tabla 3. Cuadro comparativo entre Bluetooth e IrDA

IrDA	Bluetooth
<ul style="list-style-type: none">• La seguridad se basa en la direccionalidad del rayo.• Cualquier objeto opaco bloquea la transmisión.• Diseñada para transmisión Punto a Punto.• Angulo de cobertura de 30 grados.• Tasa de transmisión de 4 Mbps, migración a 16 Mbps.	<ul style="list-style-type: none">• Fija un sistema de seguridad en la capa Baseband o banda base• La señal atraviesa objetos sólidos siempre que no sean metálicos.• Diseñada para transmisión Punto a Multipunto.• No es necesaria la existencia de línea de vista.• Tasa de transmisión de 1 y 2 Mbps, migración a 10 Mbps.

Si bien hay que tener en cuenta que IrDA es la tecnología de comunicaciones inalámbrica de corto alcance más barata hoy en día, además de segura en la

transmisión y teóricamente, con una mayor tasa de transmisión de datos que Bluetooth, la opinión general de los usuarios de dispositivos móviles está en contra de los infrarrojos. La necesidad de línea visual directa hace que esta tecnología sea menos flexible que Bluetooth, e incluso que haya habido problemas de interoperabilidad entre dispositivos de infrarrojos.

Entonces ¿por qué Bluetooth debería tener tanto éxito si ya existe otro estándar inalámbrico tan bueno? La respuesta es que los dos estándares pueden coexistir ya que son complementarios. En aplicaciones en las que los equipos deben apuntarse entre sí con un ángulo muy pequeño, para que dos personas traten de intercambiar información mientras otros están tratando de hacer lo mismo, sería una ventaja de IrDA. En dicha situación, un dispositivo Bluetooth, que es omnidireccional, sería una desventaja, ya que sería difícil encontrar un dispositivo específico entre tantos. Sin embargo, Bluetooth tiene varias ventajas en otras situaciones. Puede realizar conexiones a través de las paredes, y una vez establecida la conexión no es necesario que los equipos permanezcan estáticos.

El costo de la tecnología Bluetooth está descendiendo, aunque pasarán muchos años antes de que alcance los niveles actuales de los rayos infrarrojos, difíciles a su vez de descender aún más. El futuro aumento en la velocidad de transmisión de datos con Bluetooth y la resolución a corto plazo de las cuestiones de seguridad despojarán a la tecnología de infrarrojos de las pocas ventajas que le quedan para competir con Bluetooth como tecnología de conectividad inalámbrica.

Sin embargo, se espera que los infrarrojos no desaparezcan pronto, pues esta tecnología continuará siendo utilizada en aplicaciones de bajo rendimiento como mandos de control remoto para televisores y otros bienes de consumo. El bajo costo y la madurez de la tecnología la hace aún muy atractiva en aplicaciones en las que sólo se requiere una simple conectividad inalámbrica.

Con Bluetooth una persona podría sincronizar el teléfono con un PC sin sacarlo del bolsillo. Esto no es posible con la IrDA. La capacidad omnidireccional de Bluetooth permite la sincronización al comienzo cuando el teléfono está introducido en el rango del PC.

El uso del Bluetooth para la sincronización no requiere que el teléfono permanezca en una localización fija. Si la persona lleva el teléfono en el bolsillo, la sincronización se puede producir mientras se mueve. Con el IrDA, el teléfono se puede colocar en la localización adecuada y permanecer estático mientras la sincronización se ejecuta.

Se ve entonces que ambas tecnologías tienen sus ventajas, pero lo importante es que no hay que escoger ninguna ya que ambas pueden coexistir en el mismo dispositivo, con el adecuado activado dependiendo de las circunstancias. Es importante conocer las diferencias de estos dos estándares que se tendrán en la era de comunicaciones inalámbricas que se avecina.

5. INFLUENCIA DE LAS TECNOLOGÍAS BLUETOOTH E IrDA EN EL MEDIO ACTUAL

Es importante la gran acogida que ha tenido la tecnología Bluetooth en todo el mundo, ya que rompió con las expectativas de cualquier otra tecnología similar. Cuando se desarrolló el estándar para la tecnología IrDA, ésta estaba por 50 compañías de telecomunicaciones, mientras que cuando se desarrolló el estándar para la tecnología Bluetooth, ésta estaba conformada por más de 2.000 compañías y por supuesto las más importantes en éste medio.

En la actualidad, la tecnología IrDA cuenta con más de 100 millones de unidades de dispositivos en el mercado en los 10 años que lleva como estándar y Bluetooth que aún es una tecnología muy nueva (5 años) tiene cercano a cien mil unidades de dispositivos, esto es debido también a que la tecnología Bluetooth, aun no ha cumplido con uno de los principales objetivos con que fue creada y es que el costo de los chips Bluetooth son muy elevados. Los dispositivos inalámbricos Bluetooth están proyectados para exceder un millón de unidades en el año 2005.

Gracias a las grandes ventajas que ofrecen las tecnologías inalámbricas y a las múltiples aplicaciones que se han desarrollado, se estima que en poco tiempo, estas tecnologías penetren de forma transparente en todos los medios.

En un futuro no muy lejano, la velocidad de los dispositivos inalámbricos se incrementará significativamente debido en gran medida a las nuevas tecnologías inalámbricas y a los nuevos estándares, los cuales permitirán la interoperabilidad entre los equipos y la compatibilidad de las redes. Con esto los fabricantes de equipos inalámbricos incrementarán sus ventas y al mismo tiempo se decrementarán poco a poco los precios de los productos inalámbricos.

6. CONCLUSIONES

Con la implementación de redes inalámbricas basadas en la tecnología Bluetooth, por ejemplo las redes PAN, esta definida en un área o la zona geográfica donde se va instalar dicha red es bastante pequeña, pero a su vez dinámica en cuanto a la ubicación de cada dispositivo de red, debido a que no requiere de cableado para su interconexión, ni tampoco línea de vista.

Como toda nueva tecnología, se observa que Bluetooth está pasando por las etapas tradicionales de pruebas, conflictos y correcciones. El haber tomado en cuenta los problemas de otras tecnologías similares, al momento de planificar el desarrollo del estándar, ha sido muy provechoso, ya que se ha logrado minimizar las dificultades habituales. El estándar Bluetooth tiene como respaldo una fuerte maquinaria creativa y una clara visión de futuro, que se debe a que en la actualidad existen más de 2000 empresas que conforman el SIG.

En resumen se puede decir, que las tecnologías IrDA y Bluetooth proporcionan implementaciones complementarias para intercambio de datos y aplicaciones de voz. La creciente tendencia en cuanto a las comunicaciones Inalámbricas de corto alcance siguen aun a un ritmo muy acelerado y seguramente estarán influenciadas por las tecnologías IrDA y Bluetooth, las cuales han demostrado tener la capacidad necesaria para la transmisión de voz, datos y video de forma eficiente y

segura; lo que hace que sean consideradas como modelos para futuras generaciones en esta área.

Así como en éste documento nos pudimos dar cuenta que cada vez más, los fabricantes de dispositivos inalámbricos realizan mayor investigación en cuanto a la fusión de éstas tecnologías para suplir las desventajas de la una respecto a la otra, por ejemplo en el caso que discutimos previamente (Investigación del Aceleramiento Bluetooth Usando IrDA), donde se demostró que una red implementada con Bluetooth ayudada por IrDA brindó una mejora significativa en cuanto al tiempo de descubrimiento de dispositivos Bluetooth; existen muchas otras investigaciones de éste tipo, lo cual significa que hay una gran expectativa en cuanto al desarrollo de dichas tecnologías. Además, se crea la posibilidad que con el tiempo, éste proyecto híbrido se incorpore de forma transparente a nuestra vida diaria, tal como lo hicieron años atrás el teléfono, la televisión, la computadora e incluso el Internet.

7. RECOMENDACIONES

Como un valor agregado a ésta investigación, se considera la posibilidad de poder programar dispositivos Bluetooth y simularlo en un software, ya que con esto se conseguiría afianzar más los conocimientos y además, hacer más didáctico el aprendizaje de éstas tecnologías. Es bien sabido que la implementación de una red Bluetooth resulta demasiado costosa y es por eso que se sugiere que mejor sea una simulación.

La tecnología Bluetooth, debido a sus características, se ve que tiene muchas aplicaciones en las cuales aún no se ha trabajado, por ejemplo: en parqueaderos automáticos, ya que se puede controlar la entrada de vehículos, la asignación de un cupo específico dentro del mismo y la salida del mismo; se puede hacer el control del tiempo para vehículos de transporte urbano, sin necesidad que éste se detenga en la estación base "reloj"; en peajes, se puede controlar el tránsito por el mismo y hacer el respectivo cobro tarifario en alguna cuenta del propietario o en alguna tarjeta prepago de éste tipo, sin necesidad que el vehículo se detenga, en fin, las aplicaciones son innumerables, pero lo más importante no es solamente imaginárselas, sino más bien desarrollarlas y hacerlas realidad.

ANEXO A. RÁPIDO ESTABLECIMIENTO DE CONEXIÓN HETEROGÉNEO

INVESTIGACIÓN DEL ACELERAMIENTO BLUETOOTH USANDO IrDA

Ryan Woodings, Derek Joos, Trevor Clifton, Charles D. Knutson

Department of Computer Science

Brigham Young University

Provo, Utah 84602

{woodings, joos, clifont, knutson}@cs.byu.edu

RESUMEN

El descubrimiento de dispositivos Bluetooth es una fase del proceso de establecimiento-conexión que requiere demasiado tiempo. En este paper se propone una técnica que integra la tecnología existente IrDA con la tecnología Bluetooth para mejorar el tiempo de establecimiento-conexión de los dispositivos Bluetooth. Se logrará éste mejoramiento primeramente estableciendo una conexión IrDA entre dos dispositivos provistos con ambas capacidades Bluetooth e IrDA y luego intercambiaremos información de descubrimiento de dispositivos Bluetooth por medio de la conexión establecida IrDA. Como un resultado de este intercambio cooperativo, los dispositivos son capaces de disminuir el largo tiempo de descubrimiento de dispositivos Bluetooth. Este estudio muestra que el establecimiento de la conexión de IrDA asociado con Bluetooth supera por cinco

veces el tiempo más rápido que el proceso normal de establecimiento de conexión Bluetooth. Además, esto proporciona otros ahorros de tiempo en procesos de selección de dispositivos subsiguientes.

Descubrimiento de Dispositivos Bluetooth y Procesos de Conexión

El descubrimiento de dispositivos y los procesos de establecimiento de conexión empiezan cuando un dispositivo Bluetooth solicita una petición (Inquiry) para descubrir otros dispositivos Bluetooth. La especificación Bluetooth define los códigos de acceso Inquiry que permiten a un dispositivo especificar el tipo de dispositivo que está buscando, tal como una PDA, impresora, o punto de acceso LAN. Durante la Inquiry, los dispositivos generan una secuencia de saltos (cambiando de canal). Esta secuencia de saltos es derivado del reloj del dispositivo local y del código de acceso escogido. Esta secuencia de salto cubre un subconjunto de 32 canales de los 79 canales disponibles Bluetooth. Una vez que un dispositivo genera una secuencia de salto, transmite mensajes de Broadcast secuencialmente conmutando cada canal definido en la secuencia de saltos.

Los dispositivos descubiertos entrarán periódicamente al **Inquiry scan substate**. En este substate, los dispositivos saltan de acuerdo a la secuencia de saltos Inquiry examinada, la cual es basada también en el código de acceso Inquiry y el reloj local. Si el dispositivo que realiza el Inquiry examina que recibe un mensaje

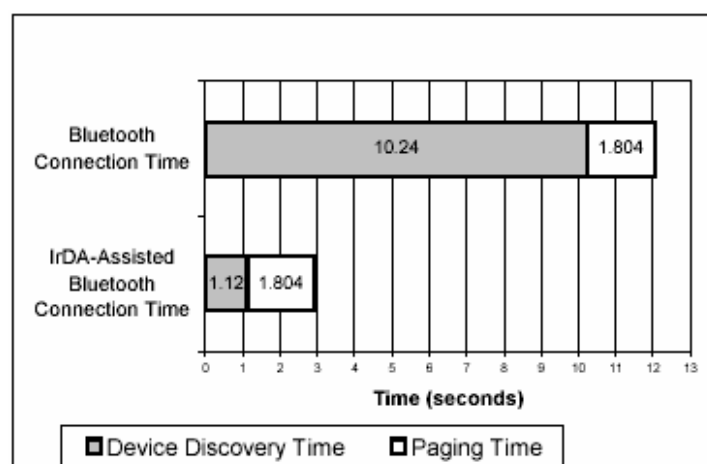
Inquiry, la respuesta Inquiry incluye el reloj y la dirección del dispositivo remoto, ya que ambos lo necesitan para establecer una conexión Bluetooth.

Descubrimiento de Dispositivos Bluetooth Ayudado por IrDA.

Una combinación de Bluetooth e IrDA puede lograr mejoramiento en el tiempo de conexión hasta de un 400%. Estas mejoras pueden obtenerse cuando los dispositivos móviles están provistos con ambas capacidades de IrDA y Bluetooth.

El proceso de establecimiento de conexión Bluetooth actual, consiste en dos pasos, que son: la petición Inquirir y el page, mostrados en la siguiente figura. La petición Inquirir de la conexión Bluetooth toma 10.24 seg. Para completar antes que comience el paging. En este experimento el paging demoro un promedio de 1.804 seg. Después cada dos dispositivos Bluetooth se conectaron.

Análisis del tiempo de conexión



Para Utilizar las capacidades de establecimiento de una conexión rápida de IrDA, el dispositivo recoge la información necesaria de funcionamiento de una conexión Bluetooth en menos tiempo que los 10.24 seg. Requerido por el proceso de descubrimiento de dispositivo Bluetooth. Para establecer una conexión IrDA, el dispositivo remoto también elimina la necesidad del proceso de selección de un dispositivo Bluetooth el cual ocurre después del descubrimiento. El proceso de selección del dispositivo Bluetooth puede complicar la selección de una lista de dispositivos descubiertos. Este factor no solamente incrementa la complejidad del software (particularmente al utilizar interfaces) pero también complica además (extensamente indeterminada) el lapso de tiempo para tomar una decisión y comunicársela al dispositivo.

Primero se mira un poco los beneficios de ésta situación (establecimiento de conexión de Bluetooth con la ayuda de IrDA). Seguidamente se miran las características técnicas de éste proceso. Finalmente se explica como se implementarán éste proceso en una simple aplicación.

Situaciones posibles de uso

Hay un número de situaciones en los cuales el proceso de aceleramiento de Bluetooth usando IrDA es ventajoso. Una situación común de uso de Bluetooth es la transferencia de archivo entre dos dispositivos portátiles. Antes de la transferencia de archivos, una Inquirí Bluetooth debe ocurrir primero. Después que

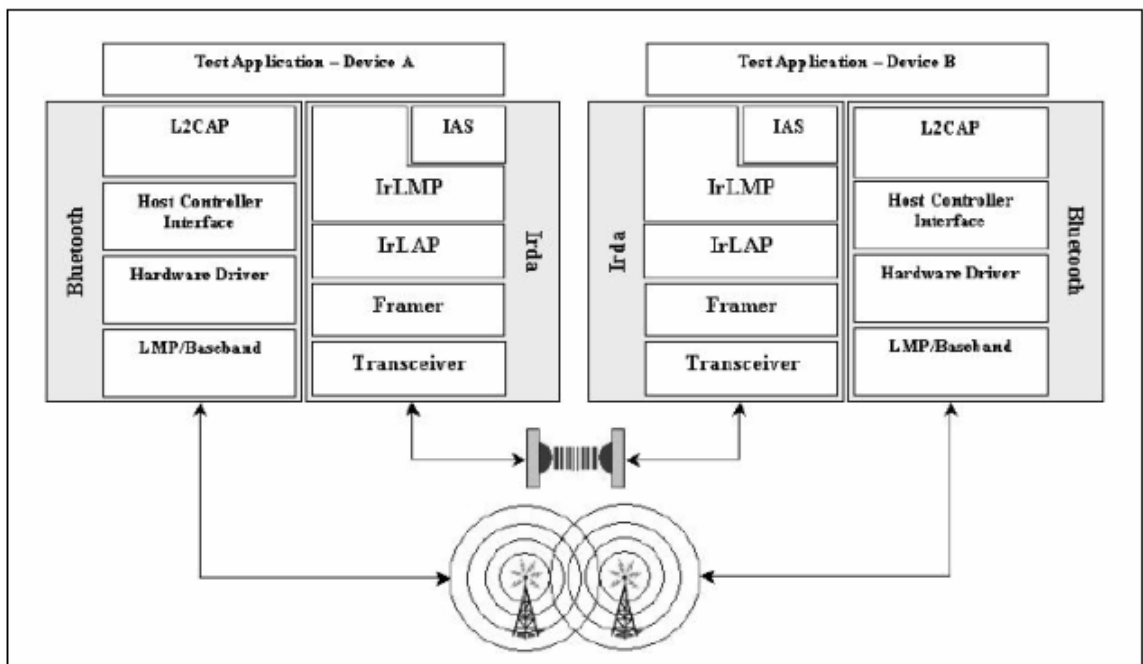
el Inquirir se complete, el usuario debe seleccionar el dispositivo correcto entre todos los que respondan a la petición. El usuario requiere conocer cualquier dirección exacta del dispositivo Bluetooth o el nickname del dispositivo remoto. Después de escoger el dispositivo correcto, una conexión Bluetooth es establecida y el archivo es transferido usando la conexión perfeccionada. Esta situación puede ser significativamente mejorada si el usuario puede simplemente apuntar los dispositivos el uno al otro por uno o dos seg. (suficiente tiempo para establecer la conexión IrDA y recuperar la información de la conexión Bluetooth). Después que la información de conexión Bluetooth es recuperada, el enlace IrDA puede ser desconectado y se establece una conexión Bluetooth. Los usuarios están entonces libres de mover sus dispositivos alrededor, fuera de la línea de vista, mientras el archivo continúa su transferencia sobre Bluetooth.

Otra situación que beneficia el proceso de establecimiento de conexión de Bluetooth ayudado por IrDA es una conexión de Internet usando una PDA o un Laptop por medio del teléfono celular. El usuario puede momentáneamente apuntar el dispositivo al teléfono celular y usar IrDA para completar el descubrimiento del dispositivo, de esta manera se evita la demora del proceso de selección de descubrimiento del dispositivo de la conexión Bluetooth. El usuario puede entonces guardar su teléfono celular y navegar por Internet con la PDA o el Laptop.

A cerca de las técnicas.

Para aprovechar la ventaja de nuestro algoritmo propuesto, cada dispositivo debe estar provisto con un stack Bluetooth que incluye L2CAP, HCI y niveles de hardware. Cada dispositivo debe poseer también un stack IrDA que se componga mínimo de IAS, IrLMP, IrLAB y niveles de hardware. La arquitectura necesaria de los stack de Bluetooth e IrDA para el descubrimiento de dispositivos Bluetooth ayudado por IrDA son mostrados en la siguiente figura.

Diagrama del stack de Bluetooth e IrDA



Los dispositivos IrDA están provistos con IAS. Las IAS contienen un listado de los servicios requerido por el dispositivo IrDA y proporciona mecanismos para consultar el IAS sobre un dispositivo remoto. Esta información le dice al dispositivo remoto como conectar el servicio requerido por el dispositivo IrDA.

Cada entrada de IAS se compone de una *clase de nombre* y una cantidad de *atributos*. Cada atributo tiene un nombre y un valor. Un ejemplo de una entrada de IAS es la entrada usada por el protocolo IrCOMM. La clase de nombre para ésta entrada es "IrDA:IrCOMM", el nombre del atributo es "IrDA:IrLMP:LsapSel", y el valor del atributo es el valor del servicio LsapSel (similar a un número de puerto en el mundo cableado – Wired World).

Por definición una clase de atributo es llamado "*Bluetooth*" y un nombre de atributo de "*Dirección*", la dirección Bluetooth puede ser guardada en una base de datos IAS de IrDA. Si un dispositivo local pregunta a un dispositivo remoto la base de datos del dispositivo IAS por la "dirección Bluetooth", la dirección Bluetooth del dispositivo remoto es entregada. La tabla 1 muestra ejemplos de las entradas IAS.

Ejemplo de entrada IAS

Class Name	Attribute Name	Attribute Value
IrDA:IrCOMM	IrDA:IrLMP:LsapSel	3
	Parameters	5B:34:26
	IrDA:InstanceName	Device Instance Name
Bluetooth	Address	55:26:5E:36:28:A3
	Name	John Doe's PDA

Una vez la dirección Bluetooth es recuperada de la base de datos IAS de un dispositivo remoto, el dispositivo local puede saltar al Inquirir Bluetooth e ir directamente al Paging, de esta manera se reduce la cantidad de tiempo requerido para establecer la conexión Bluetooth.

Pseudocódigo para el procedimiento de conexión de Bluetooth ayudado por IrDA

Let l be the local device Let r be the remote device Let BA _l be the Bluetooth address of the local device Let BA _r be the Bluetooth address of the remote device Let QR _r be the IAS Query Response from the remote device Let DD be a list of discovered devices, where DD _n is device n in the list Let IAS _{ba} be the IAS entry for the Bluetooth Address	
Local Device Begin DD = IrDiscover(); if(size(DD) == 0) return; IrConnect(DD ₀); QR _r = IASQuery(DD ₀ , "Bluetooth:Address"); if(QR _r == null) return; BA _r = IRIAS_GetUserString(QR _r); BTConnect(BA _r); End.	Remote Device Begin BA _l = RetrieveLocalBluetoothAddress(); IAS _{ba} = CreateIASEntry(BA _l); while(true) { switch(Event) { IR_DISCOVER: IrDiscoveryResponse(); IR_CONNECT: IrConnectResponse(); IR_IASQUERY: IrlasResponse(IAS _{ba}); BT_CONNECT: BtConnectResponse(); } } End.

En la figura anterior se muestra el algoritmo en pseudocódigo de la conexión Bluetooth apoyada por IrDA. La sección del dispositivo local describe el

comportamiento de cómo inicia la Inquirí el dispositivo cliente. La sección del dispositivo remoto describe el comportamiento de cómo el dispositivo servidor es descubierto. Note que el dispositivo remoto debe estar en estado de responder a los requisitos de descubrimiento para ayudar en el procedimiento de conexión Bluetooth.

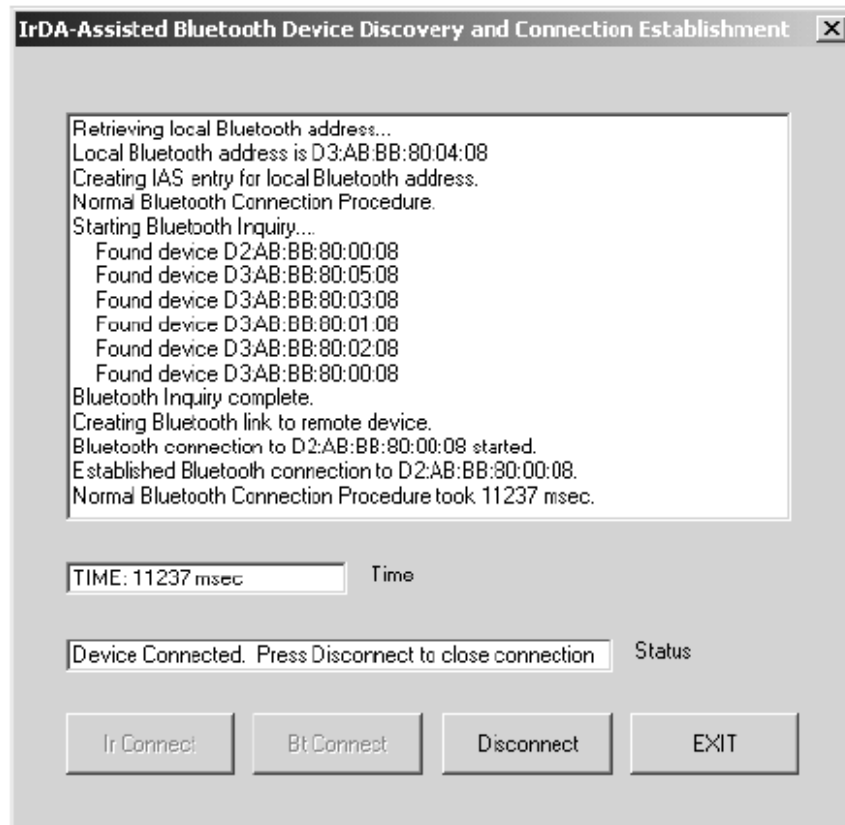
Algoritmo normal de conexión Bluetooth

Para medir el funcionamiento de la mejora del descubrimiento de dispositivos Bluetooth ayudado por IrDA, se implementará una prueba de aplicación, permitiendo recopilar los datos empíricos. El siguiente párrafo describe el algoritmo usado en la prueba de aplicación.

Para el procedimiento normal de conexión Bluetooth, la aplicación arranca un temporizador y entonces comienza un Inquirí de todos los dispositivos dentro del rango. Después que el Inquirí se completa, se establece una conexión Bluetooth con el primer dispositivo que respondió al Inquirí. El procedimiento de selección de dispositivo se omite de estos resultados empíricos para eliminar la variación en los resultados causados por la interacción del usuario. Este paso de selección de dispositivo adiciona algunos segundos al proceso de establecimiento de conexión normal de Bluetooth, y potencialmente una cantidad mayor, dependiendo del número de dispositivos Bluetooth en el rango, el comportamiento del usuario y la

facilidad de la interface. En cuanto la conexión Bluetooth se establezca, la aplicación detiene el temporizador.

Pantalla del procedimiento normal Bluetooth



La figura anterior corresponde a una fotografía tomada de la pantalla de ésta prueba de aplicación tal como se establece una conexión Bluetooth usando el procedimiento de establecimiento de conexión normal. Observe la cantidad de dispositivos Bluetooth que respondieron al Inquirir. En una aplicación típica el

usuario tendrá que seleccionar el dispositivo deseado de una lista de direcciones Bluetooth o los nicknames correspondientes a los dispositivos descubiertos.

Algoritmo de conexión ayudado por IrDA

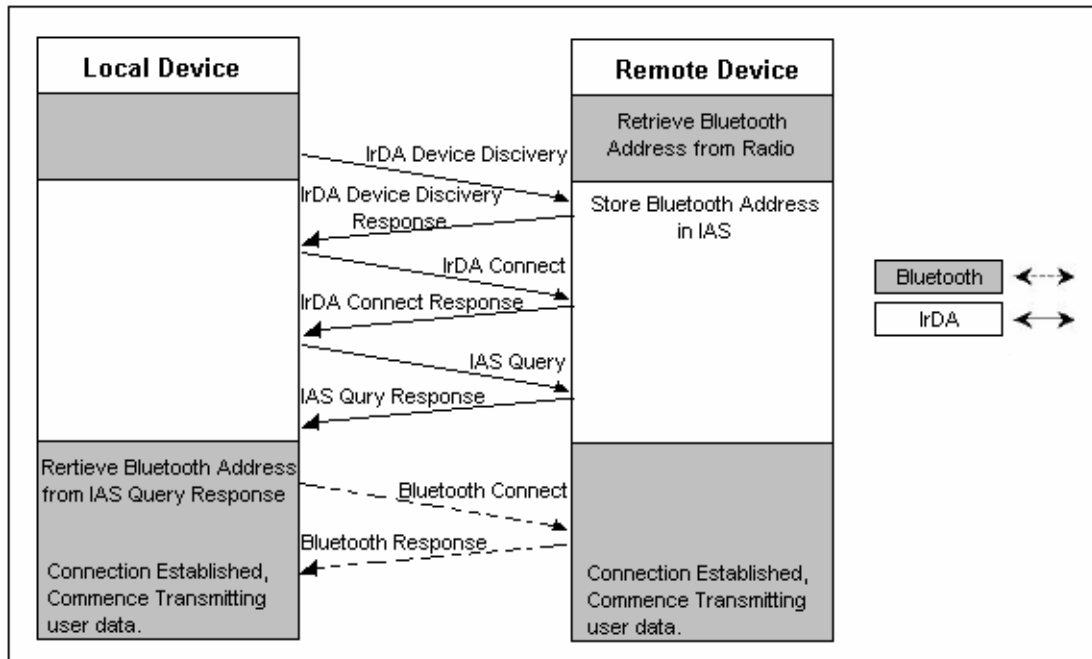
En el método de descubrimiento de dispositivo ayudado por IrDA, la prueba de aplicación registra la dirección Bluetooth de el radio y la almacena en una entrada IAS como "Bluetooth:Address". La aplicación entonces arranca el temporizador y ejecuta un descubrimiento de dispositivo remoto IrDA. Cuando el descubrimiento de dispositivo IrDA termina, la aplicación establece una conexión IrDA con el dispositivo remoto. En éste experimento, una vez el dispositivo IrDA estaba en el rango, el cual típicamente es el caso cuando se está usando IrDA debido al corto rango y limitado como de ángulo.

Una vez ha sido establecida una conexión IrDA, la aplicación ejecuta una consulta IAS del dispositivo remoto respecto al atributo "Bluetooth:Address". Si la consulta tiene éxito, se obtiene la dirección Bluetooth del resultado del IAS y se pasa al método de conexión Bluetooth. La aplicación detiene el temporizador una vez la conexión Bluetooth ha sido establecida.

La siguiente figura muestra el flujo de información que ocurre entre los dispositivos local y remoto durante el descubrimiento Bluetooth ayudado por IrDA. Los procesos internos del dispositivo se muestran dentro de la estructura del

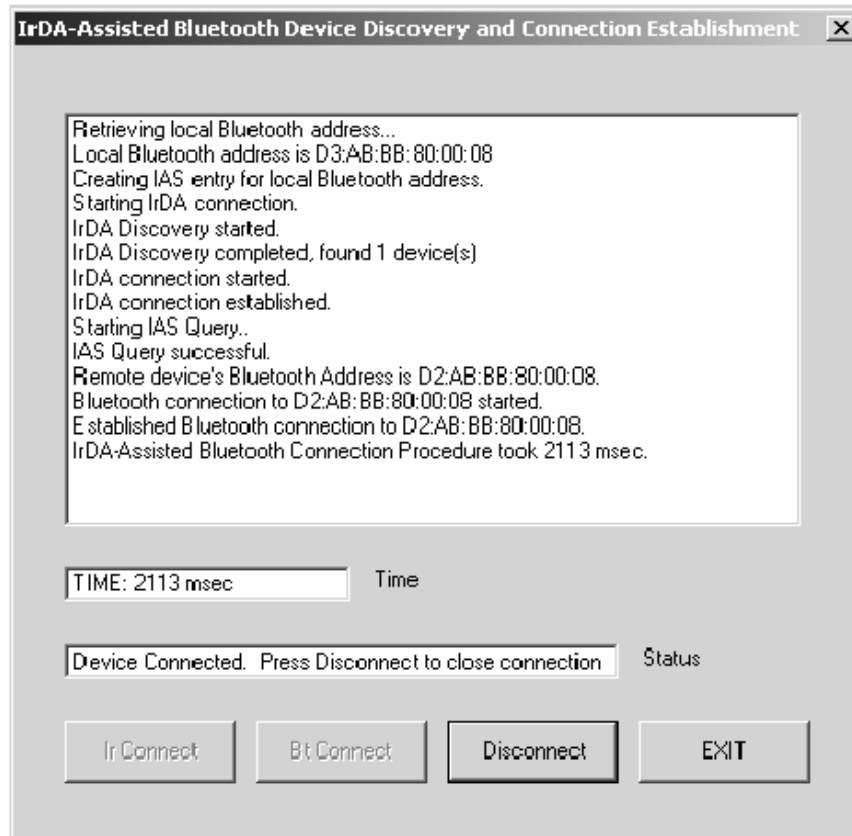
dispositivo, mientras la comunicación entre los dispositivos se describe por las flechas.

Procedimiento de conexión Bluetooth ayudado por IrDA



La siguiente figura muestra una fotografía de la pantalla del funcionamiento de la prueba de aplicación de una conexión Bluetooth ayudada por IrDA. Cada paso del algoritmo previamente descrito es reflejado en ésta gráfica. Note que, mientras que en un Inquirí normal Bluetooth múltiples dispositivos responden, sólo un dispositivo respondió al descubrimiento de dispositivo IrDA. El descubrimiento de dispositivo IrDA típicamente produce menos respuestas del dispositivo que Inquirí Bluetooth debido al corto alcance y la naturaleza direccional de la señal infrarroja.

Método Bluetooth ayudado por IrDA



Las dos figuras siguientes contienen las trazas de los paquetes de la interacción de IrDA que contiene la petición y la respuesta IAS.

Petición IAS de IrDA

Framing		iLAP										iLMP		IIAS						
#	I	Source	Start	Gap	Speed	Data	C/R	Type	Slot	P/F	Nr	Ns	Opcode	DLSAP	SLSAP	Data	Last	Class	Attribute	Count
15		Bluetooth Read	2.705 s	79.4 ms	9600	23	Cnd I		1	1	1		Data	0x00	0x01	19 bytes	Last	Bluetooth	Address	
Framing Frame: 15 Alerts: Source: Bluetooth Ready Dest: (2) Bluetooth Ready Start time: 2.705 s End time: 2.744 s Duration: 38.6 ms Inter-frame gap: 78.4 ms Speed: 9600 CD XBOFS: 0 FF XBOFS: 11 BDF: 0xC0 FCS: 0x8829 EOF: 0xC1 Payload: 23																				
iLAP Address: 0x4A Cmd/Rsp Cmd Hype: 1 Nr: 1 Ns: 1 Poll/Final: 1 User data: 21 bytes iLMP Control Data Dest LSAP: 0x00 Reserved bit: 0 Source LSAP: 0x01 Opcode: Data User data: 19 bytes																				
IIAS Last: Last Acknowledge: 0 Opcode: GetValueByClass Data: 18 bytes Class name len: 9 Class name: Bluetooth Attribute name len: 7 Attribute name: Address																				

Respuesta de la Petición IAS de IrDA

The screenshot shows the XTNDAccess IrDA Probe interface. The main window displays a table of protocol frames and detailed information for the selected frame (Frame 16).

Framing		iLAP				iLMP				IAS										
#	I	Source	Start	Gap	Speed	Data	C/R	Type	Slot	P/F	Nr	Ns	Opcode	DLSAP	SLSAP	Data	Last	Class	Attribute	Count
16	1	(2)Bluetooth FW	2.807 s	63.0 ms	9600	19	Rsp	I			1	2	1	Data	0x01	0x00	15 bytes	Last		1

Frame 16 Alerts: 1 Source: (2)Bluetooth Ready Dest: Bluetooth Ready Starttime: 2.807 s End time: 2.841 s Duration: 34.4 ms
Inter-frame gap: 63.0 ms Speed: 9600 CDXBDFs: 0 FFXBDFs: 11 BDF: 0xC0 FCS: 0x8511 EOF: 0xC1 Payload: 19

iLAP Address: 0x4A Cmd/Rsp: Rsp I-type: I Nr: 2 Ns: 1 Pol/Final: 1 User data: 17 bytes

iLMP Control Data DestLSAP: 0x01 Reserved bit: 0 SourceLSAP: 0x00 Opcode: Data User data: 15 bytes

IAS Last: Last Acknowledge: 0 Opcode: GetValueByClass Data: 14 bytes From query: Bluetooth, Address Result count: 1
Results: — Object ID: 1 Attribute type: Octet sequence Length: 6 Attribute value: 08 00 80 BB AB D2
Alert: Class name not recognized: Bluetooth. Return code: Success

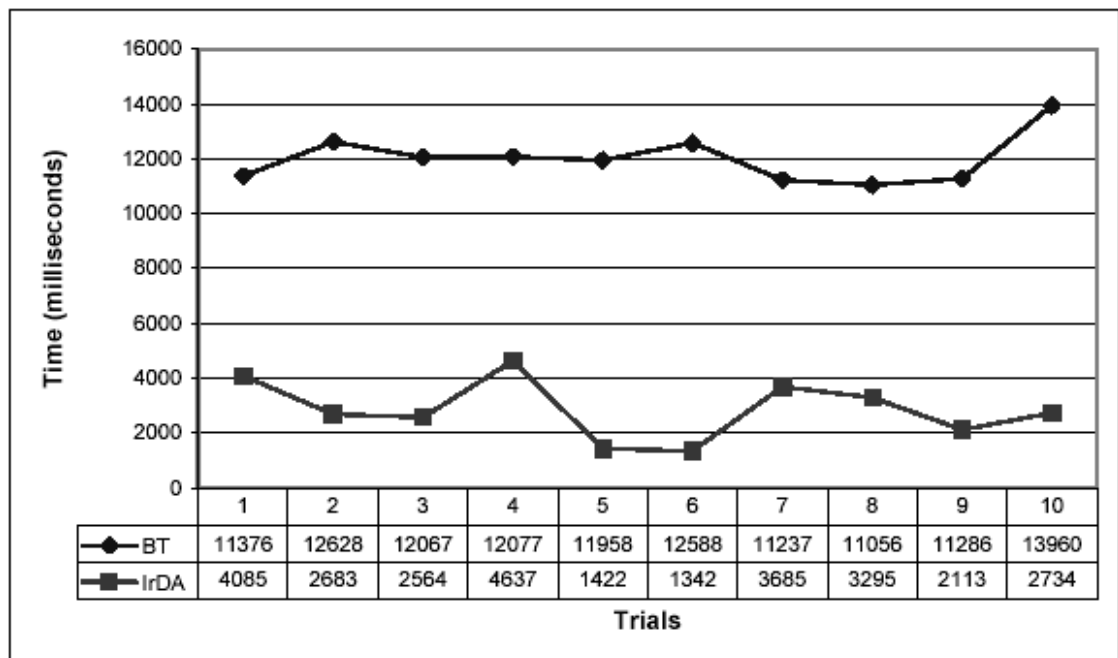
Estos resultados fueron obtenidos usando una prueba de acceso de IrDA conocida como XTNDA. Observe la clase de nombre de petición IAS de Bluetooth y el nombre del atributo de la dirección en la primera figura. Note la respuesta de la petición IAS en la segunda gráfica, la cual contiene la dirección Bluetooth.

Resultados

Se realizaron repeticiones cronometradas del descubrimiento de dispositivo Bluetooth, y se confirmó que la prueba de aplicación gastó 10.24 ± 0.04 segundos en el modo Inquirí de Bluetooth. Un número equivalente de repeticiones cronometradas de descubrimiento de dispositivos Bluetooth ayudadas por IrDA mostró el mejoramiento de éste método que requirió solo 1.05 ± 0.1 segundos para realizar el mismo descubrimiento de dispositivo. La siguiente figura muestra el tiempo gastado para realizar el descubrimiento del dispositivo y el establecimiento de conexión en diez ensayos de cada método. La variación entre los dos ensayos es causado por el proceso de establecimiento de conexión

Bluetooth. El establecimiento de conexión de Bluetooth tuvo un promedio de 12.02 seg. Mientras que el establecimiento de la conexión Bluetooth ayudada por IrDA tuvo un promedio de 2.86 seg. Estos resultados muestran que el establecimiento de conexión Bluetooth ayudado por IrDA es 4 veces más rápido que lo que se demora un establecimiento de conexión estándar de Bluetooth.

Establecimiento de conexión y descubrimiento de dispositivo



Conclusiones

El enfoque de esta investigación se trataba de involucrar la integración de las tecnologías Bluetooth e IrDA para mejorar satisfactoriamente el Inquirí Bluetooth y el tiempo de conexión. Se siembra la incertidumbre del por qué en la actualidad se

sigue trabajando con dispositivos inalámbricos de corto alcance con una sola tecnología, siendo que se ha comprobado que si se aprovechan las fortalezas de cada tecnología (Bluetooth e IrDA) en un solo dispositivo se obtiene grandes beneficios como los mencionado en ésta investigación.

Estos resultados muestran que la integración de ambas tecnologías puede mejorar significativamente el descubrimiento y el tiempo de establecimiento de conexión entre dos dispositivos Bluetooth. Se puede usar el rápido descubrimiento de dispositivo y el establecimiento de conexión de IrDA para recuperar la información de un dispositivo Bluetooth desde un dispositivo remoto, los dispositivos Bluetooth son capaces de conectarse por encima de cuatro veces más rápido que usando solamente Bluetooth. El proceso de establecimiento de conexión Bluetooth ayudado por IrDA puede proporcionar una mejoría aun mayor cuando se considera la selección del dispositivo, puesto que elimina la necesidad de intervención del usuario en la mayoría de las situaciones. Esto se logra por el corto alcance de IrDA y su estrecha área de infrarrojo, el cual realiza un tipo normal de selección de dispositivo

El mejoramiento en descubrimiento y tiempo de conexión que se ha demostrado puede ser logrado sin comprometer las principales fortalezas de las soluciones RF tal como Bluetooth, es decir, largo alcance y conexiones punto a multipunto que no están limitadas por obstáculos, tal como paredes y puertas.

GLOSARIO

Ad Hoc: son redes que no requieren predefinición o planeación como con una red estándar.

Baudios: número de veces por segundo, que un sistema cambia de estado, especialmente un canal de transmisión de datos.

Broadcast: mensaje de difusión que llega a todos los nodos de una red.

Byte: término utilizado para hacer referencia a una serie de dígitos binarios consecutivos sobre los que se opera como una unidad.

Dirección MAC: se refiere a una dirección de tres bits que identifica cada uno de los equipos en una Piconet.

Estándar: conjunto de reglas o procedimientos de uso generalizado.

Fotodiodo: dispositivo electrónico receptor de luz y radiación infrarroja.

Frecuencia: cantidad de ciclos, medidos en hertz, de una señal de corriente alterna por una unidad de tiempo.

Full duplex: define que ambos dispositivos puede transmitir y recibir simultáneamente en el canal.

Gateway: término que se refiere a un dispositivo de enrutamiento.

Half duplex: define que solo un dispositivo puede transmitir a la vez en el canal.

Hertzio (Hz): es la unidad internacional de medida de frecuencia.

IEEE (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica): organización profesional cuyas actividades incluyen el desarrollo de estándares de comunicaciones y redes.

Interfaz RS 232: interfaz para la comunicación serial de gran popularidad

Interferencia : ruido no deseado del canal de comunicación.

ITU (International Telecommunication Union): entidad reguladora de Estándares de las Telecomunicaciones.

LAN (Local Area Network): Red de Área Local.

LED (Diodo Emisor de Luz): dispositivo semiconductor que emite luz producida por la conversión de energía eléctrica.

Modulación: proceso a través del cual las características de las señales eléctricas se transforman para representar información.

Omnidireccional: hace referencia a una señal que se dispersa en todas las direcciones.

PAN (Personal Area Network): Red de Área Personal.

Protocolo: descripción formal de un conjunto de reglas y convenciones que rigen la forma en la que los dispositivos de una red intercambian información.

Punto de acceso (access point): dispositivo que transporta datos entre una red inalámbrica y una red cableada (infraestructura).

Sincronización: establecimiento de una temporización común entre emisor y receptor.

Transceptor: es un dispositivo que puede transmitir datos, y así al mismo tiempo recibirlos.

Transmisión asíncrona: término que describe las señales digitales transmitidas sin sincronización precisa.

Transmisión síncrona: término que describe las señales digitales que se transmiten con sincronización precisa.

Uart: (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter): circuito integrado conectado al puerto paralelo de un computador, utilizado para comunicaciones seriales, convierte los datos de paralelo a serie y viceversa.

Unidad Esclavo: todos los equipos de una Piconet que no son maestros.

Unidad Maestro: la unidad maestro en una Piconet es aquella cuyo reloj y secuencias de salto de frecuencias sincronizan los demás equipos.

WAN (Wide Area Network): Red de Área Extendida.

Ancho de Banda: describe la capacidad de rendimiento medida de un medio o un protocolo de red específico.

Multiplexor: dispositivo que permite que múltiples señales lógicas se transmitan de forma simultánea a través de un canal físico exclusivo.

BIBLIOGRAFÍA

Bluetooth Security [online]. Helsinki: 25 de Mayo de 2000. Juha T. Vainio. Helsinki

University of Technology. Disponible desde Internet:

<http://www.niksula.cs.hut.fi/~jiitv/bluesec.html>

Bluetooth Tecnología Inalámbrica de Comunicaciones [online]. Disponible desde

Internet:

<http://inga.udea.edu.co/cursos/ieo994/BluetoothWperez.ppt>

Device Discovery in Bluetooth [online]. Utah: Ryan Woodings, Derek Joos, Trevor

Clifton, Charles D. Knutson. Brigham Young University. Disponible desde Internet:

http://faculty.cs.byu.edu/~knutson/publications/IrDA_Assisted_BT_Discovery.pdf

Interconexion IRDA con Linux [online]. Vicente D. Fernandez: Marzo de 2002.

Disponible desde Internet:

<http://pluton.homeunix.com/textos/Interconexion-IRDA.pdf>

IrDA and Bluetooth: A Complementary Comparison Overview of IrDA [online]. New

York: 2000. Disponible desde Internet:

http://www.extendedsystems.com/.../ir_bt_compare.pdf

IrDA versus Bluetooth [online]. Disponible desde Internet:

http://www.domotica.net/IrDA_versus_Bluetooth.htm

Redes Inalámbricas de Area Local [online]. Instituto Nacional de Estadística e Informática: Colección Informática Fácil. Disponible desde Internet:

<http://www.uap.edu.pe/fac/02/enlaces/manualhtml/inei/Libro-5117.pdf>

SEMINARIO NACIONAL. Tecnologías Emergentes en Sistemas de Telecomunicaciones Inalámbricos: Una Realidad en Colombia. (11 : 2000 : Popayán). Memorias del Seminario Nacional. Popayán: Universidad del Cauca.

Técnicas de Acceso Técnicas de Acceso [online]. Venezuela: Julio de 2000. Escuela Latinoamericana de Redes, Universidad de los Andes. Ermanno Pietrosémoli. Disponible desde Internet:

<http://www.walc2000.unam.mx/material/track1/TECNIC1.pdf>

Tecnología Inalámbrica Bluetooth [online]. Seminario de Redes. Noviembre de 2002. John Harold Ñañez Escobar. Disponible desde Internet:

http://www.atmlab.utfsm.cl/~jnanez/presentacion4_BT.ppt

Tecnología Inalámbrica Bluetooth [online]. Seminario de Redes. Octubre de 2002. John Harold Ñañez Escobar. Disponible desde Internet:

http://www.atmlab.utfsm.cl/~jnanez/presentacion3_BT.ppt