

Diseño de Hardware para una Red Inalámbrica Bluetooth

Fabio Guerrero*
Ricardo Maya**
Oscar Rodríguez***

* MSc. Profesor Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica - Facultad de Ingeniería - Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.

E-mail:fguerrer@univalle.edu.co

** Ingeniero Electrónico - Ingeniero de Soporte, IP Total Software S.A, Bogotá, Colombia.

E-mail:rmaya@iptotal.com

*** Ingeniero Electrónico - Universidad del Valle

E-mail:osdaroca@hotmail.com

RESUMEN

Este artículo presenta el diseño y construcción de una tarjeta de hardware semi-embedido para la operación de una red inalámbrica Bluetooth. Para el software que realiza las capas superiores de la pila de protocolos Bluetooth se ha utilizado Affix y BlueZ, dos proyectos de software libre Bluetooth para Linux. Se presentan los resultados de algunas pruebas de desempeño realizadas para verificar y analizar los méritos de operación de esta tecnología y se brindan bases para el desarrollo de nuevos proyectos encaminados a la integración de interfaces Bluetooth a dispositivos embebidos tales como sensores inteligentes.

Fecha de recepción: Noviembre 18 de 2003

Fecha de aprobación: Abril 30 de 2004

Palabras Clave: redes inalámbricas, redes de área personal, Bluetooth

ABSTRACT

This paper describes the design and implementation of a semiembedded hardware board to configure a Bluetooth wireless network. For the software which realises the higher layers of the Bluetooth protocol stack it has been used Affix and BlueZ, two Bluetooth free software projects for Linux. Results of some performance tests carried out in order to analyse and verify operational merits of this technology are presented, and some basis for integration of Bluetooth interfaces to embedded devices such as intelligent sensors are given.

Key Words: wireless networks, personal area networks, Bluetooth.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una variedad de tecnologías inalámbricas que en conjunto buscan ofrecer soluciones donde se necesite movilidad y velocidades de transmisión, en general, mayores a 200 kbit/s que puedan soportar servicios avanzados. Cada tecnología tiene un campo de acción específico. Por ejemplo, GSM/GPRS ó CDMA 2000 en redes WAN, 802.11 (Wi-Fi) en redes LAN y Bluetooth y HomeRF en redes de área personal (PAN).

En Bluetooth se ha pasado rápidamente de la promulgación del estándar [1] al desarrollo de aplicaciones. Este artículo presenta un trabajo realizado en la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Valle, en el diseño y construcción de hardware Bluetooth con el interés de conocer los méritos que esta tecnología ofrece en la práctica, como por ejemplo, la velocidad de transmisión de datos efectiva obtenible en relación con la distancia, familiarizarse con el uso de la interfaz de radio Bluetooth para el desarrollo de aplicaciones específicas y documentar algunos criterios de

diseño que pueden aplicar a otras tecnologías de transmisión de datos en la banda ISM. En este proyecto se ha usado software libre para la realización de las capas superiores definidas por el estándar.

Este trabajo surgió por la necesidad de las áreas de telecomunicaciones, instrumentación, automática y sistemas de información, de contar con una interfaz de comunicaciones inalámbrica de corto alcance para realizar aplicaciones prácticas en red que involucren dispositivos electrónicos como cámaras de vídeo, sensores inteligentes y actuadores.

A comienzos de 2001 el Área de Telecomunicaciones de la Universidad del Valle, evaluó varias tecnologías inalámbricas, entre otras, transmisión por infrarrojos, 802.11 y Bluetooth con el fin de seleccionar la más apropiada para los alcances del proyecto y desde el punto de vista didáctico.

Características tales como topología de red, rango de cobertura, banda de operación, tamaño y consumo de potencia, inmunidad al ruido, así como también la necesidad de conocer y documentar su funcionamiento ya que en esta época en la Universidad del Valle y en Colombia habían pocos antecedentes de trabajos que involucren diseño de hardware para trabajar en la banda ISM de 2.4 GHz y con la tecnología inalámbrica Bluetooth, justificaron la selección de esta tecnología para este trabajo.

El artículo se encuentra organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se presentan los detalles técnicos de la construcción del hardware. En la sección 3 se presentan aspectos importantes del software usado. En la sección 4 se presentan los resultados de algunas pruebas de velocidad versus distancia. Finalmente en la sección 5 se presentan las conclusiones más importantes obtenidas de esta experiencia. Se asume que el lector está familiarizado con la arquitectura de la pila de protocolos de Bluetooth. Para información detallada acerca de este proyecto se puede consultar [2].

2. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

La Figura 1 muestra el diagrama en bloques de la tarjeta hardware Bluetooth construida, la cual se denomina BlueBoard_UV. Existen dos versiones de esta tarjeta, BlueBoard_UV01 y BlueBoard_UV02, las cuales se diferencian únicamente por el tipo de antena utilizado.

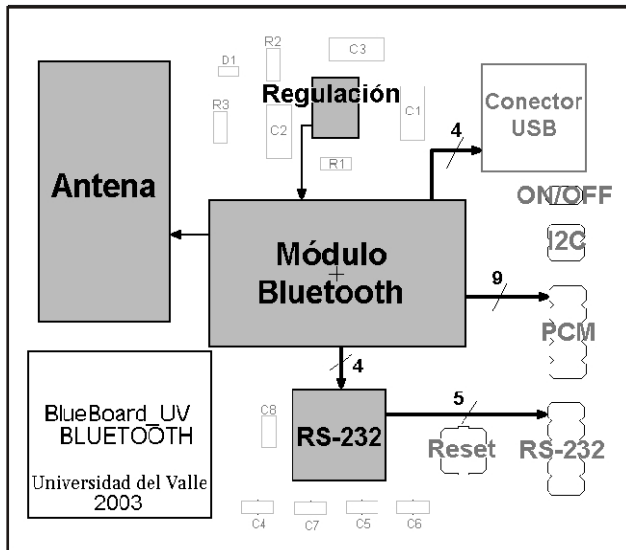


Figura 1. Diagrama en bloques tarjetas BlueBoard_UV

A continuación se explican brevemente los bloques funcionales que componen las tarjetas BlueBoard_UV:

1. **Módulo Bluetooth:** Es un circuito integrado multichip que implementa las capas inferiores de la pila de protocolos Bluetooth. Este circuito integrado encierra la totalidad de las funciones que define el estándar hasta la HCI (Host Controller Interface). Es el circuito principal de las tarjetas BlueBoard_UV.

2. **Antena:** Éste es el elemento a través del cual se radia y se recibe la señal de RF. Dada la frecuencia de operación (2.4 GHz), como se explica más adelante, se debe observar especial cuidado en su montaje.

3. **Transceiver RS-232:** Este circuito se usa para convertir a 5.5 V las señales RS-232 de 3.0 V que

entrega el IC Bluetooth.

4. **Regulación de voltaje:** Su función es suministrar un voltaje regulado de 3.3 V al circuito integrado Bluetooth y al circuito integrado RS-232.

Las tarjetas BlueBoard_UV sólo soportan comunicación de datos, sin embargo poseen una interfaz PCM disponible para comunicación de voz. La comunicación entre las tarjetas y el host, es decir el sistema donde se ejecuta el software de los protocolos L2CAP y superiores, se puede hacer a través de la interfaz USB o la interfaz UART/RS232. El host puede ser cualquier sistema microprocesado programable (por ejemplo, PCs, teléfonos celulares, mouse, impresoras, teclados, sensores inalámbricos, etc.). En la Figura 2 se muestra el diagrama de conexiones detallado.

Las tarjetas BlueBoard_UV funcionan con 5 VDC de alimentación que pueden suministrarse a través del conector USB o por medio de un terminal macho genérico. Poseen también un convertidor DC/DC que proporciona alimentación al circuito integrado Bluetooth, en este caso el ROK101007/8 de Ericsson. En la Figura 2 se pueden identificar la antena (RangeStar 100929 100930), el transceiver (Maxim MAX3232) y regulador de voltaje (National LP2987). El diseño del circuito impreso se hizo en Eagle donde fue necesario construir las librerías de los circuitos integrados de montaje superficial que no existían.

El regulador provee un voltaje regulado de alimentación de 3.3 V al IC Bluetooth y al transceiver RS-232. Este tiene un pin de encendido externo (ON/OFF) que permite habilitar el suministro de potencia a la tarjeta y posee un LED de monitoreo de encendido (D1).

El transceiver provee una interfaz de comunicación RS232 con requerimientos de baja potencia. Este circuito cambia el voltaje de señalización que entrega el IC Bluetooth de 3.0 V a 5.5 V hacia el conector macho RS232. La

interfaz provista por este circuito puede correr a una tasa de datos de 120 kbit/s (MAX3232) ó 250 kbit/s (MAX3232E).

El IC Bluetooth ROK101007/8 soporta todos los perfiles definidos en la versión 1.0b de la especificación. Posee diferentes interfaces de comunicación: USB, RS-232, PCM e I²C.

Al usar la interfaz UART el IC Bluetooth funciona como un DCE (Data Circuit-terminating

Equipment), con una velocidad de 57,6 kbit/s por defecto. Al utilizar la interfaz USB, el IC Bluetooth funciona como un dispositivo esclavo USB y por lo tanto no requiere recursos del PC.

Las señales USB, PCM e I²C están conectadas directamente desde el ROK101007/8 a los correspondientes conectores macho (CONECTOR_USB, PCM, I²C). La señal ANT del IC Bluetooth está conectada al terminal de alimentación de la antena.

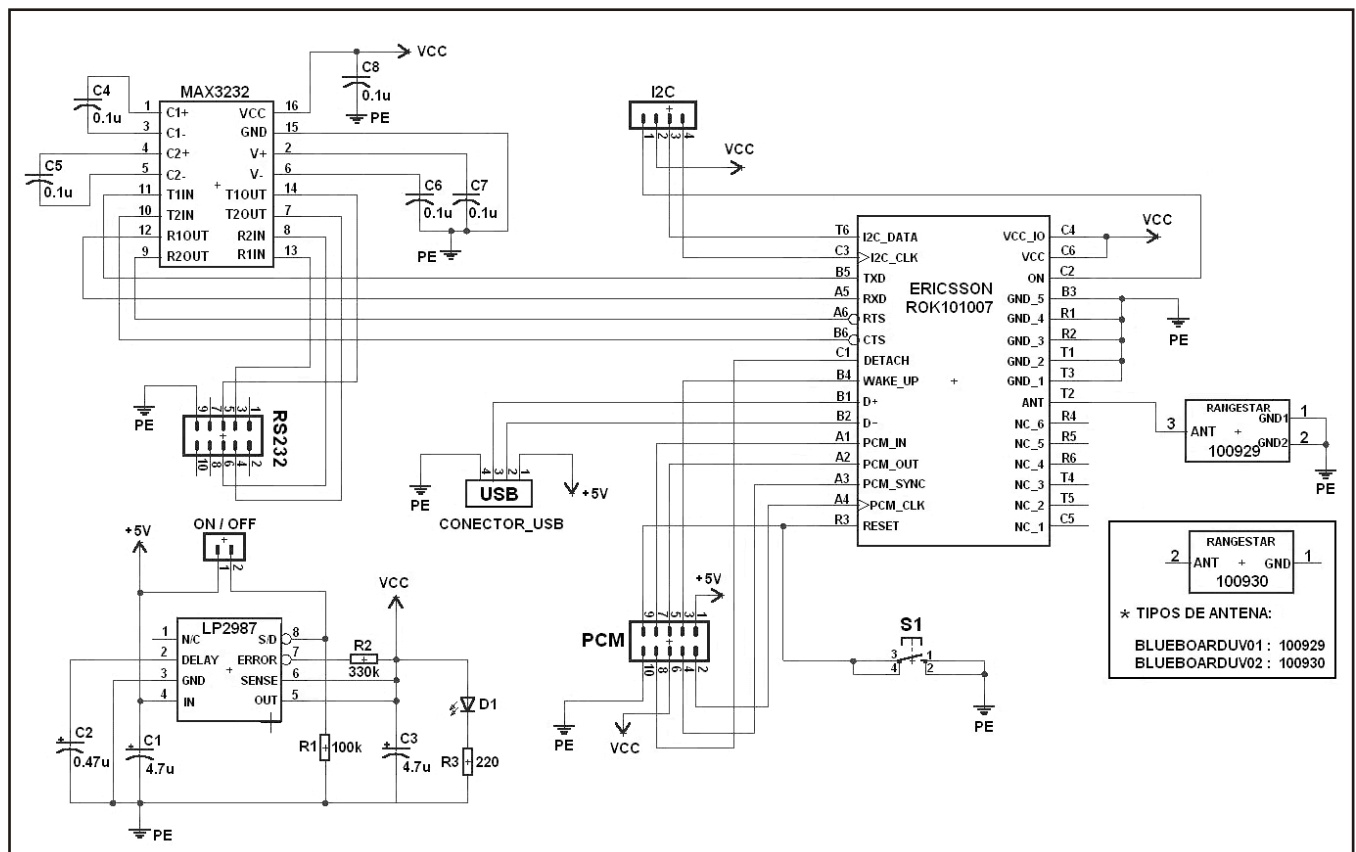


Figura 2. Diagrama en conexiones tarjetas BlueBoard_UV

Descripción de las interfaces hardware:

- Interfaz USB:** Cumple la especificación USB 1.1 [3], permite transmisión a 12 Mbit/s, y funciona como esclavo. La transferencia de datos se hace a través de los puertos bidireccionales D+ & D-. Adicionalmente se usan las líneas Wake_up y Detach.
- Interfaz UART:** Cumple el estándar de la industria 16C450 y soporta las siguientes velocidades: 300, 600, 900, 1200, 1800, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400 y 460800 bit/s. Opera con cuatro señales, TxD & RxD para flujo de datos y RTS & CTS para control de flujo.

- ☒ Interfaz de voz PCM: Es una interfaz PCM estándar con una tasa de muestreo de 8 kHz (PCM_SYNC). El reloj PCM es variable entre 200 kHz y 2 MHz. Los datos PCM pueden ser PCM 13 -16 bits, Ley μ 8 bits ó Ley A de 8 bits. Existen cuatro líneas de conexión PCM_IN, PCM_OUT, PCM_SYNC y PCM_CLK.
- ☒ Interfaz I²C: El IC Bluetooth hace disponible también una interfaz I²C maestro.

Para de brindar a las tarjetas BlueBoard_UV mayor flexibilidad, se utiliza una base de soporte para el IC Ericsson ROK101007. Esta base corresponde al Bluetooth Carrier Socket BT001A-30G2T de SUYIN.

Consideraciones para la Antena

Banda de frecuencia. Aunque algunos países han asignado rangos distintos de frecuencia dentro de la banda ISM (2.4 GHz) para la operación de Bluetooth, todos están dentro del rango 2.400-2.497 GHz. Por consiguiente para asegurar compatibilidad se debe utilizar una antena que trabaje sobre todo este segmento.

El Plano de Tierra. La mayoría de antenas inalámbricas requieren una longitud mínima de plano de tierra de $\lambda/4$ en el PCB (Printed Circuit Board). En este caso, para una frecuencia de trabajo de 2425 MHz, la longitud de onda (λ) es 124 mm y, por lo tanto, la mínima longitud del plano de tierra debe ser 31 mm. Según curvas de diseño conocidas, para un desempeño óptimo de la antena se debe trabajar con un plano de tierra de 0.33 veces la longitud de onda de operación. En las tarjetas BlueBoard_UV el plano de tierra se implementó por las dos caras del PCB y se interconectaron los dos planos por medio de vías localizadas en toda la superficie de las tarjetas con el fin de evitar diferencias de potencial que puedan afectar el desempeño del sistema.

Ganancia de la Antena. En una red inalámbrica que involucre movilidad no es posible imponer línea de vista (LOS) entre el transmisor y el receptor. El uso de antenas con baja ganancia limita la distancia máxima del enlace pero no

impone el requisito de orientar los dispositivos en determinada dirección. En este proyecto se utilizaron las antenas RangeStar 100929 y 100930. Aunque éstas tienen una ganancia aproximada de 5 dBi, su patrón de radiación es razonablemente omnidireccional [4]. Estas antenas están diseñadas para ser montadas al final del PCB para utilizar la máxima longitud del plano de tierra. La tabla 1 resume las principales características de las tarjetas BlueBoard_UV.

Tabla 1. Características principales tarjetas BlueBoard_UV

Potencia de RF	clase 2 (0 dBm)
Especificación Bluetooth	1.0b
Interfaces	UART para datos(hasta 460,8 kbit/s) PCM para voz USB para datos
Antena	RangeStar 100929 ó 100930
Modos de operación	Punto-Punto y Punto-Multi-Punto (dependiendo del IC Bluetooth utilizado)
Capas del estándar soportadas	Desde la capa de radio hasta HCI
Otras características	Reset manual Pin de encendido externo Base removible para el IC Bluetooth Acceso a todas las señales del IC principal LED de monitoreo de energía

3. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

El software en el host Bluetooth corresponde a las capas de la pila de protocolos que están por encima de la HCI. Como se mencionó antes, las tarjetas BlueBoard_UV se comunican con el host a través de una interfaz UART o USB. A nivel lógico el host y las tarjetas BlueBoard_UV se comunican a través de la HCI.

La Figura 3 muestra la arquitectura de la pila de protocolos Bluetooth a nivel de software, firmware y hardware. El firmware HCI implementa los comandos HCI para el hardware Bluetooth brindando acceso a los comandos banda base, manejador de enlace, registros de estado del hardware, registros de control y registro de eventos. Pueden existir algunas capas intermedias entre el driver HCI en el host y el firmware HCI en el hardware. Estas capas se encargan del control y transporte de datos a través de un bus físico (por ejemplo, USB, PC Card, RS232), con el fin de establecer una comunicación transparente entre el driver HCI y el firmware HCI.

En este trabajo para el software del host se usaron dos entornos de software libre que corren en el kernel del sistema operativo Linux: Affix y BlueZ. Aunque existen otras alternativas de software de libre distribución [2], se ha escogido Affix y BlueZ por ofrecer una documentación muy detallada de su arquitectura y funcionalidad. Las herramientas y utilidades de este software se utilizaron para probar la interconectividad de las tarjetas BlueBoard_UV, su desempeño y algunos perfiles Bluetooth soportados por el software.

Affix [5] fue desarrollado por el Laboratorio de Redes Móviles del centro de investigación de Nokia en Helsinki. Corre sobre plataformas Intel, ARM y PowerPC. Affix soporta los protocolos del Core Bluetooth HCI, L2CAP, RFCOMM, SDP y la mayoría de los perfiles de la especificación. Además tiene una construcción modular, una interfaz socket para los protocolos HCI, L2CAP y RFCOMM, es independiente de la interfaz con el hardware Bluetooth y soporta múltiples dispositivos.

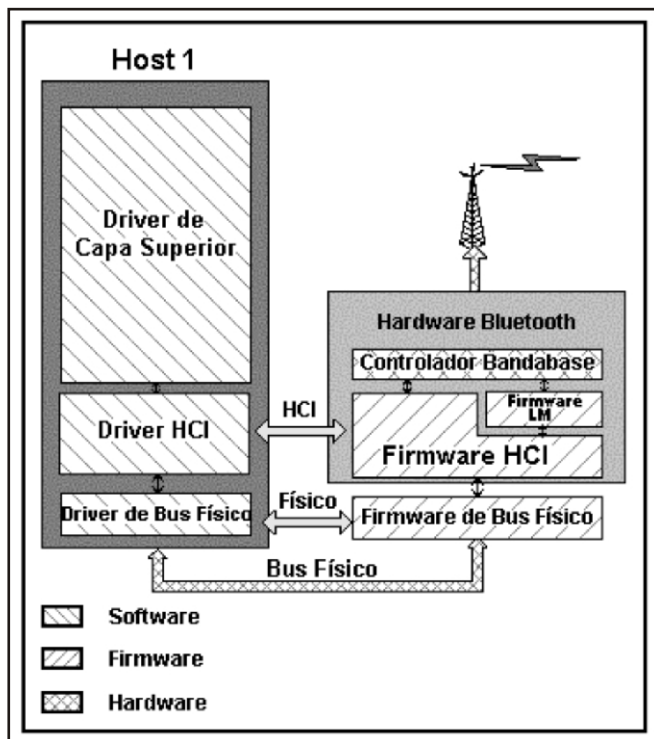


Figura 3. Ubicación del Software, firmware y hardware

BlueZ [6] es la construcción oficial de la pila de protocolos Bluetooth de Linux para las capas por encima de la HCI, el cual hace parte del kernel 2.4 y posteriores. BlueZ consta del core HCI, drivers HCI para interfaces USB y seriales, emulador de HCI, módulo L2CAP y utilidades de configuración y prueba. Además brinda un dispositivo HCI virtual (vhci) para depurar y probar aplicaciones en ausencia de dispositivos Bluetooth reales. Si se desea utilizar las últimas versiones de BlueZ, es necesario deshabilitar del kernel el soporte nativo de Bluetooth.

4. PRUEBAS DEL SISTEMA

Para probar las tarjetas BlueBoard_UV se realizaron dos tipos de pruebas: pruebas de velocidad versus distancia para verificar la operación de las tarjetas y pruebas básicas de interconectividad para la configuración de una Red de Area Personal (PAN). Las pruebas de velocidad versus distancia son de carácter ilustrativo y no pretenden proveer un estudio detallado de radiopropagación para esta tecnología.

4.1 Pruebas de velocidad versus distancia

La especificación Bluetooth define una velocidad de transmisión simétrica de 433 kbit/s y asimétrica de 723.3 kbit/s (downstream) y 57.6 kbit/s (upstream). En estas pruebas se utilizó transmisión simétrica y un nivel de potencia de 0 dBm el cual es determinado por el IC Bluetooth ROK101007/8 de Ericsson por ser un dispositivo clase 2 siguiendo el estándar Bluetooth 1.0b.

En estas pruebas se verificó el desempeño de las tarjetas BlueBoard_UV en operación punto a punto midiendo la rata de transferencia de bits para distintas distancias y diferentes configuraciones. Los nodos N1 y N2 (dirección Bluetooth de N1: 00:80:37:15:C9:64, dirección Bluetooth de N2: 00:80:37:15:C9:67), corresponden cada uno a una tarjeta BlueBoard_UV02 (IC Bluetooth ROK 101 007/21E) conectada a un PC DELL Pentium III a

través de la interfaz USB. En los PCs se instalaron los paquetes de BlueZ (core, librerías y utilidades) sobre Linux RedHat 7.0.

Para estas pruebas, N1 (ubicación fija) envía paquetes de datos que son recibidos por N2 (ubicación variable). El nodo N2 tiene el rol de servidor y espera constantemente la llegada de paquetes de datos de un tamaño mínimo (MTU) negociado con el nodo cliente N1, usando l2test [7]. l2test es una herramienta de pruebas para L2CAP, la cual calcula y despliega en el servidor (N2) la velocidad (kbit/s) a la que los datos se transmiten sobre una conexión L2CAP.

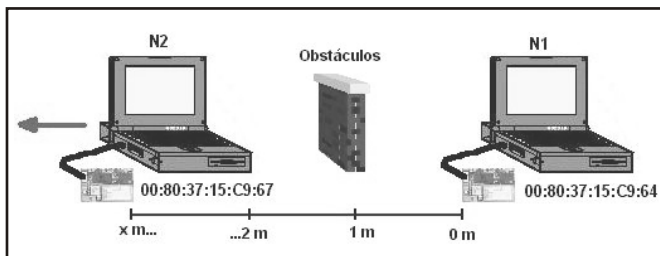


Figura 4. Configuración pruebas de velocidad Vs. distancia

Con una distancia inicial de 0 m y desplazando el nodo N2 a intervalos de 1 m, se registró la rata de bits calculada por l2test para los paquetes enviados desde N1. Para cada intervalo de distancia se tomaron aproximadamente 17 muestras para paquetes de 100 128 bytes de longitud. Para distancias de 6 m en adelante, los paquetes de bytes enviados desde N1 se redujeron en algunos casos a 50 400 y 20 160 bytes para agilizar la captura de los datos.

En la Figura 4 se puede ver la configuración usada para las pruebas de velocidad versus distancia. Inicialmente se utilizó una pared de madera entre los nodos simulando un ambiente de oficina. Para simular la atenuación causada por una cobertura plástica que puede ser típica en un dispositivo móvil (teléfonos celulares, PDAs, computadoras portátiles, etc.) las tarjetas BlueBoard_UV fueron introducidas en cajas plásticas de 10 x 8,5 x 2 cm y 1 mm de espesor.

De esta manera, se tomaron datos para cuatro

escenarios de prueba distintos:

1. Ausencia de obstáculos (SO).
2. Pared de madera entre los nodos (M).
3. Pared de madera entre los nodos y tarjetas BlueBoard_UV dentro de cajas plásticas (M+P).
4. Cada tarjeta dentro de una caja plástica y sin obstáculos en la trayectoria (P).

Las muestras de datos obtenidas se procesaron en una hoja de cálculo para cada intervalo de distancia y configuración de obstáculos. Con los valores de rata de datos obtenidos se calcularon las principales variables estadísticas (promedio, desviación estándar, mediana, moda, varianza y porcentaje de variación).

La rata de bits promedio brinda una estimación de la velocidad de transmisión versus la distancia. La figura 5 muestra, para cada una de las variantes ya mencionadas, el comportamiento de la velocidad de transmisión, representada por la rata de bits promedio, con respecto a la distancia.

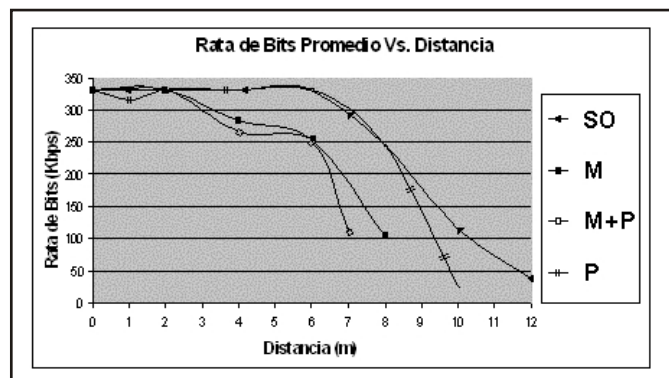


Figura 5. Rata de bits promedio Vs. distancia

En la figura 5 se puede ver que el desempeño del enlace es más o menos igual, con o sin obstáculos (madera o plástico), hasta una distancia de 2 m, con una rata de bits promedio de 329,3 kbit/s. Como era de esperarse, el menor desempeño se presenta en presencia de la pared de madera entre los nodos y cada tarjeta BlueBoard_UV estando dentro de una caja plástica dado que la atenuación es mayor. En contraste, el mejor desempeño ocurre en

contraste, el mejor desempeño ocurre en ausencia de la pared de madera y las cubiertas de plástico (menor atenuación). Igualmente se puede ver que la atenuación causada por la pared de madera es mayor que la debida a las cajas plásticas.

El deterioro del desempeño debido a la distancia se hace especialmente visible después de 6 m. A distancia 0,1 m la rata de bits obtenida fue 331,6 kbit/s. A 12 m, sin obstáculos entre los nodos, se obtuvo una velocidad de transmisión de 37,169 kbit/s. Para cada una de las variantes de obstáculos después de cierta distancia la disminución en la rata de transmisión presenta una tendencia lineal con pendiente negativa:

- * SO: -50,196 (kbit/s)/m
- * M: -74,284 (kbit/s)/m
- * P: -76,479 (kbit/s)/m
- * M+P: -128,62 (kbit/s)/m

Esto significa que para SO la rata de bits disminuye 50,196 kbit/s por cada metro que el nodo móvil N2 se aleja de N1; para M+P la rata de bits cae 128,62 kbit/s por cada metro que se aleja N2.

Asumiendo un desempeño aceptable hasta donde la rata de bits (Rb) cae al 70,7% de la máxima rata de bits, la distancia Do que define este límite es:

- * SO: Rb = 234,44 kbit/s Do = 8,5 m
- * P: Rb = 233,98 kbit/s Do = 8,5 m
- * M: Rb = 234,39 kbit/s Do = 6,5 m
- * M+P: Rb = 234,15 kbit/s Do = 6,5 m

Como se puede ver, para SO y M, los rangos de distancia entre los nodos no dependen de la cobertura plástica. Los efectos de atenuación de la señal de radio se hacen notables para distancias superiores a Do.

Estabilidad de la velocidad de transmisión

Se puede analizar también para cada una de las

variantes de obstáculos, la estabilidad de la velocidad de transmisión a medida que aumenta la distancia. Para esto se utiliza el porcentaje de variación el cual es una medida de qué tan dispersa está la velocidad de datos respecto a la velocidad promedio calculada para cada caso. La Figura 6 muestra para cada una de las variantes el porcentaje de variación de la rata de bits en función de la distancia entre los nodos.

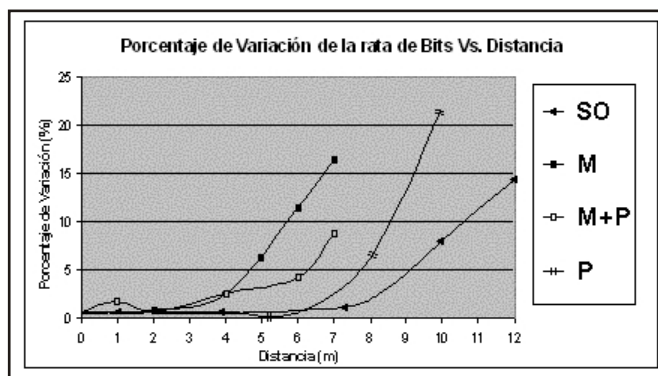


Figura 6. Porcentaje de variación de la rata de bits Vs. distancia

Como se observa en la Figura 6 la dispersión de la rata de bits hasta los 2 m de distancia entre los nodos es similar sin importar el tipo de obstáculo, con un porcentaje de variación promedio de 0,7%. La menor dispersión ocurre en ausencia de obstáculos entre los nodos y la mayor dispersión ocurre en presencia de la pared de madera. Con respecto a la dispersión de la rata de bits con la distancia, la mayor dispersión registrada (21,56 %) ocurre a una distancia de 10 m, con las tarjetas dentro de cajas plásticas (P). Para cada variante de obstáculos, después de cierta distancia, el porcentaje de variación de la rata de bits aumenta linealmente con una pendiente distinta para cada caso de la siguiente manera:

- * SO: a partir de 8 m aumenta con pendiente 3,12%/m
- * M: a partir de 4 m aumenta con pendiente 4,65%/m
- * M+P: a partir de 6 m aumenta con pendiente 4,68%/m
- * P: a partir de 8 m aumenta con pendiente 7,65%/m

Como se puede ver para M y MP un aumento considerable de la dispersión y por ende una menor estabilidad ocurre a distancias menores (4 m y 6 m respectivamente) que las registradas para SO y P (8 m).

4.2 Pruebas básicas de interconectividad

Estas pruebas se hicieron para comprobar la capacidad de operación en red de las tarjetas BlueBoard_UV. Para esto se utilizó una configuración PAN de tres nodos (GN, PANU1 y PANU2), cada uno con una tarjeta BlueBoard_UV como se muestra en la Figura 7.

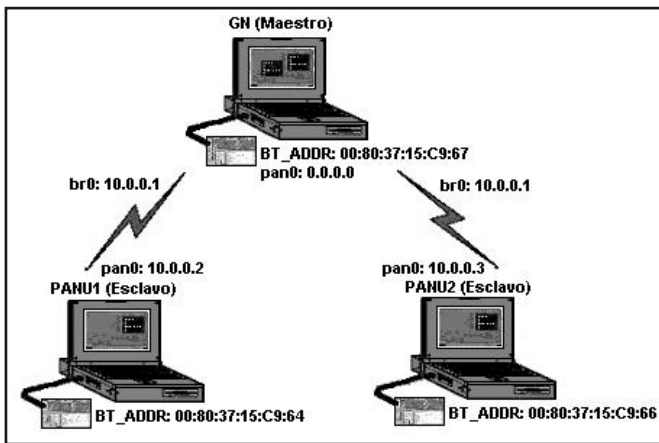


Figura 7. Piconet Bluetooth

En GN y PANU2 se usó un PC DELL Pentium III con una tarjeta BlueBoard_UV02. En PANU1 se usó un PC genérico Pentium II más una tarjeta BlueBoard_UV01. En cuanto al software, en GN se usó Linux RedHat 7.0, Kernel 2.4.18 y Affix; en PANU1 se usó Linux RedHat 8.0, Kernel 2.4.18, con BlueZ; en PANU2 se usó Linux RedHat 7.0, Kernel 2.4.19, y Affix.

La visibilidad de los nodos se verificó a través del comando ping de TCP/IP con la siguiente configuración de direcciones:

- * Dirección Bluetooth de GN: 00:80:37:15:C9:67, Dirección IP de GN: 10.0.0.1
- * Dirección Bluetooth de PANU1:

00:80:37:15:C9:64, Dirección IP de PANU1: 10.0.0.2

- * Dirección Bluetooth de PANU2: 00:80:37:15:C9:66, Dirección IP de PANU2: 10.0.0.3

En este punto es importante notar la disponibilidad de TCP/IP sobre la red Bluetooth, asilando a las aplicaciones los detalles de la red física. Esta facilidad es vital para el desarrollo de aplicaciones orientadas a Internet usando esta tecnología.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La construcción de las tarjetas BlueBoard_UV reportada en este artículo ha permitido tener una valiosa experiencia de diseño a 2.4 GHz. Merece especial consideración el diseño de los circuitos impresos y el montaje superficial de los elementos.

Las pruebas de velocidad versus distancia de las tarjetas BlueBoard_UV revelaron datos de operación valiosos de la tecnología Bluetooth con dispositivos clase 2. En general se ha observado que hasta 12 m las condiciones de operación son aceptables en esta tecnología lo cual coincide con el rango de cobertura normalmente aceptado para dispositivos Bluetooth clase 2, pero debe tenerse presente la apreciable disminución de velocidad a esta distancia. La cobertura plástica que puede ser propia en equipos portátiles, tales como teléfonos celulares, agendas electrónicas y teclados, refleja una incidencia significativa en el desempeño para distancias mayores a Do.

Los protocolos por encima de la HCI pueden brindar al desarrollador de aplicaciones un entorno TCP/IP familiar aislando los detalles de las capas inferiores. Por lo tanto en Bluetooth es posible contar con el mismo conjunto de herramientas tradicionales de TCP/IP para el desarrollo de aplicaciones en red lo cual es vital para el desarrollo de esta tecnología.

Entre las aplicaciones prácticas que el grupo está trabajando a partir de este proyecto se encuentra la construcción de un sistema de monitoreo del peso de vehículos a través de la ruta de carga y descarga donde se cuenta con básculas electrónicas. La información deberá estar disponible al personal administrativo a diferentes niveles a través de Internet. El software de las capas superiores para las interfaces Bluetooth de los vehículos correrá en un sistema embebido.

Agradecimientos:

Queremos expresar nuestro especial agradecimiento a las compañías Ericsson y RangeStar por la donación de elementos indispensables para el desarrollo de las tarjetas BlueBoard_UV.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bluetooth Special Interest Group. Disponible en Internet. URL: <http://www.bluetooth.com>

- [2] MAYA, R.; Rodríguez, O. *Implementación de una red inalámbrica Bluetooth*. Trabajo de Grado. Universidad del Valle, Santiago de Cali. 2003.

- [3] Universal Serial Bus. Disponible en Internet. URL: <http://www.usb.org>

- [4] Rangestar Wireless. Disponible en Internet. URL: <http://www.rangestar.com>.

- [5] Affix, Bluetooth Protocol Stack for Linux. Disponible en Internet. URL: <http://affix.sourceforge.net>.

- [6] BlueZ, Official Linux Bluetooth Protocol Stack. Disponible en Internet. URL: <http://bluez.sourceforge.net>.

- [7] BEUTEL, J.; KRASNANSKIY, M. *Linux BlueZ Howto*. Disponible en Internet. URL: <http://bluez.sourceforge.net/howto/index.html>.